

**El papel del azufre y el potasio en la producción de hortalizas de alta calidad en México**

por  
Dr. Ignacio Lazcano-Ferrat.

El azufre (S) y el potasio (K) son dos de los nutrientes para las plantas más ligados a la calidad de los cultivos hortícolas. La absorción del ión sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) y del catión  $\text{K}^+$  por la planta se ve influida por otros iones como son el ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ )

ión cloruro  $\text{Cl}^-$  y por supuesto por el ión hidrógeno que en algunos casos interviene en el co-transporte de aniones dentro de la planta. Así, la fertilización con S y K está en correspondencia con los niveles de otros elementos nutritivos para las plantas; de ahí la importancia del balance y la cantidad absoluta de estos que se apliquen como fertilizante. El S absorbido por las plantas está relacionado con muchos nutrimentos; sin embargo, existen relaciones estrechas entre el S y el K en el metabolismo de las plantas. Los dos nutrientes interactúan con el nitrógeno para aumentar la calidad de los productos hortícolas, i.e. el S juega un papel muy importante en la activación de la enzima nitrato reductasa, necesaria para la conversión de  $\text{NO}_3^-$  a aminoácidos en las plantas. Los aminoácidos cisteína, cistina y metionina contienen azufre y la formación de enlaces S-S es vital para el mantenimiento de la estructura cuaternaria (tridimensional) de las proteínas (Allway and Thomson 1966; Amberger 1979). La formación de compuestos orgánicos volátiles que dan olores característicos a algunas especies hortícolas como el ajo y cebolla contienen azufre y reflejan su calidad. En la familia de las crucíferas como lo son el brócoli, la coliflor, y la mostaza, la función del azufre está muy relacionada con la formación de aceites esenciales a partir de diferentes glucosidos. Las crucíferas son de las especies que más S contienen comparadas con cereales y leguminosas (ver **tabla 1**).

**Tabla 1. Contenido promedio de azufre en diferentes grupos de plantas**

Grupo de Plantas	Contenido promedio de S en materia seca (%)
Cereales	0.175
Leguminosas	0.27
Crucíferas	1.27

Fuente: Bornemisza, 1990

**Tabla 2 .- Número de pruebas de campo parcial o totalmente financiadas por el Instituto de la Potasa y el Fósforo (PPI/PPIC) que incluyen investigación de respuesta al Potasio y al Azufre de 1995 a 1998 en México**

Número de pruebas	Cultivo	Estado (s)
5	Brócoli	Guanajuato
6	Alfalfa	Querétaro y Guanajuato
15	Maíz	Chiapas y Jalisco
1	Coliflor	Querétaro
1	Tomate	Guanajuato
1	Pastos	Chiapas
3	Caña de Azúcar	Veracruz
1	Jícama	Guanajuato
1 (25 huertos)	Aguacate	Nayarit y Michoacán
<b>Total = 34</b>		

Fuente: Archivos INPOFOS

En las hortalizas en general el papel del azufre está relacionado con las cantidades de aceites esenciales, color (al estar relacionado el S con la formación de clorofila) y uniformidad. Desde el punto de vista agronómico más investigación entre las relaciones N:S son necesarias, ya que estas deben de estar ligadas a la cantidad de Nitrato disponible para las plantas y a su balance con otros nutrimentos como la relación S:P, sobre todo en la formación de semilla. En el caso del potasio, es bien sabido el efecto positivo de este nutrimento sobre la calidad de las plantas.

El efecto sobre la vida de anaquel y la turgencia de los vegetales ha sido confirmada por muchos investigadores. En el tomate (*Lycopersicon esculentum*), el nivel de potasio es crítico para lograr un buen desarrollo de fruto; la caída prematura del fruto, falta de succulencia, maduración dispereja y manchada es efecto de la mala nutrición con potasio. Los niveles de K en fruto llegan a representar más del 4.8 % disueltos en base seca (más que el N total) a la madurez. Además, la traslocación de este nutrimento desde las hojas y tallos a el fruto es muy rápida a partir de los 55 días, llegando al máximo en la etapa de maduración del fruto.

El K es vital para lograr una buena acumulación de sólidos totales (azúcares) en frutos y tejidos de almacenamiento de las plantas. Su función en la prevención de enfermedades es otro factor importante en la calidad de las hortalizas de exportación.

