

**AZUFRE**

**FERTILIDAD - 2011**

**Aurora Cerveñansky**

# INTRODUCCIÓN

- ✓ Nutriente Secundario

# INTRODUCCIÓN

- ✓ Nutriente Secundario
- ✓ Esencial (plantas y animales)

# INTRODUCCIÓN

- ✓ **Nutriente Secundario**
- ✓ **Esencial** (plantas y animales)
- ✓ **Participa en:**
  - crecimiento de las plantas (N-P-K-S)**
  - composición de la proteína vegetal (C-H-O-N-P-S)**

# INTRODUCCIÓN

- ✓ **Nutriente Secundario**
- ✓ **Esencial** (plantas y animales)
- ✓ **Participa en:**
  - **crecimiento de las plantas (N-P-K)**
  - **composición de la proteína vegetal (C-H-O-N-P)**
- **Se retoma su atención por:**
  - ser estimulador de la fijación biológica del N
  - su rol en la síntesis proteica
  - utilización de fertilizantes concentrados

# Contenido de S en diferentes especies

- Contenido en planta: 0.1 - 0.5 % en general  
(Flia. Brassica > 1 %)

# Contenido de S en diferentes especies

- Contenido en planta: 0.1 - 0.5 % en general (Flia. Brassica > 1 %)
- Los requerimientos anuales – entre 10 a +50 kg S há<sup>-1</sup> – dependerá del tipo de cultivo y el nivel de materia seca producida

# Contenido de S en diferentes especies

- Contenido en planta: 0.1 - 0.5 % en general (Flia. Brassica > 1 %)
- Los requerimientos anuales – entre 10 a +50 kg S há<sup>-1</sup> – dependerá del tipo de cultivo y el nivel de materia seca producida

	kg S há <sup>-1</sup>
<b>Forrajeras</b>	<b>15-35</b>
<b>Cereales</b>	<b>15</b>
<b>Crucíferas y</b>	<b>22-45</b>
<b>Liliáceas</b>	



# Cantidades absorbidas en relación a otros nutrientes

Cultivo	Rend. kg há <sup>-1</sup>	kg há <sup>-1</sup>								
		N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Zn
Trigo	2.800	76	14	42	18	8	11	0.45	0.04	0.30
Papa	20.000	80	16	120	31	–	–	0.04	0.04	0.10
Alfalfa	10.000	155	16	110	120	15	16	0.54	0.11	0.30

# Relación Corg./Ntotal/Porg./Stotal

<u>Promedio en suelo</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>P</u>	<u>S</u>
agrícolas	130	10	1.3	1.3
bajo pasturas naturales	200	10	1.0	1.0
orgánicos y turba	160	10	1.2	1.2

# FORMAS de S en los SUELOS

## a) Fuentes originales en los suelos

- Los sulfuros (Fe, Zn, Cu) y sulfatos en el Material Madre que **por oxidación** genera:  
**SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>** (ión sulfato, muy móvil)
- Que puede ser:
  - Absorbido por los vegetales
  - Adsorbido en coloides del suelo
  - Precipitado como sales solubles
  - Lixiviado como sales solubles
  - Reducción a S<sup>-2</sup> (sulfuro)

# FORMAS de S en los SUELOS

- b) **Otras fuentes**: gaseosa (a través atmósfera) originada de la actividad industrial (quemado de carbón) o volcánica, que retorna por la lluvia:  $\text{SO}_2$  es absorbido en las hojas por difusión gaseosa.

Las emisiones de S son parcialmente responsables de las lluvias ácidas (ácido fuerte:  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

Lluvia normal: pH = 5.7 a 7.0

Lluvia ácida: pH = 4.0 - 5.0

# Presencia en los suelos

- 1) S orgánico
- 2)  $\text{SO}_4^{-2}$  en solución
- 3)  $\text{SO}_4^{-2}$  adsorbido
- 4)  $\text{SO}_4^{-2}$  coprecipitado con  $\text{CaCO}_3$  insoluble
- 5) S elemental y sulfuros

(\*) Fracción rápidamente asimilable (2+3)

# **Contenido de S en los suelos**

- Región húmeda ----- Región seca**  
**0.02% 0.2%**
- En suelos de región húmeda:  
predominio de formas orgánicas**
- En suelos de región árida: precipitado  
como sales de Ca, Mg, K y Na**

