

Fertilización azufrada en suelos agrícolas de la Región de Los Ríos

Autores: Erika Vistoso Gacitúa y Josué Martínez-Lagos / INIA Remehue

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS – INFORMATIVO N° 253 – AÑO 2020

Introducción

El crecimiento, desarrollo y producción de cultivos y/o praderas están regulados tanto por las condiciones edafoclimáticas como por la genéticas de los cultivares y por la disponibilidad de agua y nutrientes esenciales. El azufre (S) es el cuarto macronutriente esencial requerido para la nutrición óptima de cultivos y praderas; debido a que forma parte de aminoácidos esenciales, participando en la síntesis de proteínas, clorofila y en componentes estructurales y enzimáticos de las plantas.

Las plantas lo absorben en forma de sulfato ($S-SO_4^{-2}$), siendo muy móvil en el suelo sobre todo en suelos de textura arenosa donde se pierde por procesos de lixiviación.

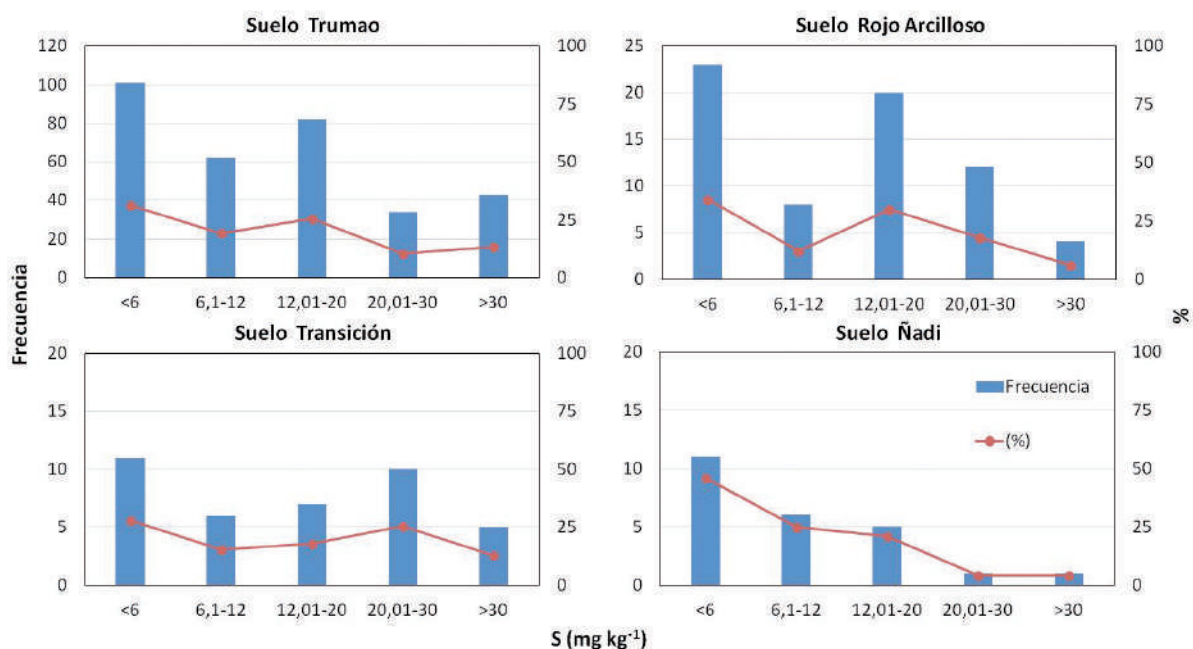
El azufre es esencial en los componentes estructurales y enzimáticos de las plantas, en aminoácidos esenciales, en la síntesis de proteínas y clorofila. Por ello, todas las plantas necesitan un suministro continuo de este macronutriente desde la emergencia hasta la madurez del cultivo. En plantas con

deficiencia de azufre, las hojas más viejas pueden estar más saludables, mientras que las hojas y los tejidos nuevos presentan un crecimiento atrofiado, clorosis generalizada caracterizada por el amarillamiento del tejido foliar y/o un color verde claro. Por lo tanto, una deficiencia en el suministro de azufre en cualquier etapa reduce el crecimiento y la producción de cultivos y/o praderas.