Experimentos parcialmente financiados por el Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS) en El Bajío con Brócoli y otras hortalizas, han brindado evidencias no solo de la gran acumulación de K en estos cultivos, sino también en su efecto positivo al incrementar la

## El azufre y el potasio en los suelos de México

En general, los niveles de azufre en los suelos de México son muy variables y hay una fuerte proporción de éstos con bajos contenidos de S total. Kamprath y Till han reportado estimados con niveles totales inferiores a 250 mg/kg en los suelos superficiales. Como es sabido los niveles de azufre son bastante dependientes de los niveles de materia orgánica presente en los suelos de ahí la importancia de los programas de labranza que buscan incrementar el contenido de materia orgánica del suelo. Sin embargo, como lo afirman Bromfield y colaboradores (1982), para condiciones tropicales de América, hay que poner más atención a la relación C/S que a los niveles absolutos o totales de S en los suelos, lo que es fácil de comprender considerando que el proceso de mineralización es un proceso básicamente microbiano (Frenay, 1967; Anderson, 1975). Se sabe también que como en el caso del N, la relación C/S determina si habrá mineralización o una fijación biológica de S, provocando deficiencias temporales especialmente en cultivos de ciclo corto como lo son las hortalizas. En México la disminución de materia orgánica es cada vez más patente en cultivos intensivos en muchas regiones del país. La velocidad de mineralización del azufre (generalmente menor a la del N) debe de estudiarse a detalle en las zonas hortícolas del país, ya que aun cuando la cantidad de S incremente, su aprovechamiento puede ser mínimo y en algunos casos, la velocidad de mineralización puede ser el factor limitante en relación a la disponibilidad de sulfato en el suelo. Otro hecho importante en los suelos de México es la intensidad y cantidad de lluvias en las partes costeras del sur y sur este del país. Las intensas lluvias tienden a "lavar" los suelos; cationes y aniones son arrastrados del perfil donde crecen los cultivos ocasionando desbalances importantes en relación a la fertilidad de estos suelos. El anión principal que acompaña a los cationes en suelos tropicales muy lixiviados es el ión sulfato, lo cual explica la presencia de síntomas de deficiencia de azufre en cultivos hortícolas producidos en suelos tropicales sujetos a un lavado intenso. Por otro lado los suelos del norte y nor oeste del país, de naturaleza calcarea y con tendencias a la salinización, suelos comunmente claros y con horizontes residuales pueden requerir de S en grandes cantidades como mejorador. Los aridisoles generalmente no presentan problemas de falta de S debido a

**Tabla 3.** Producción Nacional de azufre 1988,1994-96.

Año	Toneladas métricas
1988	510,000
1994	704,000
1995	719,000
1996	761,000

Fuente : PEMEX GAS y Petroquímica básica memoria de labores edición 1997.

que es un componente importante de muchos de ellos. Sin embargo, la sodicidad y la falta de materia orgánica que presentan muchos de estos suelos en las zonas hortícolas del norte del país, ocasionan que el azufre se convierta no solo en un nutriente limitante sino que la importancia de este elemento resulte primordial en los programas de mejoramiento de suelos sódicos y alcalinos. Lo mismo se puede decir de los vertisoles, que predominan en la parte central de El Bajío, en la parte Norte de Veracruz y centro de Tamaulipas, Nor oeste de México (Sonora y Baja California) y algunas partes del centro sur y sur del país. Estos suelos arcillosos que presentan fisuras grandes y profundas cuando son secos y muy expandibles con la humedad, son suelos de clima semiseco y húmedo alterno. Estos suelos son fértiles y se desarrollan en topografías mas o menos planas, son generalmente muy codiciados para la producción de hortalizas a pesar de su dificultad para el manejo agronómico. Desgraciadamente en México es muy poco lo que se ha investigado acerca de la disponibilidad de S en los vertisoles productores de hortalizas. Se espera que la demanda de este nutriente por las hortalizas de alto rendimiento sea cada vez mayor. Además, la situación de algunas regiones esta demandando sulfato de calcio en mayores cantidades debido al aumento de la sodicidad de estos suelos.

**La figura 1** presenta el mapa de suelos de México de acuerdo al mapa de suelos del mundo preparado por la FAO-UNESCO. Algunas investigaciones de (Amaya 1981; Huacuja 1981; Malavolta 1987) presentan resultados sobre el azufre en México, sin embargo, es necesario un esfuerzo multiempresarial y gubernamental para la actualización del estatus del S y la respuesta de cultivos hortícolas de alta calidad. Estudios de Amaya (1981) han presentado evidencias de la respuesta al azufre sobre todo cuando existe un buen balance con fertilizantes nitrogenados y fosforados. La información sobre los niveles de azufre de los suelos de México susceptibles al lavado de bases y aniones, indican niveles de 4.8 a 17.9 mg/kg de S extraíble por fosfatos de una serie de suelos examinados. En general,

se estima que los datos similares al límite inferior indicado por varios investigadores corresponden a suelos con deficiencia de S lo que da prueba de la necesidad de aplicaciones de S como fertilizante para obtener altos rendimientos y calidad.

