



Oxidación del azufre elemental en los suelos

El azufre (S) es uno de los 17 elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, y el cuarto más importante después de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en términos de la cantidad requerida por los cultivos. Al considerar las fuentes de nutrientes, el Azufre Elemental (AE) es la forma más concentrada de S, por lo que es atractivo dado sus menores costos de transporte (por kg de nutriente) en comparación con los fertilizantes a base de sulfato. El AE no es absorbido por los cultivos como tal, puesto que debe convertirse a sulfato para poder ser asimilado por las plantas. Este artículo describe cómo el AE se oxida en el suelo y cuáles son los factores que afectan la tasa de oxidación. Los resultados de un modelo que predice tasas de oxidación de S, en fertilizantes granulados que contienen AE, son presentados para ilustrar los factores claves que afectan su oxidación en el suelo.

Factores claves que afectan la oxidación del azufre elemental

La oxidación de AE en el suelo es un proceso microbiano que requiere la presencia de agua y oxígeno (Fig. 1). El sulfato convertido puede ser absorbido por los cultivos, absorbido por microorganismos del suelo, lixiviado por debajo de la zona de la raíz en suelos de textura gruesa o en áreas con abundante lluvia. Existe una amplia variedad de microorganismos en el suelo que son capaces de oxidar el AE, incluidas las bacterias y los hongos; pero la oxidación no depende únicamente de la presencia de organismos específicos que oxiden azufre. Los principales factores que afectan la oxidación de AE son los siguientes:

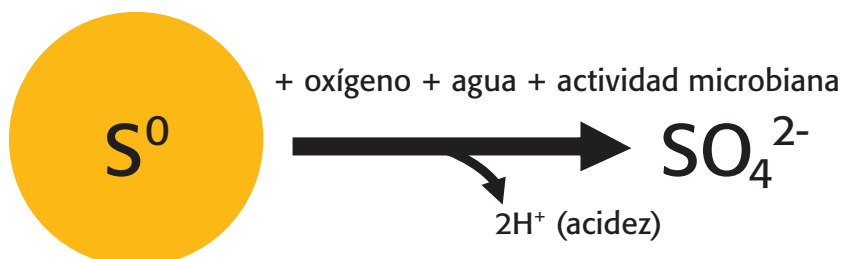


Fig. 1: La reacción de la oxidación de S elemental (S⁰) hace que el S se convierta en sulfato (SO₄²⁻).

El suelo y los factores ambientales que afectan la oxidación del Azufre Elemental:

La oxidación es más rápida en suelos cálidos y húmedos con altos contenidos de materia orgánica (MO). Las reacciones de oxidación de AE también son más rápidas en suelos alcalinos que en suelos ácidos (Fig. 2).

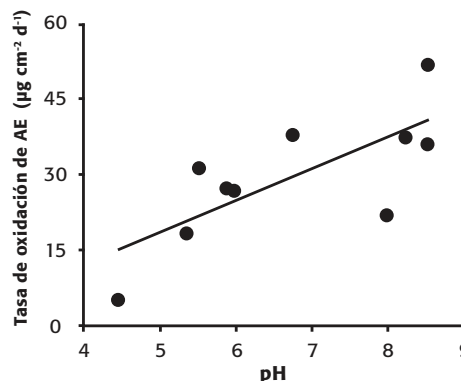


Fig. 2: Efecto del pH del suelo sobre la oxidación del Azufre Elemental (AE) en 10 suelos (Zhao, et al. 2015).

De los factores ambientales y del suelo que afectan la tasa de oxidación, la temperatura y el pH del suelo tienen el mayor efecto.

Atributos de fertilizantes que afectan la oxidación de azufre elemental:

La oxidación del AE también se ve afectada por las características del fertilizante, incluido el tamaño de partícula del azufre elemental y/o su concentración en el fertilizante.

