



XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Suelos... Huellas del pasado, desafíos del futuro

San Fernando del Valle de Catamarca,
Prov. de Catamarca, Argentina
21 al 24 de mayo de 2024



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN SOBRE MATERIA SECA Y EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES EN ALFALFA EN SUELOS CONTRASTANTES.

Fernández, R.^{1,2*}, Uhaldegaray M.¹, De Dios Herrero J.^{1,2}, N., Noellemeyer E.².

¹INTA Anguil; ² Facultad de Agronomía UNLPam; * Ruta 5, km 580 Provincia La Pampa, fernandez.romina@inta.gob.ar

RESUMEN:

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con fósforo y azufre y su impacto en la exportación de fósforo, azufre y zinc, en pasturas establecidas en dos suelos diferenciados por su potencial de producción de la RSP.

La experiencia se llevó a cabo sobre dos suelos denominados MD y SM. Se sembró 10 kg ha⁻¹ de Alfalfa (*Medicago Sativa*). Se establecieron diferentes tratamientos de fertilización con azufre (S) 40 kg de S ha⁻¹ y sin S. Los tratamientos fueron: sin aporte de fósforo (T) - sin fósforo con S (S); 9 kg ha⁻¹ P (P) - 9 kg ha⁻¹ P con S (P+S). Durante 3 años se cortó forraje para determinar materia seca (MS). Las muestras fueron molidas, y se determinó fósforo (P), azufre (S) y zinc (Zn). En SM se encontró una respuesta significativa a la producción de MS por el agregado de S. En cambio, en MD, si bien se obtuvo mayor producción de biomasa acumulada en los tratamientos que involucran el S (S y P+S) la misma no fue significativa. La fertilización con S se asoció con mayor concentración del nutriente en la biomasa aérea. Con respecto a la concentración de Zn, en ambos sitios, se comprobó que los tratamientos fertilizados con P presentaron menor concentración de Zn con respecto a los tratamientos no tratados con P. Debido a esto, sería necesario considerar y evaluar la necesidad de aplicar un fertilizante que contenga Zn en planteos de reposición de P. La cantidad de P exportado en el forraje en los 3 años de estudio dependió principalmente a la producción de biomasa asociada al sitio/suelo y luego a los planteos de fertilización de P y S. En ambos sitios el aporte de S incremento significativamente la extracción de P y Zn.

PALABRAS CLAVE: fósforo, azufre, zinc, pastura.

INTRODUCCIÓN

La alfalfa continúa siendo la especie forrajera más importante en Argentina a pesar de que el área de siembra ha disminuido en la última década (Basigalup, 2022). Uno de los principales factores que condicionan la producción es el contenido de fósforo y azufre del suelo. Un buen suministro de estos nutrientes brinda numerosos beneficios, entre ellos la rápida inducción al desarrollo radicular, mayor eficiencia en el uso del agua y mejores condiciones para la fijación biológica de nitrógeno. Además, no solo permite más producción de materia seca (MS) sino también mayor longevidad de la pastura (Berg *et al.* 2005; Berg *et al.* 2007) y aumentos en la calidad del forraje por la mayor concentración de proteína (Lissbrant *et al.* 2010). La biodisponibilidad de fósforo en el suelo suele ser baja debido a la escasa reposición y a la sorción de fosfato inorgánico a partículas del suelo (Hinsinger 2001).

Otro nutriente que está siendo intensamente estudiado es el Zinc (Zn), debido a que es el micronutriente que más se ha deteriorado en estos últimos años, principalmente asociado al aumento de la productividad de los cultivos. Además, el déficit puede presentarse por condiciones naturales de pH alcalinos, bajos niveles de materia orgánica, bajas temperaturas en los suelos o por una interacción negativa con altos contenidos de fósforo (Sánchez-Rodríguez *et al.* 2017; Mortvedt, 1991). La deficiencia de Zn y P a menudo ocurre



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria

simultáneamente (Akhtar *et al.* 2019; Duffner *et al.* 2012; Schjørring *et al.* 2019), sobre todo en suelos alcalinos y calcáreos. Una de las causas primarias de deficiencia de Zn en suelos fertilizados con altas cantidades de fertilizantes fosfatados es su reacción con el Zn soluble en el suelo. Altas dosis de P como fertilizante promueven la sorción de Zn y reducen la absorción de Zn por las plantas (Chen *et al.* 2019, Akhtar *et al.* 2019; Zhang *et al.* 2012). Esta reacción produce complejos Zn-fosfato insolubles que influyen en la disponibilidad de Zn para la absorción de las plantas en el tiempo (Mortvedt, 1991). No obstante, aún no está claro si la “deficiencia de Zn inducida por P” se debe a la interacción negativa entre Zn y P en el suelo o en la planta.