La región de suelos volcánicos en el centro de México, altiplano y El Bajío, presenta características especiales de fijación tanto para el S como para el K como se reporta por (Gebhardt 1974; Huacuja 1981). Esta adsorción es apreciable cuando se aplican sulfatos ya que este depende de la concentración y de la "necesidad" de saturación de los suelos con arcillas expandibles y minerales amorfos con gran capacidad de fijación de aniones y cationes. Se estima que tres grupos de suelos pueden presentar problemas de fijación de S y de K, especialmente cuando están dedicados a la explotación de hortalizas de alta producción, con desbalances de N, P y otros cationes como el Mg y Ca, estos son: Andisoles, especialmente Dystrandeps e Hidrandeps, suelos muy arenosos, posiblemente de los órdenes de Entisoles e Inceptisoles y los antiguos y altamente meteorizados del sur húmedo del país, Chiapas, Oaxaca, Tabasco y Quintana Roo, pertenecientes a los Ultisoles, que son, con cierta frecuencia, bajos en S y muy lixiviados en cuanto al K. La producción Nacional de azufre se ha incrementado en los últimos años. Además, ha sido suficiente para satisfacer su demanda como nutrimento para las plantas (ver **tabla 3**). Sin embargo, la oferta y utilización del S como mejorador deben incrementarse sobre todo en regiones y cultivos que demandan calidad.

La producción de hortalizas en México es variable año con año, sin embargo ha ido incrementándose sobre todo de 1991 a la fecha debido principalmente a la fluctuación de los precios de los granos a nivel mundial y a los tratados de libre comercio que han facilitado la exportación de estos productos. Los incrementos en la cantidad de empresas empacadoras "maquiladoras" de hortalizas de alta calidad, de exportación, ha proliferado en el centro y noroeste de México principalmente. Recientemente, diversas empresas hortícolas han mostrado mucho interés en incursionar en zonas más "tropicales" de México. Estados como Chiapas, Tabasco, El sur de Veracruz y Oaxaca han incrementado la producción de hortalizas significativamente, principalmente chile, tomate y cucurbitas. **La tabla 4** presenta una relación de los cultivos hortícolas más representativos del país con los rangos de superficie y rendimientos aproximados desde 1991 a 1997 según el INEGI y la SAGAR.

Los rangos de superficie en producción de hortalizas en México se estima que varía de alrededor de 800,000 a 900,000 hectáreas por año; incluyendo hortalizas como las calabazas, que se intercalan tradicionalmente con granos como maíz y frijol entre otros. Las regiones productoras de hortalizas más importantes en México se presentan en la **figura 2**, siendo los Estados de Guanajuato y Sinaloa los Estados de mayor tradición en la producción de hortalizas de alta tecnología. La aplicación de S como mejorador de suelos con problemas de sodicidad ha ido incrementándose paulativamente en zonas de El Bajío y Noroeste de México. Las aplicaciones de 1 tonelada por hectárea en cultivos de crucíferas (brócoli, coliflor) es ya una práctica común entre los agricultores que utilizan agua de bombeo profundo. Las aplicaciones de sulfato de potasio van creciendo a medida que la respuesta de los cultivos hortícolas se incrementa, sobre todo al balancear el S, K y el nitrógeno. Los desbalances nutrimentales con excesos de N se han reflejado en incrementos de calidad y susceptibilidad a enfermedades y plagas como el "dorso de diamante". Generar la información necesaria, relacionada con la fertilización suficiente y balanceada utilizando S y K es imperativo para incrementar la productividad y calidad de las hortalizas en México.



**Figura 2.-Regiones productoras de hortalizas más importantes en México**

**Tabla 4.- Principales hortalizas producidas en la República Mexicana, superficie, rendimientos aproximados y estados del país con mayor producción**