# Formas en los suelos

❖ ***ORGÁNICA***

❖ ***INORGÁNICA***

## ❖ **S *ORGÁNICO***

- **Es importante entender su naturaleza y proporción, pues a partir de los compuestos que la integran - vinculados a la materia orgánica – se liberaría S disponible para los vegetales a partir del suelo**
- **Constituye más del 90 % del contenido total del suelo (no-calcáreo).**
- **En general la proporción (peso seco) N/S de la MO es del orden de 10/1 a 10/1,5**
- **Dicha relación es más constante que la de C/S, independientemente de que los suelos analizados se hayan desarrollado en zona húmeda, sub-húmeda o semi-árida**



# Formas orgánicas en los suelos

- Pese a que muchos de los compuestos orgánicos de S no están identificados, ellos se pueden clasificar acorde a la naturaleza de los reactivos utilizados en su separación o en relación a los grupos de compuestos azufrados atacados por los reactivos.
  
- Clasificación en tres grupos:
  - 1 - S orgánico no unido directamente al C (C-O-S)  
50% (30-60%) del S orgánico total
  
  - 2 - S orgánico directamente unido al C (C-S)  
10-30% S orgánico total  
aminoácidos conteniendo S (metionina, cisteina)
  
  - 3 - S orgánico inerte, muy estable  
30-40% S orgánico total

## Mineralización del S orgánico

- Su velocidad está afectada por los mismos factores ambientales que se vieron al considerar la descomposición de la MO y la producción de  $\text{NO}_3^-$
- En muchos de los suelos, este proceso es la fuente principal de  $\text{SO}_4^{2-}$  a partir de la MO del suelo, para mantener su concentración en solución

## Mineralización del S orgánico

- Su velocidad está afectada por los mismos factores ambientales que se vieron al considerar la descomposición de la MO y la producción de  $\text{NO}_3^-$
- En muchos de los suelos, es la fuente principal de  $\text{SO}_4^{2-}$  para mantener su concentración en solución, a partir de la MO
- Tenemos entonces dos (2) procesos:
  - mineralización biológica (a.a. de la MO)
  - mineralización bioquímica (enlace tipo éster: C-O-S / enzima sulfatasa)

# **Mineralización del S orgánico**

## **Factores que la afectan**

- **Contenido de S del material**
- **Efecto de la composición de la MO**
- **Efecto del secado del suelo**
- **pH y temperatura del suelo**
- **Efecto de la rizósfera**
- **Manejo del suelo**

# **Mineralización del S orgánico**

## **Factores que la afectan (cont.)**

- **Contenido de S del material**
  - **Afecta el balance mineralización-inmovilización**
  - **RELACION:  $C/S > 200$  = inmovilización**  
 **$C/S < 200$  = mineralización**
  - **Ejemplo: efecto del agregado de restos pobres en S , como paja de cereales, provoca la inmovilización del S disponible. Con N se incrementa el efecto, por ampliar la incidencia en la relación N/S**

# Mineralización del S orgánico

## Factores que la afectan (cont.)

- Efecto de la composición de la MO
  - dependerá de su estabilidad
  - habría una mayor resistencia del S a la mineralización o una mayor pérdida de C y N
  - Mecanismo bioquímico (proceso enzimático):



# Mineralización del S orgánico

## Factores que la afectan (cont.)

- Efecto del secado del suelo

El secado del suelo ha demostrado tener un efecto muy marcado en la mineralización del azufre

	<u>Días de incubación</u>				
	<u>0</u>	<u>20</u>	<u>40</u>	<u>60</u>	<u>80</u>
<u>Suelo secado</u>	10	12	16	18	21
<u>Suelo NO secado</u>	7	10	13	15	17

# **Mineralización del S orgánico**

## **Factores que la afectan (cont.)**

- **Acidez del suelo**
  - No es claro su efecto
- **Temperatura del suelo**
  - Su incremento afecta el desarrollo de la microflora.