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización fosforada y sulfatada y su impacto en la exportación de fósforo, azufre y zinc, en pasturas establecidas en dos suelos diferenciados por su potencial de producción de la RSP.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo sobre dos suelos, un Haplustol éntico localizado en el norte de la provincia de la Pampa denominado Módulo Dorila (MD) y sobre un Paleustol petrocálcico localizado en el centro de la provincia, denominado Santa María (SM). En ambos suelos se sembró aproximadamente 10 kg ha⁻¹ de Alfalfa (*Medicago Sativa*) el 31/3/2020 en MD y en SM el 9/4/2020. Las características de los suelos se presentan en la Tabla 1. En el mes de agosto de 2020, marzo 2021 y febrero de 2022 se establecieron diferentes tratamientos de fertilización al voleo de fósforo (P, Fosfato monoamónico) en dosis crecientes con (40 kg de S ha⁻¹) y sin azufre (S). Los tratamientos fueron: sin aporte de fósforo (T)- sin fósforo con S (S); 9 kg ha⁻¹ P (P) - 9 kg ha⁻¹ P con S (P S).

El ensayo fue dispuesto en un diseño de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones.

En el experimento en MD, se determinó biomasa aérea a los 226, 288, 357, 409, 647, 718, 788, 993, 1051 y 1093 días desde la siembra (25/11/2020, 28/1/2021, 6/4/2021, 28/6/2021, 26/10/2021, 6/1/2022 y 10/3/2022, 19/10/2022, 14/12/2022, 25/1/2023 respectivamente) y en SM a los 215, 284, 404, 548, 632, 673, 719, 898, 973, y 1041 días desde la siembra (5/11/2020, 14/1/2021, 14/5/2021, 12/10/2021, 4/1/2022, 15/2/2022 y 31/3/2022, 19/10/2022, 5/12/2022, 13/1/2023, respectivamente). Los cortes se realizaron en una superficie de 0,25 m² en cada parcela a una altura de 5 cm del suelo en cada momento de corte y tratamiento de fertilización y las muestras fueron secadas en estufa a 60 C°. Posteriormente, las muestras fueron molidas, y enviadas al laboratorio para determinar el contenido de fósforo (P), azufre (S) y cinc (Zn) (Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo ICP-OES)

En ambas experiencias la pastura fue destinada a la confección de rollos por lo cual el 90% del forraje se exportó del lote.

Los resultados fueron analizados mediante modelos lineales mixtos con medidas repetidas en el tiempo para cada pastura. La comparación de medias se realizó mediante Test de Fischer ($p \leq 0.1$) utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2017).

Tabla 1: Arcilla y limo (A+L), materia orgánica (MO), fósforo extractable (P), Azufre de sulfatos (S) en Módulo Dorila (MD) y Santa María (SM) a 0-20 cm de profundidad en suelo.

Sitio	Prof (cm)	A+L (%)	MO (%)	P (ppm)	pH 1:2,5	S (ppm)	S (kg ha ⁻¹) en perfil
MD	>200	43	2,0	50,2	6,2	13	198
SM	140	33	1,6	27,9	6,8	14	92

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En MD la concentración de P en la biomasa varió entre 0,22 en S y 0,24% en T y P. En SM se encontró 0,22 % en el tratamiento con S y 0,23 % en los demás tratamientos (Tabla 2). La concentración de P en la biomasa aérea es importante ya que no solo impacta positivamente en el crecimiento de la alfalfa, sino que estaría relacionada con la tolerancia al estrés (Jung & Smith, 1959; Volenec *et al.*, 2021). Además, afecta positivamente al crecimiento de la raíz principal durante la aclimatación del otoño y posterior rebrote en la primavera (Berg *et al.*, 2021).

En ambos sitios, la fertilización con azufre (S y P+S) se asoció con mayor concentración del nutriente en la biomasa aérea. Con respecto a la concentración de Zn, en ambos sitios, se comprobó que los tratamientos fertilizados con P presentaron menor concentración de Zn con respecto a los tratamientos no tratados con P. La interacción entre estos dos nutrientes (P y Zn) puede alterar las concentraciones de nutrientes de las plantas y su calidad nutricional (Ova *et al.*, 2015). Debido a esto, sería necesario considerar y evaluar la necesidad de aplicar un fertilizante que contenga Zn en planteos de reposición de P.

Tabla 2: Concentración de fósforo (P), azufre (S) y zinc (Zn) en la biomasa de alfalfa, promedio de 3 años en ambos sitios de estudio (MD y SM).

