

6. Efecto del agregado de azufre en la productividad de pasturas de trébol blanco

Cuadro, R.¹; Quincke, A.²; Giorello, D.¹; Bermudez, R.³

INTRODUCCIÓN

En Uruguay, el trébol blanco (*Trifolium repens*) es uno de los principales componentes en la mayoría de las pasturas mejoradas (Morón, 2008). Uno de los principales elementos de manejo de las pasturas mejoradas para aumentar su productividad y persistencia es la aplicación correcta de un programa de fertilización acorde a los requerimientos de la misma, y a la capacidad de suministro del suelo. En Uruguay, la atención en cuanto a la regulación de la fertilidad de pasturas está dirigida principalmente a los macronutrientes: nitrógeno (N) y fósforo (P); Morón, (1996). En los últimos años, en situaciones particulares de siembra de pasturas, el potasio (K) ha comenzado a ser considerado en las políticas de corrección de la fertilidad de suelos.

Surge la interrogante, si en situaciones de mayor intensificación productiva, que demandan una mayor producción de materia seca, y por lo tanto una mayor extracción de nutrientes de las reservas del suelo, otros nutrientes no podrían estar limitando los rendimientos de las pasturas (Zamalvide, 1995). Los requerimientos de S, aún en los suelos más pobres (bajo contenido de materia orgánica), son cubiertos en la medida de que la fertilización fosfatada de las pasturas se realice con superfosfato común, el cual contiene 21-23% de P_2O_5 y 12% de S. Sanders *et al.* (1993) mencionan que en Estados Unidos el uso cada vez más extendido de supertriple (0-46-0) en la fertilización de pasturas, que no presenta sulfato de calcio, así como el uso de mezclas físicas de supertriple y urea, y de fosfatos de amonio que no aportan S, podrían conducir a situaciones puntuales donde el S sea un nutriente limitante para el crecimiento vegetal.

Azufre en los suelos

La mayoría del S en los suelos (hasta 95%) se encuentra en forma orgánica (Nguyen y Goh, 1994; Morón, 1996; Scherer 2001), por lo que su cantidad está fuertemente ligada a las cantidades de carbono y N (Stevenson, 1986). En fracciones inorgánicas el S se encuentra como sulfato (SO_4), pero en algunos suelos calcáreos del país la presencia en forma de yeso ($CaSO_4$) puede llegar a ser importante (Morón, 1996). El SO_4^{2-} es móvil en el suelo y puede ser lixiviado fuera de la zona de raíces en algunos suelos en condiciones de lluvia intensa. Pero cuando un suelo comienza a secarse, el SO_4^{2-} puede moverse hacia la superficie del mismo a medida que se evapora el agua. Debido a esta movilidad del S, un análisis de suelo puede no dar información confiable en cuanto a la capacidad de suministro de S del suelo. Las pérdidas por lixiviación como SO_4^{2-} son más altas en suelos más livianos, comparados con suelos con mayor contenido de arcilla, debido a una menor capacidad de retención del SO_4^{2-} y a una mayor velocidad de penetración del agua en el perfil del suelo (Scherer, 2001). La lixiviación del S puede ser tan importante durante los meses de invierno, que incluso podrían estar limitando el crecimiento de las plantas en la primavera siguiente, aún cuando se hayan realizado fertilizaciones con azufre en el otoño anterior (Nguyen *et al.*, 1989).

La mineralización de S orgánico durante la estación de crecimiento es también una fuente potencial de S para las plantas. Finalmente, las deposiciones atmosféricas pueden llegar a ser una vía de entrada importante de S al suelo. Según Stevenson

¹ Ing. Agr., Programa Nacional de Investigación en Pasturas y Forrajes. INIA Tacuarembó.

² Ing. Agr. PhD., Programa Nacional de Investigación en Pasturas y Forrajes. INIA La Estanzuela.

³ Ing. Agr. MPhil., hasta 2015 Programa Nacional de Investigación en Pasturas y Forrajes. INIA Treinta y Tres.

(1986) citado por Morón (1996), en regiones con altos niveles de industrialización, estas entradas de S pueden llegar a los 200 kg S/ha/año, mientras que en áreas rurales fuera de la influencia industrial los valores son de 5 kg S/ha/año.