# **Mineralización del S orgánico**

## **Factores que la afectan (cont.)**

- **Efecto de la rizósfera**
  - La presencia de raíces favorece la mineralización del S a través de secreciones de azúcares y aminoácidos.
- **Factores de manejo**
  - Características del laboreo del suelo.
- ✓ Se ha estimado una mineralización anual de 1 - 3 % del S orgánico en el suelo

## ❖ **S INORGÁNICO**

- S org. – mineralización – S inorg.
- Ión Sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ):
  - solución del suelo
  - adsorbido a componentes del suelo
  - precipitado como sales

## **S *INORG.* - sulfatos en solución**

- $[\text{SO}_4^{-2}]$  es del orden de 3 a 5 ppm
- Mecanismo de llegada a la raíz:  
difusión o flujo de masa
- Contenido de  $\text{SO}_4^{-2}$ : 1 - 10 % del total  
(aprox. 20 ppm en promedio)

## **S INORG. - sulfatos en solución (cont.)**

- La cantidad de  $\text{SO}_4^{-2}$  presente en la solución del suelo, depende de las condiciones bajo las cuales se desarrolló el suelo.

En suelos de zonas templadas: la presencia del sulfato en solución es variable dependiendo de la mineralización de la materia orgánica y de las condiciones climáticas imperantes en los diferentes períodos del año. Se debe considerar el agregado externo a través de los fertilizantes.

## **S INORG. - sulfatos en solución** **(cont.)**

- El sulfato - al igual que los nitratos - son móviles con el agua del suelo y bajo una serie de condiciones son llevados a zonas profundas del perfil.

Factores que inciden: concentración de sulfato; textura; diferenciación textural; nivel de bases, Fe y Al; balance lluvias – ET; presencia de cultivo.

- En pasturas: estacionalidad de concentración en el suelo vs. requerimiento vegetal

## **S *INORG.* - sulfatos adsorbidos**

- A diferencia de los nitratos, los suelos tienen capacidad de retener sulfatos con cierta energía.
- Particularmente en suelos con altos contenidos de óxidos de Fe e hidróxidos de Al.
- Es un proceso reversible, que puede afectar al 10 % del S total en el horizonte superficial, pero la tercera parte en el sub-superficial.

# **S INORG. - sulfatos adsorbidos**

## ➤ Factores que determinan la retención

### 1. Contenido y tipo de arcilla

En general la retención aumenta con los niveles de arcilla del suelo.

La retención es mayor con altos niveles de caolinita (< illita y < montmorillonita),

**Retención de  $\text{SO}_4^{-2}$  en profundidad:**

- es mayor, por provenir el  $\text{SO}_4^{-2}$  del horizonte superficial y por ser mayor el contenido de arcilla.
- tiene posibilidades de ser utilizado por las plantas (gram. y leg.), no en etapas jóvenes
- importante mecanismo para evitar pérdidas por lavado.

# **S INORG. - sulfatos adsorbidos**

## ➤ Factores que determinan la retención (cont.)

### 2. Contenido de óxidos de Fe e hidróxidos de Al

En suelos con altos contenidos de óxidos de Fe e hidróxido de Al, ésta fracción de S contribuye en forma importante a cubrir los requerimientos para las plantas.

#### Mecanismo





# **S INORG. - sulfatos adsorbidos**

## ➤ Factores que determinan la retención (cont.)

### 3. pH del suelo

Al aumentar pH - en el rango de los suelos ácidos  
- disminuye la retención del  $\text{SO}_4^{2-}$

pH del suelo	ppm S- $\text{SO}_4^{2-}$ agregado	ppm S- $\text{SO}_4^{2-}$ adsorbido
5	100	22
6	100	4

# **S INORG. - sulfatos adsorbidos**

➤ Factores que determinan la retención (cont.)

4. Concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  en solución

La adsorción máxima se da bajo condiciones ácidas

# **S INORG. - sulfatos adsorbidos**

## ➤ Factores que determinan la retención (cont.)

### 4. Concentración de $\text{SO}_4^{2-}$ en solución

La adsorción máxima se da bajo condiciones ácidas

### 5. Presencia de otros iones

- Retención: fosfato > sulfatos > nitratos

- Retención según carga:

trivalentes > bivalentes > monovalentes

# **S INORG. - sulfatos adsorbidos**

## ➤ Factores que determinan la retención (cont.)

### 4. Concentración de $\text{SO}_4^{2-}$ en solución

La adsorción máxima se da bajo condiciones ácidas

### 5. Presencia de otros iones

- Retención: fosfato > sulfatos > nitratos

- Retención según carga: trivalentes > bivalentes > monovalentes

### 6. Efecto de la materia orgánica

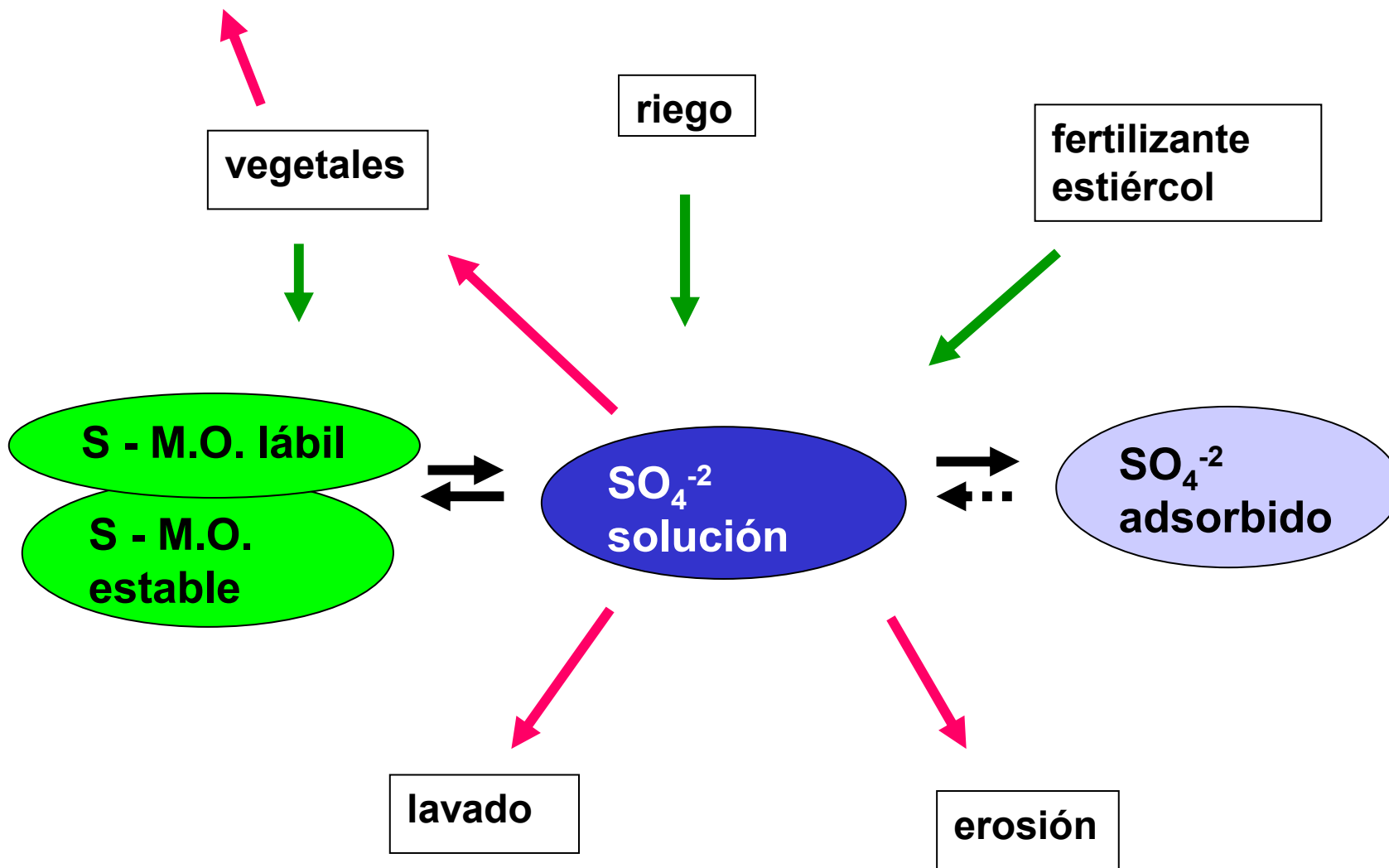
Debido a propiedades anfóteras de la MO, por las cuales desarrolla cargas positivas.

# **S INORGÁNICO**

## ***sulfuros y S elemental***

- No aparecen en suelos agrícolas bien drenados.
- En condiciones de anaerobiosis se da la reducción bacteriana del sulfato a sulfuro ( $S^{2-}$ )
  - Influyen: pH y potencial redox

Importancia en desecación de bañados:  
(oxidación del azufre:  $H_2S \xrightarrow{O_2} H_2SO_4$ )



# ***RESPUESTA VEGETAL al SUMINISTRO de AZUFRE***

➤ Forma absorbida por las plantas:

- $\text{SO}_4^{2-}$  de la solución del suelo
- $\text{SO}_2$  (g) por difusión a través de los estomas de las hojas

Ambas formas son metabolizables por las plantas.