En la Región de Los Ríos, (y también en la Región de Los Lagos), el nivel de azufre disponible fluctúa entre las categorías muy baja a media (Figura 1). Sin embargo, en los suelos Rojos Arcillosos (Precordillera de la Costa) la probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilización azufrada es alta, seguida de los suelos Trumaos planos y de lomaje, y en suelos Ñadis y en suelos de textura arenosa en posición de terrazas (de lagos y ríos) tanto de la Precordillera Andina como de la Depresión Intermedia, especialmente en praderas de alta producción.

El bajo nivel de suministro de azufre en los suelos de la Región de Los Ríos se puede corregir con la aplicación de fertilizantes azufrados.

Figura 1. Frecuencias de muestras de suelo con diferentes niveles de concentración de azufre extractable en las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos (0-20 cm).



Fuente: Adaptado de Vistoso (2019). Informe "Diagnóstico de la fertilidad de los suelos volcánicos de las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos". 26p.

Rol del azufre en la fisiología de la plantas

El azufre participa en importantes procesos bioquímicos y fisiológicos de las plantas, actúa en la síntesis de proteínas (ya que es componente de los aminoácidos esenciales cisteína y metionina) y lípidos (formando parte de sulfolípidos), forma parte en diversas coenzimas (tiamina, biotina y coenzima A, compuesto clave en los procesos de síntesis y degradación de los ácidos grasos y en la respiración celular), participa en los procesos de fotosíntesis (forma parte de heteropolisacáridos), fijación biológica del nitrógeno (promueve la formación de nódulos en leguminosas) y en la asimilación del nitrógeno.

Las fitoquelatina (proteínas de bajo peso molecular con cisteína) forman complejos con metales pesados (cadmio, cobre, plomo, etc.), constituyéndose en uno de los principales mecanismos de defensa de las plantas frente a estos agentes tóxicos.

El sistema radical de las plantas absorbe azufre como sulfato (SO_4^{-2}) y, posteriormente, lo reducen al interior de los tejidos vegetales durante el proceso de síntesis de compuestos orgánicos.

Una deficiencia de azufre en cualquier etapa de crecimiento disminuye la producción de praderas y/o cultivos. Por el contrario, un adecuado suministro de azufre en el suelo (Cuadro 1) genera rápido crecimiento del cultivo y/o pradera y, madurez más temprana.

Síntomas de deficiencia de azufre en las plantas

El color amarillento entre las venas de las hojas es el principal síntoma de deficiencia de azufre en las plantas (Figura 2).

Figura 2. Deficiencia de azufre en sorgo.



Fuente: <https://es.slideshare.net/cjdrowski/sintomas-visuales-falta-de-nutrientes>

Al inicio, la deficiencia de S se manifiesta en una clorosis uniforme de color amarillo verdoso claro en cualquier lugar entre las hojas jóvenes y maduras, pero muy rara vez en las hojas basales de mayor edad. Posteriormente, la clorosis uniforme se extiende al resto del área foliar. Las plantas disminuyen su crecimiento, se hacen rígidas y quebradizas. A nivel celular, los orgánulos más afectados son los cloroplastos, que es la parte de los vegetales donde se produce el proceso de la fotosíntesis.

El azufre en el suelo

Existen dos pools de azufre disponible (Figura 3) en equilibrio en el suelo:

- S-sulfato es la forma inmediatamente disponible (días-semana), representando < 5 % del azufre disponible para la planta. Los niveles de S-sulfato pueden fluctuar a través del tiempo por la aplicación de fertilizantes azufrados, estiércol y orina animal y, por la pérdida de azufre por procesos de lixiviación a través del perfil de suelo y,
- S orgánico (ligado al contenido de materia orgánica) es la forma disponible a largo plazo (meses-años) que puede ser mineralizada por los microorganismos del suelo en S-sulfato para estar disponible para las plantas con el tiempo. Esta fracción, representa > 95 % del azufre del suelo y su contenido no es afectado por el proceso de lixiviación o aplicación de fertilizantes azufrados. El suministro de S-sulfato de un suelo está directamente relacionado con el contenido de S-orgánico.