Respuesta a la fertilización con azufre

El trébol blanco (TB) es sensible a la fertilización con S en suelos deficitarios de Nueva Zelanda y Francia (Scherer, 2001; Tallec *et al.*, 2008). En estos países se ha demostrado que cambios en el contenido de S de los suelos provocan aumentos en la contribución del TB en las mezclas forrajeras (Jones, 1974; Scherer y Lange, 1996; Tallec *et al.*, 2008). Mc Naught *et al.* (1960), demostraron en varios ensayos en Nueva Zelanda desde 1952, que sobre pasturas de leguminosas, muchas de las respuestas a la fertilización con superfosfato atribuidas al P, eran en realidad debido a la componente de S. La respuesta a la fertilización con S es más probable que ocurra en sistemas extractivos que retiran gran parte de la biomasa de los cultivos dejando escasos residuos frescos degradables, así como cuando las condiciones físicas del suelo son malas (pobre aireación compactación, exceso hídrico) y por tanto existen limitantes para el crecimiento de las raíces (García, 2008). Son esperables mayores problemas de deficiencia de este nutriente en chacras viejas que entran en una fase de pasturas y donde ocurren ganancias netas de materia orgánica en el suelo, como en praderas viejas donde la mineralización de materia orgánica es muy reducida, y quizás también en sistemas que cambian de laboreos convencionales a siembra directa, donde también se producen ganancias netas de materia orgánica (Bordoli, 2014). Relevamientos nutricionales exploratorios de pasturas (Zamalvide, 1995) y algunos ensayos de fertilización con S realizados por la Cátedra de Fertilidad de Suelos de Facultad de Agronomía, Uruguay (Cerveñasky, 1997) no han sido concluyentes en cuanto a una clara respuesta en producción de forraje, pero las inconsistencias sí demuestran que

es un tema que tiene que seguir siendo estudiado (Bordoli, 2014). Los requerimientos de S difieren entre especies y a su vez entre las diferentes etapas de desarrollo de las mismas (Scherer y Lange, 1996).

Spencer y Glendinning (1980), determinaron para una gran variedad de suelos en Nueva Gales del Sur (Australia), que para llegar al 90% de rendimiento de una pastura de trébol subterráneo es necesario la combinación de la fertilización fosfatada más el agregado de S, aunque el principal nutriente limitante era el P. En Nueva Zelanda, sobre pasturas de trébol blanco de alta producción de materia seca, la ausencia de fertilización con P y S puede llegar a marcar síntomas de deficiencias de dichos nutrientes a nivel foliar. A su vez, no sólo es importante la fertilización individual de cada nutriente, sino también mantener un adecuado balance entre P y S, lo que permite una mayor eficiencia de uso de los nutrientes aplicados (Sinclair *et al.*, 1996). La variación estacional es, obviamente, un factor que podría modificar las correlaciones entre los valores del análisis del suelo y la respuesta de las plantas (Probert y Jones, 1977). Sinclair *et al.* (1985), sugieren que la relación en el contenido foliar entre S y P en pasturas, puede ser un adecuado parámetro para evaluar la necesidad de fertilización.

Determinaciones de azufre en planta y suelo

El análisis de tejidos vegetales (hoja + pecíolo) da una mejor idea de las necesidades S por parte de las plantas (Sanders *et al.*, 1993; Zhao *et al.*, 1999). El nivel crítico de S en planta para trébol blanco es en promedio 0.26%, con un rango de 0.25 a 0.28% en prefloración (McNaught *et al.*, 1960; Andrew, 1977; Reuter y Robinson, 1997; Morón, 2008), aunque es esperable que existan diferentes valores críticos de S en planta según la etapa de la pastura que se esté considerando (Haneklaus y Schnug, 1994; Scherer y Lange, 1996; Zhao *et al.*, 1999). Esto se debe a que los requerimientos de nutrientes están más estrechamente relacionados con la tasa de crecimiento que con la producción

de materia seca en el momento de la medición, y la tasa de crecimiento varía según las diferentes etapas de crecimiento de la pastura (Scaife y Burns. 1986). Por lo expresado anteriormente, el muestreo debe realizarse según pautas que sean comparables para cada cultivo o pastura. En este sentido, Jones y Case (1990) propusieron el inicio de floración (10% de floración) y la evaluación de la parte aérea, como las más apropiadas para evaluar la concentración de la mayoría de los nutrientes en pasturas.