# ***RESPUESTA VEGETAL al SUMINISTRO de AZUFRE***

- **Compuestos formados en el vegetal**

**Básicamente , el S forma parte de la proteína vegetal y se ha encontrado que la proporción N/S en la proteína vegetal es del orden de 12 - 15/1 para una variedad relativamente grande de cultivos (trigo, maíz, leguminosas)**



# ***RESPUESTA VEGETAL al SUMINISTRO de AZUFRE***

- **Compuestos formados en el vegetal**

**Básicamente , el S forma parte de la proteína vegetal y se ha encontrado que la proporción N/S en la proteína vegetal es del orden de 12 - 15/1 para una variedad relativamente grande de cultivos (trigo, maíz, leguminosas)**

**La respuesta al agregado de S depende del suministro adecuado de N. Los síntomas son difícil de diferenciar, por su similitud con los de N (hojas jóvenes cloróticas, disminución de fijación biológica de N) .**

# ***RESPUESTA VEGETAL al SUMINISTRO de AZUFRE***

- **Compuestos formados en el vegetal (cont.)**

**Por lo tanto, cuando el S va alcanzando grados de deficiencia, puede que - aún sin traducirse en una disminución de los rendimientos - se dé la formación deficiente de proteína y la acumulación de N no proteico (aminas, amidas, nitratos, etc.)**

**La gran parte del S en planta esta bajo forma orgánica (proteína); el sulfato solo se acumula cuando su contenido es mayor al adecuado.**

# ***RESPUESTA VEGETAL al SUMINISTRO de AZUFRE***

- Compuestos formados en el vegetal (cont.)
  - ✓ Aminoácidos: cistina, cisteína, metionina
  - ✓ Vitaminas: tiamina, biotina, coenzima A
  - ✓ Fotosíntesis: ferredoxina
- Exigencias vegetales
  - Alta: Crucíferas y Liliáceas
  - Media: Leguminosas
  - Baja : Gramíneas

# **RESPUESTA VEGETAL al SUMINISTRO de AZUFRE**

- S absorbido por un cultivo de maíz ( $\text{kg ha}^{-1}$ )  
a dos niveles de N agregado

Nivel de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	kg S agreg. $\text{ha}^{-1}$			
	0	20	40	60
50	6.1	6.3	5.8	5.3
100	7.3	7.1	8.8	9.9

Existe interacción positiva entre la fertilización con N y la respuesta al agregado de S

# ***RESPUESTA VEGETAL al SUMINISTRO de AZUFRE***

## ➤ Niveles críticos

**Suelos con menos de 10 ppm S-SO<sub>4</sub> (forma asimilable: en solución + algo de lo adsorbido) pueden presentar problemas de suministro de S para sostener una producción de hortalizas exigentes (crucíferas y liliáceas)**

# ***RESPUESTA VEGETAL al SUMINISTRO de AZUFRE***

## ➤ **Niveles críticos**

**Suelos con menos de 10 ppm S-SO<sub>4</sub> (forma asimilable: en solución + algo de lo adsorbido) pueden presentar problemas de suministro de S para sostener una producción de hortalizas exigentes (crucíferas y liliáceas)**

## ➤ **Utilización de S por cultivos y pasturas**

- Gramíneas*: hacen un mejor uso del S que las leguminosas, por una mayor tasa de absorción.**
- *Leguminosas*: requieren S para la fijación biológica (rizobium)**

# Problemática del S en el país

- Existen escasa información experimental en relación con el contenido de S en suelo del país y niveles de suministro a cultivos.
- Existen limitantes desde el punto de vista analítico (Tesis Prietti)

# **Posibles situaciones que promueven su deficiencia en el país**

**a) Especies más sensibles y/o exigentes de azufre.**



# **Posibles situaciones que promueven su deficiencia en el país**

- a) Especies más sensibles y/o exigentes de azufre.**
- b) No incorporación de azufre como fertilizante.**

# **Posibles situaciones que promueven su deficiencia en el país**

- a) Especies más sensibles y/o exigentes de azufre.**
- b) No incorporación de azufre como fertilizante.**
- c) Suelos pobres en su fertilidad natural.**

# **Posibles situaciones que promueven su deficiencia en el país**

- a) Especies más sensibles y/o exigentes de azufre.**
- b) No incorporación de azufre como fertilizante.**
- c) Suelos pobres en su fertilidad natural.**
- d) Altos niveles de rendimiento en cultivos.**