El pH de la solución del suelo que determina si el azufre está o no disponible para las plantas es > 5,5. A medida que disminuye el pH de la solución del suelo, el azufre gradualmente deja de estar disponibles para la planta, generando crecimiento lento y disminuyendo la producción de cultivos y/o praderas; debido a deficiencias de azufre en el suelo.

El suministro de azufre del suelo se mide a través de la extracción con solución de dihidrógeno fosfato de calcio 0,01 M y determinación turbidimétrica, que son métodos físico-químicos empleados para determinar la disponibilidad del nutriente para las plantas mediante un diagnóstico de laboratorio, a través del análisis de suelo.

Figura 3. Disponibilidad de azufre en el suelo para las plantas.



Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 1, se observan los rangos de disponibilidad de azufre en el suelo y la probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilización azufrada.

Cuadro 1: Categorías de disponibilidad de azufre en suelo y respuesta a la fertilización.

| Azufre extractable (mg kg ⁻¹) | Disponibilidad de azufre | Respuesta a la fertilización |
|-------------------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| < 6,0 | Muy bajo | Altamente probable |
| 6,1 - 12,0 | Bajo | Muy probable |
| 12,01 - 20,0 | Medio | Poco probable |
| 20,01 - 30,0 | Alto | Muy poco probable |
| > 30,0 | Muy alto | Nula |

Fuente: Adaptado de Undurraga, P. (2000). Recomendaciones de fertilización. pp: 25-35. Serie Actas N° 2.

Fertilización azufrada en cultivos y/o praderas

La explotación agrícola de los suelos ha producido, con el tiempo, un desbalance en las entradas y salidas de nutrientes esenciales, generando un déficit de suministro del suelo que es necesario suplir a través de la fertilización inorgánica u orgánica.

Para construir la fertilidad de un suelo y reponer la extracción de nutrientes de los cultivos y/o praderas (cosechas y forrajes), y sostener su productividad en el tiempo y, las pérdidas inevitables de nutrientes que se producen, en forma natural, en los suelos, se requiere de la aplicación de fertilizantes azufrados (inorgánicos u orgánicos). La fertilización es uno de los factores clave para mover la curva anual de producción de cultivos y/o praderas desde una baja a una alta fertilidad.

Para evaluar el suministro de azufre del suelo y decidir si es necesaria una **fertilización de corrección** (incrementar el nivel de disponibilidad de azufre en el suelo hasta un nivel determinado) o **fertilización de mantención** (mantener en el tiempo, el nivel de azufre disponible en el suelo, adecuado para sostener la producción del cultivo y/o pradera) es necesario diagnosticar el nivel de fertilidad a través del **análisis químico de suelo**, con la finalidad de establecer estrategias de fertilización azufrada que aseguren un adecuado nivel de azufre para el crecimiento óptimo de cultivos y/o praderas.

Además, del aporte de azufre disponible del suelo (suministro de azufre), se deben considerar la capacidad de adsorción de azufre del suelo (ya que afecta la eficiencia de fertilización), la absorción de azufre del cultivo y/o pradera (demanda de azufre), el adecuado balance con las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio que se aplicarán, la utilización del cultivo y/o pradera, el historial de manejo de la fertilización del terreno y las características edafoclimáticas (características de suelo y clima) de cada localidad en particular.