Las determinaciones de S en el suelo han sido muy dificultosas debido a las diferentes formas que se encuentra presente en el suelo (Morón, 1996). Sin embargo, el análisis del suelo podría ser uno de los criterios potencialmente útil para estimar dichos contenidos, aunque hasta el momento no se han establecido las relaciones necesarias entre el contenido de S del suelo, determinado químicamente, y las respuestas de las leguminosas a la aplicación de fertilizantes azufrados (Barbazan *et al.*, 2007). Diferentes ensayos han demostrado que la estimación del contenido de S, medido a través del análisis de suelo tiene un bajo poder de predicción de la respuesta a la fertilización con S en situaciones de laboreo (Zhao *et al.*, 1999). Investigaciones realizadas por Briner *et al.* 1974; citado por Probert y Jones, 1977 reportan un valor crítico para la producción de pasturas de 5.4 mg S-SO₄⁻²/kg de S en el horizonte de suelo más superficial. Tomando como referencia la información generada

a nivel nacional e internacional, así como también el contexto donde muchos de los actuales sistemas de producción agropecuaria están inmersos (rotación cultivos-pasturas), cada vez es más necesaria una mayor productividad y persistencia de las pasturas, basado en una fertilización balanceada, por lo que es necesario explorar las necesidades de otros nutrientes como el S.

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo fue el estudio de la respuesta del agregado de S en pasturas de TB sobre la producción de forraje en diferentes suelos del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se instalaron en otoño del 2008, en los 14 sitios de la red de fertilización (ver Capítulo 1). A excepción del sitio de Ombúes y Palmitas, en todos los sitios experimentales se partió de campo natural sin historia previa de fertilización. La siembra se realizó al voleo, sobre suelos previamente tratados con glifosato. Se sembraron 5 kg/ha de semilla de TB 'Estanzuela Zapicán' y cuando fue necesario se efectuó una resiembra con 4 kg/ha para asegurar una buena población. La evaluación de forraje se extendió por cuatro años. Se trabajó en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones y tres tratamientos de S que se detallan en el Cuadro 6.1. La aplicación del sulfato de calcio se realizó al voleo al momento de la siembra.

Cuadro 6.1. Dosis anuales de S como Sulfato de Calcio

| Tratamiento | Fuente | kg S-SO ₄ Ca / ha /año |
|-------------|-------------------|-----------------------------------|
| 1 | Testigo | 0 |
| 2 | Sulfato de calcio | 10 |
| 3 | Sulfato de calcio | 25 |

En el otoño del primer año se aplicaron a la siembra 120 kg P_2O_5 /ha como superfosfato triple al voleo a todos los tratamientos y las refertilizaciones a partir del segundo año fueron con 30 kg P_2O_5 /ha de superfosfato triple.

Muestreos de suelo: Al inicio del experimento se efectuó un muestreo compuesto de cada bloque, a una profundidad de 0-7.5 cm y 7.5-15. A partir del segundo año, y en los sucesivos, se realizó el análisis de suelo individual de cada parcela. En los mismos se determinó concentración de P extractable a través de los métodos de Bray I, ácido cítrico y resinas catiónicas (descritos en los capítulos 1 y 2) y concentración de sulfatos a través de la técnica de Cantarella y Prochnow (2001).

Producción de forraje: La producción de forraje se evaluó con corte con máquina, cuando el trébol blanco alcanzaba una altura entre 15-20 cm. Previo al corte, se determinó mediante estimación visual el porcentaje

de TB en cada parcela y se tomaron muestras para determinar el contenido de materia seca.

Contenido S en planta: En los cortes realizados durante el otoño, invierno y primavera hasta la floración se tomaron muestras de planta (hoja + pecíolo) para determinaciones analíticas de S.

El análisis estadístico de los registros de producción de forraje, contenido de S en planta y en suelo, obtenidos durante el período experimental de cuatro años, se realizó mediante análisis de varianza utilizando el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 6.2 se presenta para cada sitio la producción de materia seca promedio anual de TB, según los diferentes niveles de S aplicados anualmente.