- El azufre elemental se debe oxidar en SO₄²⁻ para ser absorbido por los cultivos
- Las tasas de oxidación aumentan en suelos cálidos y húmedos y en suelos alcalinos
- Las tasas de oxidación disminuyen con un tamaño de partícula de AE más grande y con mayores concentraciones de AE dentro del gránulo de fertilizante

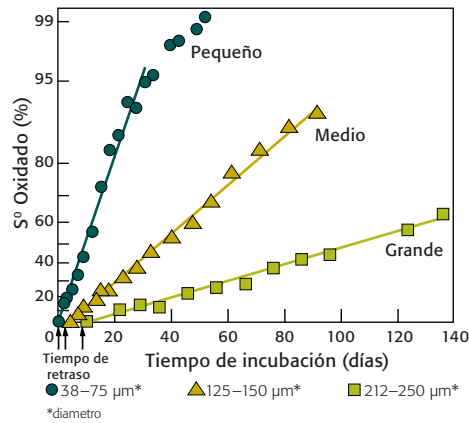
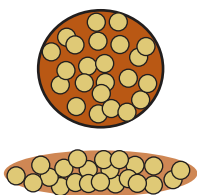


Fig. 3: Efecto del tamaño de la partícula de AE (S^0) sobre la tasa de oxidación del S en un suelo donde las partículas se dispersaron uniformemente (Watkinson y Blair, 1993).

La oxidación es un proceso basado en la superficie de la partícula, y esta área de superficie aumenta dramáticamente a medida que disminuye el tamaño de partícula; por lo tanto, el tamaño de partícula es uno de los atributos más importantes que afectan a la oxidación. Cuando el AE se dispersa por todo el suelo, la oxidación del S es más rápida a medida que disminuye el tamaño de partícula (figura 3). En los fertilizantes de AE co-granulados (es decir, en los que las partículas de S elementales se co-granulan con macronutrientes [N, P, K]), la oxidación se reduce en comparación con las partículas S elementales del mismo tamaño dispersadas a través del suelo. Esto no se debe a que los macronutrientes reduzcan la tasa de oxidación, sino a la reducción en el área superficial de S elemental disponible para la oxidación cuando se dispersa en el suelo. Por lo tanto, la velocidad de oxidación más baja del S elemental co-granulado se puede explicar por una reducción en el área superficial del S en contacto con el suelo.

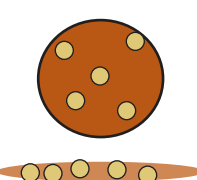
Además, la concentración de AE dentro de un gránulo de fertilizante afecta el área superficial y la tasa de oxidación. Los gránulos de fertilizante con una alta concentración de AE (Fig. 4A al 90%) tienen una superficie mucho más pequeña que un fertilizante co-granulado con una baja concentración de AE (Fig. 4B al 5%). Un modelo basado en Excel ha sido producido por el Fertilizer Technology Research Center de la Universidad de Adelaide, que integra todos los factores del suelo, el ambiente y los gránulos de fertilizante que afectan la oxidación del S elemental en los suelos, lo que permite predecir las tasas

Fig 4A: Ejemplo de un gránulo de fertilizante con 90% de AE.



Los nutrientes solubles (N, P) se difunden y los gránulos colapsan. No todas las partículas de S^0 están expuestas al suelo (algunas superficies están "enmascaradas") - oxidación lenta.

Fig 4B: Ejemplo de gránulo de fertilizante con 5% de AE.



Los nutrientes solubles (N, P) se difunden y los gránulos se colapsan. Debido a la menor concentración de S^0 , la superficie de todas las partículas está expuesta: oxidación rápida.

● = Partículas de S Elemental ● = Portador de macronutrientes

Fig 4: Esquema de disolución de fertilizantes granulados que contienen S elemental (S^0), para un gránulo con (a) alta o (b) baja concentración de AE (McLaughlin, et al., 2015).

de oxidación en varios lugares con tipos de fertilizantes definidos. En la Fig. 5 se muestra un ejemplo de los resultados del modelo. Se predice que la oxidación de las pastillas de S será mucho más lenta que el S en los gránulos de MicroEssentials®. Esto se debe a la concentración mucho más alta del azufre en las pastillas de S, lo que resulta en una menor superficie expuesta al suelo.