# **Posibles situaciones que promueven su deficiencia en el país**

- a) Especies más sensibles y/o exigentes de azufre.**
- b) No incorporación de azufre como fertilizante.**
- c) Suelos pobres en su fertilidad natural.**
- d) Altos niveles de rendimiento en cultivos.**
- e) Etapa de la rotación con acumulación de materia orgánica.**

# **Posibles situaciones que promueven su deficiencia en el país**

- a) Especies más sensibles y/o exigentes de azufre.**
- b) No incorporación de azufre como fertilizante.**
- c) Suelos pobres en su fertilidad natural.**
- d) Altos niveles de rendimiento en cultivos.**
- e) Etapa de la rotación con acumulación de materia orgánica.**
- f) En pasturas, en el inicio del crecimiento de primavera.**

## **Posibles situaciones que promueven su deficiencia en el país**

- a) Especies más sensibles y/o exigentes de azufre.**
- b) No incorporación de azufre como fertilizante.**
- c) Suelos pobres en su fertilidad natural.**
- d) Altos niveles de rendimiento en cultivos.**
- e) Etapa de la rotación con acumulación de materia orgánica.**
- f) En pasturas, en el inicio del crecimiento de primavera.**
- g) Extracciones de azufre fuera del sistema suelo.**

# FERTILIZANTES

Fertilizantes	% N	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% K <sub>2</sub> O	% S
Superfosfato común	-	23	-	14
Sulfato de potasio	-	-	50	17
Sulfato de amonio	21	-	-	25

# INFORMACIÓN NACIONAL

- **A partir de 1989 – la Cátedra de Fertilidad de la Facultad de Agronomía, en su Proyecto de Fertilización Forafatada en pasturas – comenzó a ocuparse secundariamente del tema AZUFRE, dado que no era el objetivo principal.**
- **Dicho proyecto comprendió una red de 10 sitios experimentales con el fin de evaluar globalmente la respuesta a diferentes nutrientes en pasturas.**
- **La evaluación en relación a respuesta de azufre se efectuó comparando los rendimientos obtenidos en parcelas con dos fuentes de fósforo: supercomún – que contiene azufre en su fórmula – con el supertriple – que no lo contiene.**



**Coberturas con Lotus corniculatus (Red Cátedra Fertilidad)**

**Rendimiento de la cobertura  
(promedios de 3 y 4 años, kg MS ha-1)**

SITIO	SIN Fertilizar	Supertriple	Super común
Cerro Colorado	2.2	6.2	6.2
Tupambaé	3.6	6.9	8.2
Bdo. Medina	2.6	4.9	5.3
Laureles	3.3	4.1	5.2
Chapicuy	3.3	4.1	5.2

**- Contenido de azufre en planta (distintos suelos y fuentes de P)**

<b>Suelo</b>	<b>TIPO de FERTILIZANTE APLICADO</b>		
	<b>PROMEDIO</b>	<b>Supercomún</b>	<b>Fuentes de P SIN azufre</b>
<b>Arcilloso – Basalto</b>	<b>0.221</b>	<b>0.222</b>	<b>0.222</b>
<b>Medio – Yaguarí</b>	<b>0.234</b>	<b>0.196</b>	<b>0.215</b>
<b>Medio – Cristalino</b>	<b>0.190</b>	<b>0.197</b>	<b>0.193</b>
<b>Gravilloso – Cristalino</b>	<b>0.160</b>	<b>0.170</b>	<b>0.165</b>
<b>Arenoso – Cretásico</b>	<b>0.225</b>	<b>0.145</b>	<b>0.185</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.206</b>	<b>0.186</b>	<b>0.196</b>

- **Relevamiento en cultivos de alfalfa (Barbazán, Ferrando y Zamalvide)**

Nutriente	meq/100gr			%	
	K	Ca	Mg	P	S
Promedio	1.76	1.38	0.249	0.216	0.196
NC tentativo	1.5	variable	0.2	0.2	0.20

Se realizó en la Cuenca Lechera Sur (promedio de 12 sitios); la zona tiene historia de altas dosis de fertilización fosfatada sin azufre.

Utilizando niveles críticos de la bibliografía (0.2 %) se constataron varios cultivos con nivel insuficiente y ninguno tenía alto contenido.

Aparece como más limitante que el P