Cuadro 6.2. Producción de forraje (kg MS/ha) de TB, promedio anual de los tratamientos de fertilización con azufre (kg S/ ha /año) aplicado como sulfato de calcio.

| Zona | Tratamiento | Glencoe ⁽³⁾ | Tambores ⁽³⁾ | |
|-------------------|-------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Norte | T | 3750 | 3298 | |
| | 10 | 3593 | 3283 | |
| | 25 | 3753 | 3488 | |
| | | ns | ns | |
| Noreste | Tratamiento | Tres Puentes ⁽³⁾ | Sauce Cañote ⁽⁴⁾ | |
| | T | 2178 | 3659 | |
| | 10 | 2412 | 3583 | |
| | 25 | 2340 | 3319 | |
| | | ns | ns | |
| Este | Tratamiento | Palo a Pique ⁽³⁾ | Rincón de Ramírez ⁽⁴⁾ | Isla Patrulla ⁽¹⁾ |
| | T | 2536 | 2432 | 1226 |
| | 10 | 3303 | 2647 | 1794 |
| | 25 | 2230 | 2646 | 1121 |
| | | ns | ns | ns |
| Centro-sur | Tratamiento | Florida ⁽⁴⁾ | La Carolina ⁽²⁾ | Pan de Azúcar ⁽⁴⁾ |
| | T | 4003 | 3802 | 1355 |
| | 10 | 3748 | 4057 | 1243 |
| | 25 | 3856 | 5437 | 1410 |
| | | ns | ns | ns |
| Litoral | Tratamiento | Ombúes ⁽³⁾ | Palmitas ⁽³⁾ | Young ⁽³⁾ |
| | T | 6298 | 7948 | 6409 |
| | 10 | 6541 | 8684 | 6525 |
| | 25 | 7116 | 8720 | 6425 |
| | | ns | ns | ns |

T: Testigo; ns: no significativo.

⁽¹⁾ Corresponde a la producción del primer año; ⁽²⁾ promedio de dos años de producción; ⁽³⁾ promedio de tres años de producción; ⁽⁴⁾ promedio de cuatro años de producción.

La diferencia en los años de evaluación de la pastura entre los diferentes sitios, se debió a que la pastura no tuvo la misma persistencia en todos los sitios, o en algunos de ellos la implantación en el primer año fue muy baja (menor al 5% de cobertura).

Para el total de los sitios, no se observaron respuestas significativas ($p < 0,05$) a la fertilización con S en la producción de forraje promedio anual de trébol blanco, para los

niveles de fertilización con S estudiados. Ayala *et al.* (2008), reportaron similares resultados en la región Este comparando dos fuentes de S (S elemental y yeso) con niveles de fertilización fosfatada constante (80 kg P_2O_5 /ha). Analizando la información de producción de forraje anual, solamente los sitios de Ombúes (2^{do} y 3^{er} año) y Young (4^{to} año) presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en respuesta al agregado de S (Figura 6.1).