Cultivo / Hortaliza Productores	Nombre Científico	Superficie Aproximada	Rendimiento	Principales Estados (Ton/ha)*
Acelga	Beta vulgaris	575-650	4.7 - 19.9	Distrito Federal, Tlaxcala, Puebla
Ajo	Allium sativum	8,809-12,000	5.4 - 8.34	Gto, Ags, Zac Qro
Apio	Apium graveolens	382 - 450	11.02 - 38.5	Hgo, Gto, BC, Mex
Brócoli	Brassica oleracea	17,921-35,000	6.7 - 26.6	Gto, Qro, Coah, Son
Calabazas	Cucurbita spp.	278,195 - 300,000	3.3 - 9.8	Yuc, Gro, SLP, Oxa
Calabacitas	Cucurbita spp.	20,000 - 25,000	5.2 - 12.6	Sin, SLP, Mich, Son, Pue
Cebollas	Allium cepa	44,000 - 50,000	12.0 - 24.5	Gto, Tamp, Mor, BC
Chícharo (Verde)	Pisum sativum	11,000 - 15,000	1.7 - 5.5	Mex. Pue, Gto
Chilacayote	Cucurbita ficifolia	2,000 - 2,500	1.6 - 35.4	Oax, Chia, Mich
Chile	Capsicum annuum	13,000 - 120,000	4.9 - 16.6	Zac, Gto, Ver, Sin., Chihuahua
Chile Seco	Capsicum annuum	4,500 - 8,000	3.6 - 5.5	Pue, Hgo, BC, Mich
Cilantro	Coriandrum sativum	4,500 - 8,000	3.6 - 5.5	Pue, Hgo, BC, Mich
Col	Brassica oleracea var capitata L.	6,000 - 10,000	15.3 - 27.2	Pue, Zac, Mich, Gto
Coliflor	Brassica oleracea var botrytis L.	5,800 - 8,000	7.3 - 16.0	Gto, Pue, Son
Espinaca	Spinacia oleracea	1,000 - 1,500	7.0 - 19.3	Gto, Mex, Pue, DF
Fresa	Fragaria Spp.	5,500 - 7,000	11.0 - 21.4	Gto, Mich
Jícama	Pachyrhizus erosus	3,700 - 5,000	13.0 - 20.7	Mor, Gto, Nay, Mex
Lechuga	Lactuca sativa	8,300 - 10,000	9.6 - 17.8	Pue, Gto, BC, Mex
Melón	Cucumis melo	43,000 - 50,000	11.6 - 15.0	Son, Oax, Nay, Gro
Papa	Solanum tuberosum	64,000 - 75,000	14.9 - 30.0	Pue, Ver, Sin, Chihu, NL, Mex
Pepino	Cucumis sativus	15,000 - 20,000	10.2 - 24.5	Sin, Mich, Mor, Nay
Rabano	Raphanus sativus	2,500 - 3,500	4.9 - 11.8	Pue, Son, BC, Jal
Sandia	Citrullus vulgaris scharad	44,000 - 50,000	9.1 - 29.8	Son, Nay, Ver, Jal, Sin
Tomate Rojo	Lycopersicon esculentum Mill	178,000- 90,000	16.2 - 32.4	Sin, BC, Mich, Mor
Tomate Verde	Physalis ixocarpa	25,000 - 30,000	5.8 - 11.0	Mich, Pue, Jal, Mor
Verdolaga	Portulaca oleracea	100 - 200	4.0 - 7.0	DF, Mor, BC
Yuca	Manihot esculenta	5,000 - 7,000	2.5 - 6.5	Oax, Tab, Chia, Ver, Yuc
Zanahoria	Daucus carota	11,000 - 15,000	11.6 - 24.5	Gto, Pue, Mex



### Bibliografía

- Allaway, W.H. y Thomson, J.F. (1966). Sulfur in the nutrition of plants and animals. *Soil Science* 101: 240-247
- Amaya, U. M. (1981) Importancia del azufre en la producción agrícola. En : El uso del azufre para el desarrollo y modernización de la agricultura en azufre para el desarrollo y modernización de la agricultura en América Latina, 1er simposio, México, D.F. México.
- Amberger, A. (1979). *Pflanzenernahrung*. Ulmer Stuttgart, Rep. Fed. Alemana, 264 p.
- Anderson, G. (1975). Sulfur in soil organic substances. In: *Soil Components*. Vol I. Organic components J.E. Gieseking (de.) Springer, N.Y., USA. P 333-341
- Bromfield, A. R., Debenham, D.F. Hancock, I. R. y Powdrill, M. (1982). Changes in soil sulphur status and the development of sulphur deficiencies in tropical africa. In: *International Sulphur Conference 82. Proceedings*, A.I. Moore (de). The British Sulphur Co. Ltd. U.K., pp. 497-516.
- Freney, J.R. (1967). Sulfur- containing organics. In : *Soil Biochemistry*. Vol I. A.D. MacLaren y G.D. Peterson (eds). M. Dekker Inc., New York, USA pp 229-259.
- Gebhart, H. y Coleman, N.T. (1974) Anion adsorption by allophanic soils II. Sulfate adsorption. *Soil Science Society of America, Proceedings* 38: 259-262.
- Huacuja, R.F. y Cajuste, L.J. (1981). Fijación de azufre en suelos derivados de cenizas volcánicas de la Sierra Tarasca. En: el uso del azufre para el desarrollo y modernización de la agricultura en América Latina, 1er. Simposio, México, D.C. México
- Malavolta, E. y Paulina, V.T. (1987). Sulphur balance in Central and South America. In: *Sulphur 87, Agricultural Session*, The Sulphur Institute, Houston, USA, pp. 31-50