Producto de una serie de ensayos de campo de respuesta a la fertilización azufrada en diferentes tipos de suelo (Andisoles:

suelos Trumaos, suelos Ñadis y Ultisoles: suelos Rojos Arcillosos) y condiciones edafoclimáticas de las Regiones de Los Ríos y de Lagos, se han generado las siguientes recomendaciones de fertilización azufrada (Cuadro 2), las cuales pueden ajustarse de acuerdo al nivel tecnológico de cada productor en particular, el cual dependerá del nivel de tecnología de la aplicación de la fertilización y de la producción esperada del cultivo y/o pradera:

Consideraciones en la elección del fertilizante azufrado

Entre los distintos tipos de fertilizantes azufrados, tenemos el azufre elemental, conocido como "ventilado" y fertilizantes solubles como sulfato de magnesio (MgSO₄), sulfato de potasio (K₂SO₄), y sulfato de calcio (CaSO₄) o Yeso agrícola. El azufre elemental es insoluble en el agua, lo que requiere que un grupo de bacterias lo oxiden para que quede disponible a largo plazo, mientras que los sulfatos permiten una disponibilidad

Cuadro 2: Dosis de fertilización azufrada, según nivel de disponibilidad de azufre, tipo de suelo, cultivo y pradera.

| Cultivo o pradera (Producción) | Nivel de disponibilidad de azufre | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|----------|
| | Muy bajo | Bajo | Medio | Alto | Muy alto |
| Dosis de fertilización azufrada (kg ha ⁻¹) | | | | | |
| Alfalfa (18 t MS ha⁻¹) | | | | | |
| Trumao | 75-80 | 65-70 | 55-60 | 35-40 | 20-25 |
| Ñadi | 80-90 | 70-80 | 60-70 | 40-45 | 25-30 |
| Rojo Arcilloso | 85-95 | 75-85 | 65-70 | 45-50 | 25-30 |
| Avena (60 qqm ha⁻¹) | | | | | |
| Trumao, Ñadi | 50-60 | 45-55 | 35-45 | 25-30 | 0-15 |
| Rojo Arcilloso | 60-65 | 55-60 | 45-50 | 30-35 | 0-20 |
| Avena-Ballica rotación-Trébol rosado (16 t MS ha⁻¹) | | | | | |
| Trumao, Ñadi | 60-65 | 55-60 | 45-50 | 30-35 | 0-20 |
| Rojo Arcilloso | 65-75 | 60-65 | 50-55 | 35-40 | 0-25 |
| Ballica bianual (14 t MS ha⁻¹) | | | | | |
| Trumao, Ñadi | 55-65 | 50-60 | 40-50 | 30-35 | 0-20 |
| Rojo Arcilloso | 60-70 | 55-60 | 45-55 | 30-35 | 0-20 |
| Ballica-Trébol blanco (12 t MS ha⁻¹) | | | | | |
| Trumao, Ñadi | 55-65 | 50-60 | 40-50 | 30-35 | 0-20 |
| Rojo Arcilloso | 65-70 | 55-60 | 50-55 | 30-35 | 0-20 |
| Maíz ensilaje (18 t MS ha⁻¹) | | | | | |
| Trumao, Ñadi | 70-80 | 60-70 | 50-60 | 35-40 | 20-25 |
| Rojo Arcilloso | 80-90 | 70-80 | 60-70 | 40-45 | 0-30 |
| Trigo/Triticale (80/90 qqm ha⁻¹) | | | | | |
| Trumao, Ñadi | 40-50 | 35-45 | 30-40 | 20-25 | 0-15 |
| Rojo Arcilloso | 50-60 | 45-55 | 40-45 | 25-30 | 0-20 |
| Pradera mixta (14 t MS ha⁻¹) | | | | | |
| Trumao, Ñadi | 40-45 | 35-40 | 30-35 | 20-25 | 0-15 |
| Rojo Arcilloso | 50-60 | 45-50 | 40-45 | 25-30 | 0-20 |

Fuente: Adaptado de Undurraga, P. (2000). Recomendaciones de fertilización. pp: 25-35. Serie Actas N° 2.