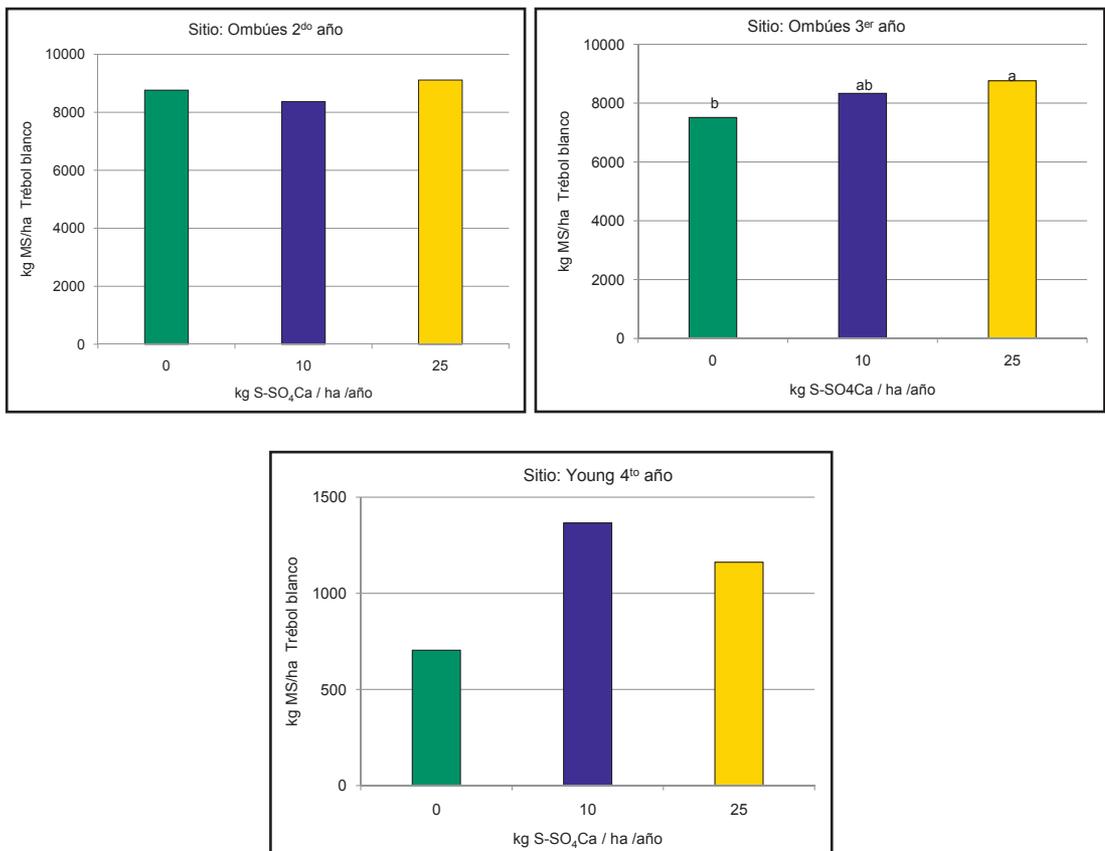


Figura 6.1. Producción de materia seca (kg/ha de Trébol blanco) total anual según tratamiento de fertilización con sulfato de calcio (kg S-SO₄Ca / ha /año) para los sitios de Ombúes (3^{er} y 4^{to} año) y Young (4^{to} año).

En relación a la concentración de S en planta (Figura 6.2), no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos de fertilización aplicados en ninguno de los sitios evaluados. A pesar de los niveles de fertilización aplicados, el promedio de con-

centración de S en planta en todos los sitios estuvo por debajo del nivel crítico reportado para trébol blanco (McNaught *et al.*, 1960; Andrew, 1977; Reuter y Robinson, 1998). Los valores de S en planta encontrados son, en general, menores a los reportados

por Morón (2008); quien realizando estudios sobre chacras de TB en el este del país, sobre las cuales en la mayoría de ellas no se fertiliza con fuentes fosfatadas portadoras de S, encontró que un 30% de las mismas también presentaban valores de S en planta por debajo del nivel crítico. Se observa un rango de variación importante en las concen-

traciones de S en planta obtenidos entre los diferentes sitios, en cada tratamiento. El sitio ubicado en Sauce Cañote fue el que en promedio presentó el mayor contenido de S en planta (2.41 mg/g); a su vez los sitios ubicados en Rincón de Ramírez y Florida fueron los que tuvieron menor concentración (1.91 y 1.78 g/mg, respectivamente).

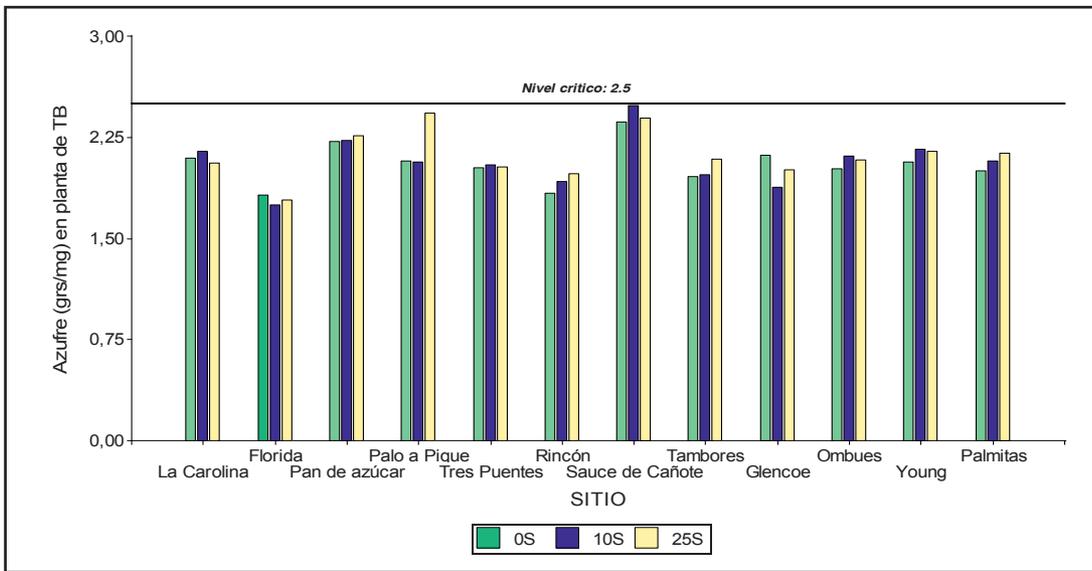


Figura 6.2. Contenido de azufre (mg/g) en planta (hoja + peciolo) de trébol blanco, previo a la floración, según tratamientos de fertilización con sulfato de calcio.

