

CONTENIDO

	Pág.
Azufre como nutriente y agente de defensa contra plagas y enfermedades	1
Principios claves para el manejo del cultivo y nutrientes en Palma Aceitera	5
Criterios para el manejo de la fertilización de la Soya	9
Reporte de Investigación Reciente	13
- Efecto de la fertilización nitrogenada y potásica en la producción del banano <i>Musa AAA</i> en la región del trópico de Cochabamba, Bolivia.	
- Efecto de la deficiencia de potasio en contenido de nitrógeno en el floema y en las poblaciones de afidos en soya.	
- Efecto del nitrato y el amonio sobre el crecimiento y eficiencia del nitrógeno en yuca.	
- Fertilización con fósforo para incrementar la absorción del nitrógeno al suelo en plantas jóvenes de <i>Eucalyptus grandis</i> .	
Cursos y Simposios	15
Publicaciones Disponibles	16

Editor: Dr. José Espinosa

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se citen la fuente y el autor.



AZUFRE COMO NUTRIENTE Y AGENTE DE DEFENSA CONTRA PLAGAS Y ENFERMEDADES

H. Sabino Prates, J. Lavres Junior y M. Ferreira de Moraes*

Introducción

El azufre (S), junto con el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), es un macronutriente, es decir un nutriente que los cultivos requieren en mayor proporción. Las necesidades de S son menores a las de N, K y Ca, pero son de la misma magnitud del P y Mg. Como sucede con cualquier nutriente esencial, la producción y la calidad de los cultivos pueden afectarse por la falta de S, aun cuando los demás nutrientes estén presentes en cantidades adecuadas en el suelo. Esto simplemente indica que la Ley del Mínimo está en vigencia luego de más de un siglo de ser propuesta.

Las hojas y raíces son capaces de absorber S en diversas formas: SO_2 , S-cisteína y S elemental (S^0), sin embargo, los cultivos absorben S principalmente en forma de sulfato (SO_4^{2-}) (Malavolta, 1950). El S forma parte de muchos compuestos orgánicos y todas las proteínas vegetales contienen, además de N, una buena cantidad de S. Por este motivo, se considera que una nutrición balanceada debe mantener una relación de N/S en las hojas entre 10 a 15. Los análisis foliares muestran concentraciones de S que van de 2 a 10 g kg^{-1} , dependiendo del cultivo. Concentraciones menores indican deficiencia y concentraciones mayores pueden indicar exceso.

La deficiencia de S se caracteriza por una coloración amarillenta uniforme en las hojas nuevas. La materia orgánica del suelo es la principal fuente de S, por esta razón las deficiencias son comunes en suelos arenosos pobres en materia orgánica, suelos ácidos y suelos con lluvia o riego excesivos. Además, la deficiencia es también común en sitios donde se usan fórmulas de fertilizantes que contienen solamente N, P_2O_5 y K_2O .

Los cultivos dependen en alta proporción o en su totalidad del S presente en el suelo y en su ausencia se deben usar fertilizantes minerales u orgánicos. Los fertilizantes portadores de S más utilizados son: sulfato de amonio, sulfato de potasio, superfosfato simple. Además, el yeso, más allá de corrector de suelo, puede también ser una buena fuente de S.

* Tomado de: Sabino Prates, H., J. Lavres Junior e M. Ferreira de Moraes. 2006. O enxofre como nutriente e agente de defesa contra pragas e doenças. *Informações Agronômicas* 115:8-9. IPNI, Brasil.

Las dosis de S deben calcularse en función del análisis de suelos y deben complementarse con el análisis foliar. Las dosis normalmente utilizadas varían entre 20 y 40 kg ha⁻¹. Cuando se usa sulfato de amonio para satisfacer las necesidades de N, superfosfato simple para entregar P, sulfato de potasio para cubrir las necesidades de K y yeso para mejorar el ambiente radicular, también se están satisfaciendo las necesidades de S del cultivo.

Desde el punto de vista nutricional, el S es tan importante como el N en las plantas, pero además juega un papel importante en los mecanismos de defensa de las plantas contra plagas y enfermedades. Las plantas sanas contienen una variedad de metabolitos secundarios y muchos de ellos contienen N y S en su estructura. Estos compuestos están presentes en forma biológicamente activa o están almacenados en precursores inactivos que se convierte a formas activas por la acción de enzimas, en respuesta al ataque de patógenos o cuando el tejido se daña (Hammond – Kosack y Jones, 2000). El uso del S⁰ como fungicida es muy antiguo, pero poco se conoce con respecto a su modo de acción. Recientemente se ha demostrado que la propia planta puede generar S⁰ endógeno como mecanismo de protección contra los patógenos.