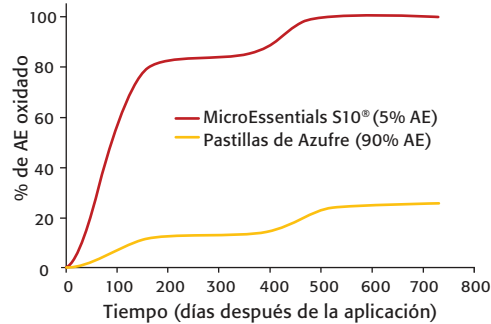


Fig 5: Efecto de la concentración de AE en gránulos sobre la oxidación de productos co-granulados en dos temporadas. La simulación del modelo integra datos climáticos para Kansas, un suelo con un pH de 7.5 y un contenido de materia orgánica del 4 por ciento (Fertilizer Technology Research Center, University of Adelaide).

En conclusión, el S elemental se debe oxidar en la forma disponible para la planta SO_4^{2-} para que se de su absorción, esto se ve afectado por los factores del suelo, el ambiente y los fertilizantes. La oxidación de S elemental es un proceso microbiano que es impulsado principalmente por la temperatura y el pH del suelo. Climas más cálidos y/o mayor pH del suelo aumentan la tasa de oxidación. Además, la fuente y las características del fertilizante tienen un efecto significativo sobre la tasa de oxidación. El tamaño de partícula individual de AE distribuido por todo el gránulo y la concentración total de AE del gránulo de fertilizante son los principales contribuyentes. La tasa de oxidación disminuye a medida que aumenta el tamaño de partícula y a medida que aumenta la concentración de AE dentro del gránulo de fertilizante.

Referencias

Degryse F, Ajiboye B, Baird R, da Silva RC, McLaughlin MJ (2016a) Oxidation of elemental sulfur in granular fertilizers depends on the soil-exposed surface area. *Soil Sci Soc Am J* 80: 294–305. doi: 10.2136/sssaj2015.06.0237.

Degryse F, da Silva RC, Baird R, McLaughlin MJ (2016b) Effect of co-granulation on oxidation of elemental sulfur: theoretical model and experimental validation. *Soil Sci Soc Am J* 80: 1244–1253. doi: 10.2136/sssaj2016.02.0054.

Friesen DK (1996) Influence of co-granulated nutrients and granule size on plant responses to elemental sulfur in compound fertilizers. *Nutr Cycl Agroecosys* 46: 81–90.

Germida JJ, Janzen HH (1993) Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. *Fert Res* 35: 101–114. doi: 10.1007/bf00750224.

Janzen HH, Bettany JR (1987) The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. *Soil Sci* 144: 81–89. doi: 10.1097/00010694-198708000-00001.

Lawrence JR, Germida JJ (1988) Relationship between microbial biomass and elemental sulfur oxidation in agricultural soils. *Soil Sci Soc Am J* 52: 672–677.

McLaughlin MJ, Degryse F, da Silva RC, Baird R (2015) Co-granulated elemental sulfur/sulfate fertilizers and their role in crop nutrition. *Better Crops with Plant Food* 99: 7–10.

Tourna M, Maclean P, Condron L, O'Callaghan M, Wakelin SA (2014) Links between sulphur oxidation and sulphur-oxidising bacteria abundance and diversity in soil microcosms based on soxB functional gene analysis. *FEMS Microbiol Ecol* 88: 538–549. doi: 10.1111/1574-6941.12323.

Watkinson JH, Blair GJ (1993) Modelling the oxidation of elemental sulfur in soils. *Fert Res* 35: 115–126.

Zhao C, Degryse F, Gupta V, McLaughlin MJ (2015) Elemental sulfur oxidation in Australian cropping soils. *Soil Sci Soc Am J* 79: 89–96. doi: 10.2136/sssaj2014.08.0314.

Acknowledgment: Fertilizer Technology Research Centre, University of Adelaide

©2017 The Mosaic Company. Todos los derechos reservados. Experiencia Confiable en Nutrición de Cultivos es una marca de servicio y AgriSight y MicroEssentials S10 son marcas registradas de The Mosaic Company.



The Mosaic Company
3033 Campus Drive
Suite E490
Plymouth, Minnesota 55441
800-918-8270
www.CropNutrition.com