Las estimaciones del contenido de S en los suelos, promedio de todos los tratamientos a una profundidad de 7.5 cm, fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) entre sitios. Si tomamos como valor crítico $5.4 \text{ mg S-SO}_4^{-2} / \text{kg}$ (Probert y Jones, 1977), solamente los suelos de los sitios de Palmitas, Ombúes y Young, presentarían niveles bajos (por debajo de dicho nivel) en su condición natural sin agregado de S. El promedio de S en el suelo entre tratamientos no presentó diferencias significativas en la mayoría de los sitios evaluados, a excepción del sitio de Florida, donde hubo un aumento significativo ($p < 0.05$) en el contenido de S en el suelo cuando se agregaron 25 kg S/ha , con respecto al testigo y al agregado de 10 kg S/ha (Cuadro 6.3). Tenemos que tener en cuenta que al efectuar el muestreo a una profundidad de 7.5 cm podemos estar subestimando el contenido de S

del suelo, debido a que puede existir un movimiento del S hacia mayores profundidades. Por ejemplo, en el caso de Palmitas, que tuvo una alta producción de forraje pero sin respuesta al agregado de S, es posible que haya ocurrido un lavado de S desde la superficie hacia capas más profundas, y que el cultivo haya logrado utilizar ese S acumulado subsuperficialmente. Si analizamos la información anual, solamente los sitios de Florida e Isla Patrulla para los años 2 y 3 presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, presentando mayores valores de S en el suelo con la mayor dosis de fertilizante (25 kg S/ha/año) con respecto a tratamiento testigo (sin S). Los sitios ubicados sobre el litoral del país y La Carolina, fueron los de menor contenido promedio anual de S en el suelo, mostrando a su vez una tendencia de respuesta a la fertilización con azufre.

Cuadro 6.3. Contenido de azufre (promedio 4 años) en el suelo (mg S-SO₄/kg), según sitios y tratamientos de fertilización con S (kg S/ ha) aplicado como sulfato de calcio.

| Zona | Tratamiento | Glencoe | Tambores | |
|-------------------|-------------|--------------|-------------------|---------------|
| Norte | T | 12.5 | 11.3 | |
| | 10 | 13.9 | 11.7 | |
| | 25 | 14.3 | 11.7 | |
| | Promedio † | 13.5 bc | 11.6 d | |
| | †† | ns | ns | |
| Noreste | Tratamiento | Tres Puentes | Sauce Cañote | |
| | T | 9.3 | 15.8 | |
| | 10 | 9.8 | 15.2 | |
| | 25 | 9.8 | 15.1 | |
| | Promedio † | 9.6 e | 15.4 a | |
| | †† | ns | ns | |
| Este | Tratamiento | Palo a Pique | Rincón de Ramírez | Isla Patrulla |
| | T | 14.0 | 7.6 | 11.6 |
| | 10 | 15.7 | 8.0 | 12.4 |
| | 25 | 14.6 | 8.2 | 13.6 |
| | Promedio | 14.8 ab | 7.9 f | 12.5 cd |
| | | ns †† | ns | ns |
| Centro-sur | Tratamiento | Florida | La Carolina | Pan de Azúcar |
| | T | 9.9 b | 5.6 | 10.8 |
| | 10 | 10.4 b | 5.6 | 11.5 |
| | 25 | 13.2 a | 6.2 | 12.1 |
| | Promedio | 11.2 de | 5.8 gh | 11.5 d |
| | | * | ns | ns |
| Litoral | Tratamiento | Ombúes | Palmitas | Young |
| | T | 5.1 | 4.3 | 4.4 |
| | 10 | 5.1 | 4.1 | 4.9 |
| | 25 | 7.5 | 4.2 | 4.8 |
| | Promedio | 5.9 g | 4.2 h | 4.7 gh |
| | | ns | ns | ns |

† Letras distintas indican diferencias significativas entre sitios (LSD 0.05); †† Letras distintas dentro de un sitio indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD 0.05); ns: no significativo.