Funciones del azufre en las plantas

Numerosos compuestos de la planta (aminoácidos, proteínas, enzimas, etc.) poseen N y S, lo que ayuda a explicar la existencia de una relación N/S que está asociada con el crecimiento y la producción. Las proteínas son los compuestos que más incorporan N y S y están constituidas principalmente por los aminoácidos cistina, cisteína y metionina. La cisteína está relacionada con el estado nutricional de las plantas y también actúa en la síntesis de importantes compuestos de defensa (glucosinolatos, GHS, fitoalexinas y posiblemente S⁰). Además de los aminoácidos y proteínas, el S es parte de una variedad de compuestos como coenzimas (biotina, pirofosfato de tiamina, coenzima A, ácido lipóico), proteínas con hierro (Fe) y S (ferridoxinas), tioredoxinas, sulfolípídeos, cisternas substituidas (Se-cisteínas), ésteres de sulfato (colina), flavonóides, lípídeos, glucosinolatos, polisacarídeos, sulfónicos y compuestos reducidos (Malavolta, 2006).

El S, como el N, está presente en todas las funciones y procesos que son parte de la vida de la planta, desde la absorción iónica hasta su participación en el RNA y DNA, pasando por el control del crecimiento y diferenciación de los tejidos de la planta.

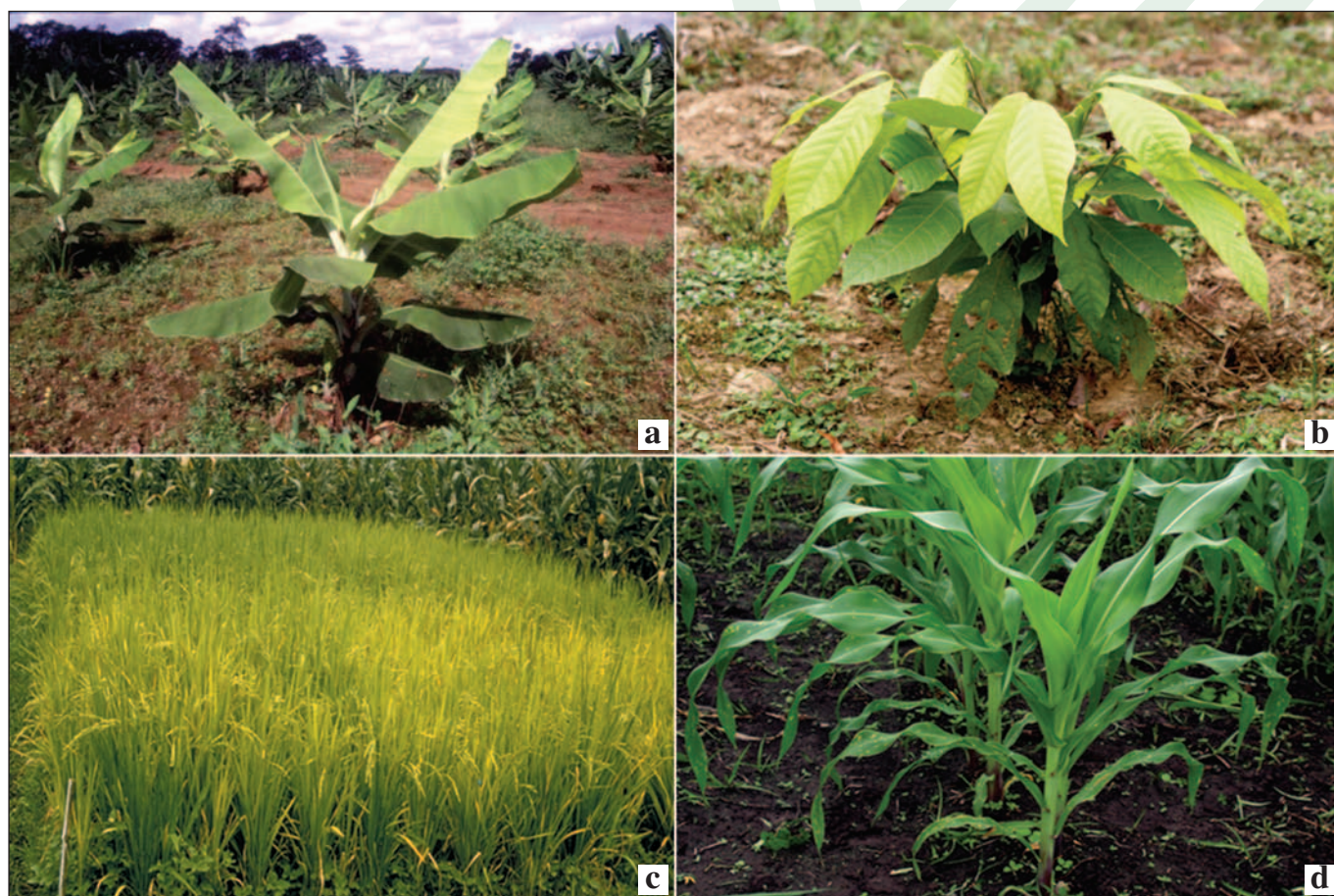


Foto 1. Síntomas de deficiencia de S en banano (a), cacao (b), arroz (c) y maíz (d), caracterizados por la coloración amarillenta uniforme de las hojas nuevas. Esta deficiencia es cada vez más común en los países de América Tropical.