Cuadro 3: Fertilizantes azufrados disponibles a nivel comercial.

| Fertilizante | S (%) | Solubilidad | % | | |
|-----------------------------------------------|-------|--------------------|-----|-----|------------------|
| | | | CaO | MgO | K ₂ O |
| Azufre elemental | 99 | Baja, acidificante | - | - | - |
| Sulfato de magnesio monohidratado o Kieserita | 18 | Alta | - | 16 | - |
| Sulfato de magnesio | 22 | Alta | - | 27 | - |
| Sulfato de potasio | 18 | Alta | - | - | 50 |
| Sulfato de calcio o Yeso agrícola | 18 | Baja | 33 | - | - |

Fuente: Elaboración propia.

más rápida para las plantas. Es decir, existen dos tipos de fertilizantes azufrados: i) El S-sulfato que es muy móvil en el suelo y está inmediatamente disponible para ser absorbido por las raíces de los cultivos y/o praderas, siempre que existan adecuadas condiciones de temperatura y humedad del suelo y, ii) S-elemental es acidificante y poco móvil en el suelo porque debe ser primeramente oxidado a la forma de S-sulfato para quedar disponible para los cultivos y/o praderas. La velocidad de este proceso depende del tamaño de partícula (lo más fino posible) y de adecuadas condiciones de temperatura y humedad. Por ello, su aplicación al suelo no implica disponibilidad inmediata y, además, no existen pérdidas por procesos de lixiviación a través del perfil del suelo.

Las principales fuentes de azufre disponibles en el comercio se presentan en el Cuadro 3, los cuales van desde muy solubles (ej. Sulfato de magnesio monohidratado o Kieserita, sulfato de magnesio, sulfato de potasio) a muy poco solubles (ej. Sulfato de calcio o Yeso agrícola). Una vez disuelto el fertilizante azufrado en la solución del suelo (bajo condiciones adecuadas de temperatura y humedad de suelo), el sulfato interacciona en diferentes procesos, con los coloides del suelo (arcillas, materia orgánica) y con la planta (después de ser absorbido por el sistema radicular).

La absorción de azufre y fósforo por las plantas, se encuentra muy relacionada entre sí, de tal forma que la deficiencia de uno de estos macronutrientes esenciales limita el suministro del suelo y la absorción por la planta del otro. Por ello, se recomienda la aplicación de fertilizantes azufrados para mantener un nivel adecuado de azufre en el suelo (> 12 mg kg⁻¹, Cuadro 1), de tal forma de asegurar que la aplicación de demás fertilizantes (P, K, N, Ca, Mg, etc.) no sea limitada por la deficiencia de azufre en el suelo.

Por otra parte, es importante disminuir las pérdidas de azufre del suelo superficial a través del proceso de lixiviación de sulfatos o escurrimiento superficial, controlando los factores que influyen negativamente en la acumulación del este nutriente en el suelo, lo que depende del tipo de fertilizante empleado, época de aplicación, y si existe cubierta vegetal o pendientes pronunciadas. Por ejemplo, en suelos de la zona intermedia de Aysén, Hepp y Baratinni (2019, Informativo N° 38, INIA Tamel Aike) en un ensayo con lisímetros estimaron pérdidas cercanas a de 6,5 kg de S-sulfato ha⁻¹ por el proceso de lixiviación entre julio y agosto que son los meses de mayor pluviometría. Estas pérdidas son mayores cuando se aplicaron fertilizantes en forma de S-sulfato por lo que se recomienda su aplicación en primavera.



Región de Los Ríos
GOBIERNO REGIONAL

Agradecimientos:

Programa de "Transferencia tecnológica para el eslabón productivo de la cadena ovina, láctea y hortofrutícola", perteneciente a la Política Regional de Desarrollo Silvoagropecuario del Gobierno Regional de Los Ríos y GTT Producción Ganadera Sustentable.

Permitida la reproducción total o parcial de esta publicación citando la fuente y el autor.

La mención o publicidad de productos no implica recomendación INIA.

Comité Editor: Juan Hirzel Campos, Ing. Agrónomo, M.Sc., Dr. / INIA Quilamapu; Yonathan Redel Hemberger, Ing. Agrónomo, Dr. Cs. / INIA Intihuasi; y Luis Opazo, Periodista, M.C.E. / INIA Remehue.

INIA Remehue, Ruta 5, km 8, Osorno, Chile. Fono +5664 2334819

www.inia.cl