Si bien los análisis de S en planta estuvieron consistentemente por debajo de los niveles críticos, en la mayoría de las situaciones, a excepción de los sitios del litoral sur y centro del país, los valores de S en el suelo estuvieron por encima del nivel crítico manejado. En tal sentido, la escasa magnitud de la respuesta al S pudo estar más relacionada a los atributos de suelo, relación con otros nutrientes y clima que a la misma fertilización azufrada (Probert y Jones, 1977). Por ejemplo, la historia de baja extracción de S asociado a la baja intensidad de uso de los sitios seleccionados para el estudio. También se considera que la dosis de P utilizada puede haber resultado escasa, en virtud de las respuestas a P observadas en el estudio y discutidas en los capítulos anteriores. Es necesario continuar la investigación de la fertilización con S, manejando niveles más altos de otros nutrientes en el suelo, sobre todo el P.

CONCLUSIONES

- La producción de forraje de trébol blanco fue muy variable entre años y entre sitios. Para los diferentes niveles de productividad de materia seca obtenidos en todos

los sitios de la red, no se encontraron respuestas significativas en el promedio anual, así como tampoco en la producción acumulada, para los diferentes niveles de fertilización con S evaluados.

- Para los diferentes años analizados, solamente el sitio de Ombúes en su 2^{do} y 3^{er} año de producción y Young en su 4^{to} año, presentaron diferencias significativas entre tratamientos.
- Las concentraciones de S en planta de trébol blanco (hoja + pecíolo) en promedio, para todos los tratamientos, estuvieron por debajo del nivel crítico mencionado para la especie en la bibliografía, y no se logró un aumento significativo a través de la fertilización con azufre.
- En la mayoría de los sitios la aplicación de 10 ó 25 kg de S-SO₄Ca/ha/año, no aumentó significativamente la concentración de sulfatos en el suelo en los primeros 7.5 cm. Solamente el suelo ubicado en el sitio de Florida, presentó un mayor contenido de S-SO₄ cuando fue fertilizado con 25 kg S/ha/año, con respecto al tratamiento testigo y al fertilizado con 10 kg S/ha/año. Los contenidos de S en suelo, fueron diferentes entre los sitios evaluados.

BIBLIOGRAFÍA

- AYALA, W.; BERMÚDEZ, R.; MORÓN, A.** 2008. Efecto del fósforo y azufre en mejoramientos de trébol blanco. En: Bermúdez, R.; Ayala, W. (eds.). Seminario de actualización técnica: fertilización fosfatada de pasturas en la región este, INIA Treinta y Tres. Montevideo: INIA. p. 96-99. (Serie Técnica; 172)
- ANDREW, C.S.** 1977. The effect of sulphur on the growth, sulphur and nitrogen concentrations, and critical sulphur concentrations of some tropical and temperate pasture legumes. *Australian Journal of Agricultural Research* 28: 807-820.
- BARBAZÁN M.; FERRANDO M.; ZAMALVIDE, J.** 2007. Estado nutricional del *Lotus corniculatus* en Uruguay. *Agrociencia*, 11(1): 22 - 34.
- BORDOLI, J.** 2014. Fertilización de pasturas de leguminosas y mezclas de gramíneas y leguminosas. [En línea]. Montevideo: Facultad de Agronomía, UDELAR. Consultado 20 set.2015. Disponible en <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/PASTURAS%20CRS/12%20-%20Fertilizacion%20de%20Pasturas.pdf>.
- CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L.I.** 2001. Determinação de sulfato em solos. En: Raij, B. van; Anadrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. (eds.). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. p. 225-230.
- CERVEÑASKY, A.** 1997. Azufre: Manejo de la fertilidad en producciones extensivas. [Presentación oral]. En: Curso de actualización para egresados. Mercedes
- DI RIENZO J.; CASANOVES F.; BALZARINI M.; GONZALEZ L.; TABLADA M.; ROBLEDÓ, C.** 2013. InfoStat Software estadístico, versión 2013. [En línea]. Córdoba: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado 17 mar.2016. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>.
- GARCÍA, A.** 2008. Respuesta a la fertilización con azufre en trigo. En: Jornada de cultivos de invierno, INIA La Estanzuela. p. 17-19. Montevideo: INIA. (Serie Actividades de Difusión; 531).
- HANEKLAUS, E.; SCHNUG, E.** 1994. Diagnosis of crop sulphur status and application of X-ray fluorescence spectroscopy for the sulphur determination in plant and soil materials. *Sulphur Agriculture*, 18: 31-40.
- JONES, M.** 1974. Fertilization of annual grasslands of California and Oregon. En: Mays, D.A. (ed.). Forage fertilization. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy. p. 255-275.
- JONES, J.; CASE, V.** 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. En: Westerman, R.L. Soil testing and plant analysis. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America. p. 389-427.
- MCNAUGHT, K.; PIETERNELLA, J.; CHRISSTOFFELS, J.** 1960. Effect of sulphur deficiency on sulphur and nitrogen levels in pastures and Lucerne. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 4(1):177-196.
- MORÓN, A.** 1996. Azufre: consideraciones sobre su situación en Uruguay. En: Morón, A.; Martino, D.; Sawchik, J. (Eds), Manejo y fertilidad de suelos, INIA La Estanzuela. Montevideo: INIA. p. 73-79. (Serie Técnica; 76).
- MORÓN, A.** 2008. Relevamiento del estado nutricional y la fertilidad del suelo en cultivos de trébol blanco en la zona Este de Uruguay. En: Bermúdez, R.; Ayala, W. (eds.). Seminario de actualización técnica: fertilización fosfatada de pasturas en la región este, INIA Treinta y Tres. Montevideo: INIA. p. 17-29. (Serie Técnica; 172)
- NGUYEN, M.; TILLMAN, R.; GREGG, P.** 1989. Evaluation of sulphur status of East Coast pastures of the North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 32: 273-280.