El N y S pueden interactuar entre ellos y con otros elementos. Su presencia o ausencia puede provocar aumento (sinergismo) o reducción (inhibición, antagonismo) del contenido de otros elementos. Los casos más comunes de sinergismo son: N x S, N x Ca, N x Mg, N x Zn, N x Cu, y N x Mn. Los antagonismos más comunes son: N x B, S x Se, S x Cu x Mo (Malavolta, 1997).

Los síntomas de deficiencia de azufre

Síntomas visibles: clorosis uniforme de las hojas nuevas, coloración adicional en algunas plantas (anaranjado a rojizo), hojas pequeñas con enrollamiento de los márgenes, necrosis y caída de las hojas, internudos cortos, reducción de la floración y menor nodulación de las leguminosas (**Foto 1**).

Síntomas citológicos: meiosis anormal.

Síntomas químicos: aumento en el contenido de carbohidratos, reducción del contenido de azúcares reductores y reducción de la síntesis de proteínas.

Las principales causas de la deficiencia de S son: el bajo contenido de materia orgánica del suelo, acidez que causa menor mineralización de la materia orgánica, lixiviación del SO_4^{2-} , sequía prolongada y el uso generalizado de fertilizantes sin S.

Los síntomas de exceso de S pueden aparecer como clorosis intervenal en algunas especies.

Azufre como agente de defensa contra plagas y enfermedades

La acción de un determinado patógeno puede predisponer a la planta al ataque de otros, además de causar daños en el sitio infectado (Huber y Graham., 1999). Los hongos y bacterias causan desórdenes en el sistema vascular impidiendo la utilización y la translocación de nutrientes por la planta. Inicialmente, ocurren excesos o deficiencias en las células alterando, por ejemplo, la permeabilidad de las membranas. La concentración en toda la planta no se altera. Sin embargo, en estadios más avanzados ocurren alteraciones anatómicas y síntomas visibles de deficiencias nutricionales (Malavolta, 1998).

Los nutrientes tienen un papel importante en la alimentación, pero también están íntimamente ligados a la predisposición de las plantas al ataque de insectos y patógenos. Se ha observado que las moléculas que tienen N y S tienen un papel importante en la protección de las plantas contra insectos y patógenos. Tanto el exceso como la deficiencia pueden predisponer a las plantas a ataques de patógenos, demostrando la

necesidad de la nutrición balanceada de los cultivos.

El manejo conjunto del N y S juega un papel importante en el control de enfermedades. Es conocido que el exceso de N predispone la planta a enfermedades y este efecto se acentúa cuando también existe deficiencia de S. Esta condición se presenta frecuentemente en muchos sitios donde no se presta atención al contenido de S en el sistema.

La falta de S y el exceso de N aumentan el contenido de carbohidratos, reduce el contenido de azúcares reductores y la síntesis de proteínas en la planta. Esto acumula aminoácidos en las hojas promoviendo un medio para que prosperen hongos, bacterias e insectos. Por esta razón, el mantener el balance entre N y S en la planta permite no solamente que el N aplicado sea utilizado eficientemente por la planta para acumular rendimiento, sino que además hace que la planta resista el ataque de enfermedades e insectos.

El manejo de N en el suelo también es importante en el control de enfermedades. Se ha observado que en suelos ácidos son más eficientes las fuentes amoniacales de N para el control de enfermedades. Esto parece estar asociado con la interacción con el manganeso (Mn). La ausencia de Mn en la planta provoca la presencia de ciertas enfermedades.

La absorción de amonio (NH_4^+) por las raíces promueve la acidificación de la rizosfera, aumentando la disponibilidad de elementos esenciales como Mn, vía ácido shiquímico, puerta de entrada para la biosíntesis de fenoles y lignina. La absorción de NH_4^+ también incrementa el número de microorganismos antagónicos a los patógenos debido a que el NH_4^+ es la forma preferida de N de estos organismos (Kommedahl, 1984).

El manejo del S en el control de enfermedades es también importante. Se conoce que el uso de S como fungicida se inició alrededor del año 150 D.C., sin embargo, el uso de S se tornó en una práctica agrícola en 1845-1847 en Inglaterra y Francia para el control de oídio en los viñedos (Paul, 1978). En el año 1974, en Estados Unidos, se utilizó con éxito la aplicación de S^0 en el control de hongos en el cultivo de remolacha.