	Sitio MD		Zn mg/kg
	P %	S	
T	0,24	0,22	19,7
S	0,22	0,24	20,7
P	0,24	0,23	18,7
P+S	0,23	0,24	19,8

	Sitio SM		Zn mg/kg
	P %	S	
T	0,23	0,19	20,4
S	0,22	0,23	19,6
P	0,23	0,19	19,1
P+S	0,23	0,22	18,8

Con respecto a la producción acumulada en biomasa de alfalfa en SM se encontró una respuesta significativa por el agregado de S ($p < 0,0001$). En cambio, en MD, si bien se obtuvo mayor producción de biomasa acumulada en los tratamientos que involucran el S (S y P+S) la misma no fue significativa ($p = 0,475$).

La respuesta a la fertilización depende de factores ambientales y de la disponibilidad de nutrientes del suelo (Lanyon & Griffith, 1988) por lo cual se podría suponer que el P en el suelo en ambos sitios no fue limitante (Tabla 1), y la respuesta con respecto al T fue baja. Si bien en ambos sitios la biomasa obtenida en el tratamiento S fue similar a P+S, no debe subestimarse las interacciones de nutrientes en planteos de producción de alfalfa (Macolino *et al.*, 2013).

La respuesta en la producción de MS por el uso del S podría estar relacionada en estimular la capacidad de nodulación y en consecuencia impactaría en mayor concentración de nitrógeno debido a la fijación biológica. Ambos suelos se encontraron cercanos al valor umbral establecido entre 10-12 ppm de S (Tabla 1) como límite de deficiencia de este elemento para la mayoría de los cultivos (Scott & Munro, 1979; Rivero *et al.*, 2006). No obstante, al analizar

el perfil del suelo se encontró que el sitio MD presentaba hasta los 200 cm de profundidad 198 kg/ha S, mientras que en SM el valor obtenido fue de 92 kg/ha S-SO₄⁻ (Tabla 1). Este bajo valor de azufre en el perfil del suelo del sitio SM podría ser la explicación a la respuesta positiva en biomasa al agregado de S en el tratamiento T y P.

En los dos sitios evaluados, la cantidad de P exportado en el forraje en los 3 años de estudio dependió principalmente a la producción de biomasa asociada al sitio/suelo y luego a los planteos de fertilización de P y S. En MD la cantidad exportada de P fue alta y presentó un rango entre 100 y 119 kg ha⁻¹, la fertilización incidió en un 12, 10 y 19 % más de P exportado para S, P y P+S, respectivamente, con respecto al testigo. Los contenidos de S en biomasa también fueron altos y se encontraron entre los 105 y 115 kg ha⁻¹, sin presentar diferencias estadísticas significativas. Para el caso del Zn, el mismo varió entre 0,94 y 1 kg ha⁻¹ presentando diferencias estadísticas significativas.

Para el sitio SM, la cantidad exportada de P presentó un rango entre 48 y 63 kg ha⁻¹, la fertilización incidió en un 20, 10 y 31 % más de P exportado para S, P y P+S, respectivamente, con respecto al testigo, con diferencias estadísticas significativas. Los contenidos de S exportados en biomasa se encontraron entre los 36 y 54 kg ha⁻¹, donde también la fertilización tuvo un fuerte impacto, incidió en un 48, 12 y 43 % más de S exportado para S, P y P+S, respectivamente, con respecto al testigo, con diferencias estadísticas significativas. Para el caso del Zn, el mismo varió entre 0,38 y 0,47 kg ha⁻¹ donde la exportación se encontró en un 23, 7,8 y 23 % más para S, P y P+S, respectivamente, también presentando diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

Tabla 3: Producción de materia seca promedio de 3 años (MS) en ambos sitios de estudio (MD y SM). Contenido de fósforo (P), azufre (S) y cinc (Zn) exportados en el forraje

Sitio MD	MS	Alfalfa		
		P	S	Zn
		kg ha ⁻¹		
T	47769	100,8 B	107	0,94 B
S	49650	113,7 A	105	1,0 A
P	50910	111,2 A	115	0,97 B
P+S	51583	119,8 A	115	1,0 A
p value	0,475	0,033	0,273	0,014

Sitio SM	MS	Alfalfa		
		P	S	Zn
		kg ha ⁻¹		
T	18524 C	48,1 C	36,5 C	0,38 B
S	24651 A	57,6 AB	54,0 A	0,47 A
P	21509 B	53,1 B	40,7 B	0,41 B
P+S	25576 A	63,2 A	52,1 A	0,47 A
p value	0,0001	0,0003	<0,0001	0,0005

Estos resultados aportan datos relevantes acerca de cuán importante es la extracción de nutrientes por corte mecánico, y deberían utilizarse para animar a los productores a reponer los nutrientes extraídos a fin de mantener y mejorar la calidad de los suelos.

