

EL AZUFRE DEL SUELO

Ing. Agr. MSc. Agustín Sanzano

INTRODUCCIÓN

El azufre es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas y uno de los considerados macronutrientes. Es un componente básico de las proteínas, por lo tanto, deficiencias del mismo se traducen en inhibición de la síntesis proteica.

ORIGEN

El azufre se presenta en forma orgánica e inorgánica. La fuente de origen más importante está constituida por los sulfuros de metales contenidos en las rocas plutónicas, las que al sufrir procesos de meteorización fueron oxidados y liberados como sulfatos. Los minerales que se citan como fuentes de este elemento son:

- | | |
|--|----------------|
| • Yeso ($\text{SO}_4\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) | Galena (SPb) |
| • Anhidrita (SO_4Ca) | Blenda (SZn) |
| • Pirita (SFe) | Cinabrio (SHg) |

Otra fuente importante es la atmósfera, sobre todo en las cercanías de los centros industriales, donde el SO_2 liberado por la combustión de hulla y petróleo principalmente, pasa al aire y luego al suelo por acción de las lluvias, como así también por difusión gaseosa. Los vegetales pueden tomar hasta el 30% del S necesario desde la atmósfera.

Por otra parte, los suelos de las regiones marítimas se encuentran, generalmente, bien provistos de este elemento.

El contenido de azufre en los suelos oscila entre 0,02 y 0,2%. Los suelos orgánicos pueden presentar contenidos de hasta un 1% de S. Hay contenidos elevados de azufre en los suelos salinos de regiones áridas y también en los suelos calcáreos, donde los sulfatos de calcio aparecen mezclados con los carbonatos. En los horizontes superficiales encontramos altos valores de S orgánico y bajos de sulfatos, que se acumulan en el subsuelo.

FORMAS DE AZUFRE EN EL SUELO

- **S orgánico:** proviene de los residuos vegetales y animales. Consiste en su mayor parte de proteínas, aminoácidos y otros compuestos azufrados. En general, entre el 60 y el 90% del S total se encuentra en forma orgánica.

En la caracterización del S orgánico se utiliza la relación C/N/S, pues estos elementos, junto al fósforo son los componentes más importantes de la materia orgánica. La relación C/S oscila alrededor de 100, en casos extremos puede llegar a valores de 600-700.

El S orgánico es importante como reserva del elemento. Los sulfatos pueden lavarse, mientras que los compuestos orgánicos resisten y gradualmente pasan a sulfatos, que es la forma predominante en que lo absorben las plantas.

La cantidad de S mineralizado por año se estima entre 1-3% del S orgánico.

- **S inorgánico:** la mayoría del S inorgánico se encuentra como sulfatos. En suelos anegados y pantanosos, se presentan sulfuros como la pirita, que al restablecerse las condiciones de aireación pasan a sulfatos. En suelos bien aireados, en cambio, solo el 1% está como sulfuro.

Los sulfatos pueden encontrarse:

- En formas solubles (sulfatos de Mg; Na; K)
- En formas relativamente solubles (sulfatos de Ca)
- En formas insolubles (sulfatos de bario y estroncio)
- Adsorbidos al complejo de cambio (como fuentes de reserva)

Las cantidades presentes en la solución del suelo son generalmente pequeñas. En regiones áridas se lavan escasamente, y es posible encontrar en dichos suelos grandes concentraciones de SO_4Ca ; SO_4Mg y SO_4Na . En regiones húmedas, por acción del lavado, tienden a acumularse en los horizontes subsuperficiales por adsorción sobre óxidos de Fe y Al o sobre caolinitas, materiales más típicos de estas regiones que de las primeras.

Las evidencias experimentales conducen a aceptar que el proceso de adsorción de SO_4^- es un mecanismo parecido al de la adsorción de fosfatos y se produce en los mismos sitios, aunque los sulfatos son retenidos con menor fuerza que los fosfatos, lo que hace que esté más disponible para las plantas que el fósforo. La adsorción decrece con el pH y aumenta con el contenido de arcilla.