- NGUYEN, M.L.; GOH, K.M.** 1994. Sulphur cycling and its implications on sulphur fertilizer requirements of grazed grassland ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 49:173-206.
- REUTER, D.; ROBINSON, J.** 1997. Plant analysis: an interpretation manual. CISIRO Publishing. 536 p.
- SANDERS, J.; PHILLIPS, J.; REHCIGL, E.; EICHHORN, M.** 1993. Sulfur: The Missing Link for Warm Season Grasses. [En línea]. Consultado 7 oct.2014. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/2CFCD9FA13AAF76185257D3200572F5C/\\$FILE/%20BC-1993-1%20p28.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/2CFCD9FA13AAF76185257D3200572F5C/$FILE/%20BC-1993-1%20p28.pdf)
- SCAIFE, A.; BURNS, I.** 1986. The sulphate-S/total S ratio in plants as an index of their sulphur status. *Plant and Soil*, 91:61-71.
- SCHERER, H.; LANGE, A.** 1996. N₂ fixation and growth of legumes as affected by sulphur fertilization. *Biology and Fertility of Soils*, 23(4):449-453.
- SCHERER, H.** 2001. Sulphur in crop production.-invited paper. *European Journal of Agronomy*, 23:81-111.
- SINCLAIR, A; BOSWELL, C.; CORNFORTH, I.; LEE, A.; MORGAN, C.; MORTON, J.; NGUYEN, M.; SAUNDERS, W.; SHANNON, P.** 1985. Agronomic requirements for sulphur in New Zealand pastures. *Proceedings of the 20th Technical Conference of the New Zealand Fertilizer Manufacturers research Association*, 2:538-572.
- SINCLAIR, A.; MORRISON, J.; SMITH, L.; DODDS, K.** 1996. Effects and interactions of phosphorus and sulphur on a mown white clover/ryegrass sward. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 39:435-445.
- SPENCER, K.; GLENDINNING, J.** 1980. Critical soil test values for predicting the phosphorus and sulfur status of subhumid temperate pastures. *Australian Journal of Soil Research*, 18:435-445.
- STEVENSON, F.J.** 1986. Cycles of soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur. micronutrients. New York: Wiley. 380 p.
- TALLEC, T.; DIQUE´ LOU, S.; LEMAUVIEL, S.; CLIQUET, J.B.; LESUFFLEUR, F.; OURRY, A.** 2008. Nitrogen: sulphur ratio alters competition between *Trifolium repens* and *Lolium perenne* under cutting: production and competitive abilities. *European Journal Agronomic*, 29:94-101.
- ZAMALVIDE, J.** 1995. Deficiencias de azufre en suelos del Uruguay. *Revista Plan Agropecuario*, 67:31-35.
- ZHAO, F.; HAWKESFORD, M.; MCGRATH, S.** 1999. Sulphur Assimilation and Effects on Yield and Quality of Wheat. *Journal of Cereal Science*, 30:1-17.