Todavía no se conoce bien el modo de acción del S^0 . Las hipótesis más aceptadas son (Williams y Cooper, 2004):

- Las células de los hongos son permeables al S^0 (las esporas pueden absorber S) y el S en el citoplasma afecta la cadena respiratoria mitocondrial.
- Puede haber transferencia de iones hidrógeno (H^+)

al S°, en lugar de transferencia al oxígeno (O₂), produciendo sulfuro de hidrógeno tóxico.

- El S° puede oxidar rápidamente (no enzimáticamente) grupos sulfidrílicos proteicos y no proteicos importantes en muchas funciones respiratorias de las mitocondrias. Este fenómeno puede producir una modificación del estado de oxidación del complejo respiratorio alterando el flujo de electrones en la cadena respiratoria mitocondrial y, consecuentemente, la fosforilación oxidativa, resultando en fungotoxicidad.
- Wickenhauser et al. (2005) indican que un mecanismo de defensa de la planta contra los patógenos es la liberación de sulfuro de hidrógeno (H₂S).

Recientemente, Williams et al. (2002) demostraron que plantas de tomate inoculadas con *Verticillium dahliae* producían S° en respuesta a la infestación. Es posible que la acumulación de S° esté asociada con una respuesta de hipersensibilidad de la planta al patógeno, controlada por la expresión de muchos genes.

El S° aplicado a las hojas puede ser absorbido y metabolizado actuando como agente de defensa contra los patógenos o bien puede convertirse en sulfato u otros compuestos de S. El objetivo del uso dependerá del estado nutricional y el estado de sanidad de la planta (Malavolta, 2006).

Después de entrada en vigencia en Europa de la legislación que controla la emisión de gases tóxicos hubo una drástica reducción de las concentraciones atmosféricas de SO₂, especialmente en Europa Occidental.

Como resultado de esta condición se empezaron a observar deficiencias severas de S en el campo, causando desórdenes nutricionales, alta susceptibilidad a las enfermedades y significativa reducción de la producción (Eriksen, et al., 1998).

Bibliografía

Eriksen, J., M.D. Murphy, E. Schnug. 1998. The soil sulphur cycle. In: E. Schnug (Ed). Sulphur in agroecosystems. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. pp. 39-73.

Hammond-Kosack, K., J.D.G, Jones. 2000. Response to plant pathogens. In: Buchanan, B.B., Gruissem, W., Jones, R.L. (Eds.). Biochemistry & Molecular Biology of Plants. Rockville: American Society of Plant Physiologists. pp. 1102-1156.

Huber, D.M., Graham, R.D. 1999. The role of nutrition in crop resistance and tolerance to diseases. In:

Rengel, Z. (Ed.). Mineral Nutrition of crops: fundamental mechanisms and implications. New York: food Products Press. pp. 169-204.

Kommedahl, T. 1984. Interaction of nitrogen use and plant disease control. In: Hauck, R.D. (Ed.). Nitrogen in crop production. Madison: American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/ Soil Science Society of America. pp. 461-472.

Malavolta, E. 1998. Adubação mineral e sua relação com doenças das plantas: a visão de um nutricionista de plantas. In. Workshop - a interface solo-raiz (Rizosfera) e relações com a disponibilidade de nutrientes, a nutrição e as doenças de plantas. Piracicaba: POTAFOS/CEA. pp. 1-60.

Malavolta, E. 1950. Estudos sobre enxofre. Tese (Livre Docência em Química Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba. 96 p.

Malavolta, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. 631 p.

Malavolta, E. y M.F. Moraes. 2006. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: Simpósio sobre nitrogênio e enxofre na agricultura Brasileira. Piracicaba: ESALQ/POTAFOS.

Malavolta, E., G.C. Vitti y S.A. Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS. 319 p.

Paul, X. 1978. Fungicide Sulphur. In: Proceedings of the Symposium "The use of sulphur containing products in agriculture". Seville: The sulphur Institute. pp. 101-106.

Wickenhauser, P., E. Bloem., S. Haneklaus y E. Schnug. 2005. Ecological significance of H₂S emissions by plants a literature review. Landbauforschung Volkenrode. Special issue. Vol. 283. pp. 157-161.

Williams, J.S. y R.M. Cooper. 2004. The oldest fungicide and newest phytoalexin - reappraisal of the fungicity of elemental sulphur. Plant Pathology. Vol. 53. pp. 263-279

Williams, J.S., S.A. Hall., M.J. Hawkesford., M.H. Beale y R.M. Cooper. 2002. Elemental sulfur and thiol accumulation in tomato and defense against a fungal vascular pathogen. Plant Physiology. Vol. 128. pp. 150-159.❖