DINÁMICA DEL AZUFRE

- **Absorción:** las plantas absorben sulfatos, algunos aminoácidos y a veces SO_2 atmosférico por difusión gaseosa a través de las hojas, sintetizando proteínas y otros compuestos azufrados.

- **Mineralización:** los residuos vegetales y animales son mineralizados por microorganismos especializados liberándose S inorgánico. Las proteínas, péptidos y otros compuestos son depolimerizados hasta aminoácidos y el S de éstos sale reducido (SH_2), y en condiciones normales de oxidación pasa a SO_4^- . En este proceso intervienen bacterias heterótrofas aerobias o anaerobias y hongos. El SO_4^- producido por la mineralización es en parte tomado por los microorganismos del suelo. Entre los factores que afectan la mineralización, al igual que para el nitrógeno, están la humedad y la temperatura (cercana a capacidad de campo y 30° C, respectivamente).

- **Oxidación:** el S es oxidado a SO_4^- por diversas especies bacterianas del género Thiobacillus, aerobios au-

tótrofos, que obtienen su energía de la oxidación de un material inorgánico, en este caso el S, y su C lo toman del CO₂, para sintetizar sus compuestos carbonados. La oxidación de S a SO₄⁼ disminuye el pH del suelo por formación de H₂SO₄. Este proceso es aprovechado a veces en suelos alcalinos, agregando a los mismos S para reducir el pH.

- **Reducción:** en condiciones de anaerobiosis, el sulfato es reducido a H₂S, FeS, FeS₂. Este proceso, no muy bien conocido, se produce especialmente en suelos arcillosos o inundados (como en arrozales). Se efectúa por acción de microorganismos heterótrofos que usan la materia orgánica como fuente energética, principalmente bacterias del género *Desulfovibrio*. El H₂S, de olor desagradable, puede ser oxidado a S por bacterias fotosintetizadoras grises y púrpuras. Cuando este proceso es restringido, el H₂S puede acumularse a niveles tóxicos, afectando el desarrollo de los vegetales. Este efecto negativo puede minimizarse con el agregado de sales de hierro, que forman FeS soluble.

CONSIDERACIONES FINALES

El problema del mantenimiento de cantidades adecuadas de azufre para la nutrición mineral de las plantas es cada vez más importante. Inclusive, aunque probablemente las deficiencias de azufre no se generalicen tanto como las de nitrógeno, fósforo, y potasio, la creciente remoción de azufre por los cultivos hace que los productores deban estar atentos para prevenirlas. En algunas partes del mundo (especialmente en áreas de pastoreo semiáridas), el azufre es ya el segundo nutriente limitante para la producción después del nitrógeno.

Los residuos de cultivo, y los abonos orgánicos pueden ayudar a reponer el azufre removido en las cosechas, pero esas fuentes generalmente pueden reciclar solo aquel azufre que ya existe en el campo. En las regiones con suelos pobres en azufre puede haber una gran dependencia de la adición de fertilizantes. Las aplicaciones regulares de materiales que contienen azufre son necesarias para el buen rendimiento de los cultivos en extensas áreas lejos de las plantas industriales. En el futuro se deberá incrementar el uso de azufre.

BIBLIOGRAFÍA

- **BRADY, N. and R. WEIL.** 1999. The Nature and Properties of Soils. 12th Edition. Prentice Hall, Inc. New Jersey.
- **NELSON, D. W.; ELRICK, D. E. and TANJI, K. K.** 1992. Chemical Mobility and Reactivity in Soil Systems. SSSA Special Publication Number 11. American Society of Agronomy, Inc.
- **MUNSON, R. D.** 1985. Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Inc.
- **STEVENSON, F. J. and M. A. COLE.** 1999. Cycles of Soils. John Wiley & Sons, Inc.