CONCLUSIONES

En ambos sitios, la fertilización con azufre se asoció con mayor concentración del nutriente en la biomasa aérea. Con respecto a la concentración de Zn, en ambos sitios, se comprobó que los tratamientos fertilizados con P presentaron menor concentración de Zn con respecto

a los tratamientos no tratados con P. Debido a esto, sería necesario considerar y evaluar la necesidad de aplicar un fertilizante que contenga Zn en planteos de reposición de P.

La cantidad de P exportado en el forraje en los 3 años de estudio dependió principalmente de la producción de biomasa asociada al sitio/suelo y luego a los planteos de fertilización de P y S. En ambos sitios el aporte de S incremento significativamente la extracción de P y Zn.

La respuesta de la pastura al agregado de un nutriente incrementó la extracción de otros nutrientes no aportados.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo del establecimiento “La Nueva Escocia” de la localidad de Anguil-La Pampa y “Don Jesus” en Dorila-La Pampa quienes nos permiten trabajar allí en experiencias de larga duración.

Deseamos agradecer a la Región CREA “Oeste Arenoso”, quien priorizó la línea de investigación y que junto a los proyectos del INTA (PE I009, RIST 503, PE 132) se logró financiar la experiencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Akhtar, M., Yousaf S., Sarwar N. & Hussain, S. (2019) Zinc biofortification of cereals-role of phosphorus and other impediments in alkaline calcareous soils. *Environ Geochem Hlth* 41:2365–2379
- Basigalup, D. H. (2022). Panorama actual del cultivo de alfalfa en Argentina. En: Investigación, producción e industrialización de la alfalfa en Argentina. Ediciones INTA. Capítulo 1- 14:35. ISBN 978-987679-348-3.
- Berg, W. K., Cunningham S. M., Brouder, S. M., Joern, B. C., Johnson, K. D., Santini, J. & Volenec, J. J. (2005). Influence of Phosphorus and Potassium on Alfalfa Yield and Yield Components *Crop Sci.* 45:297–304.
- Berg, W. K., Cunningham, S. M., Brouder, S. M., Johnson, K. D., Joern, B. C., & Volenec, J. J. (2007). The long-term impact of phosphorus and potassium fertilization on alfalfa yield and yield components. *Crop Sci.* 47: 2198–2209. doi: 10.2135/cropsci2006.09.0576
- Berg, K. S., Brouder, S. M., Cunningham, S. M. & Volenec, J. J. (2021). Potassium and Phosphorus Fertilizer Impacts on Alfalfa Taproot Carbon and Nitrogen Reserve Accumulation and Use During Fall Acclimation and Initial Growth in Spring W. *Front. Plant Sci.* 12:715936. doi: 10.3389/fpls.2021.715936
- Chen, X-X., Zhang, W., Wang, Q., Liu Y-M., Liu D-Y & Zou C-Q. (2019) Zinc nutrition of wheat in response to application of phosphorus to a calcareous soil and an acid soil. *Plant Soil* 434:139–150.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2017). Infostat – Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina [WWW Document]. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Duffner, A., Hoffland, E. & Temminghoff E. J. M. (2012) Bioavailability of zinc and phosphorus in calcareous soils as affected by citrate exudation. *Plant Soil* 361:165–175
- Hinsinger, P. (2001) Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil* 237:173–195.
- Jung, G. A. & Smith, D. (1959). Influence of soil potassium and phosphorus content on the cold resistance of alfalfa. *Agron. J.* 51, 585–587. doi: 10.2134/agronj1959.00021962005100100004x
- Lissbrant, S., Brouder, S.M., Cunningham, S.M. & Volenec, J. J. (2010). Identification of fertility regimes that enhance long-term productivity of alfalfa using cluster analysis. *Agron. J.* 102:580–591. doi:10.2134/agronj2009.0300
- Macolino, S., Lauriault, L M., Rimi, F. & Ziliotto, U. (2013). Phosphorus and Potassium Fertilizer Effects on Alfalfa and Soil in a Non-Limited Soil. *Agron. J.* 105:1613–1618. doi:10.2134/agronj2013.0054

- Mortvedt, J.J. (1991). Micronutrient fertilizer technology. In: Mortvedt JJ, Cox FR, Shuman LM, Welch RM (eds) *Micronutrients in Agriculture*. SSSA Book Series No. 4. Madison, WI. pp. 89–112
- Ova, E.A., Kutman, U.B., Ozturk, L. and Cakmak, I. (2015): High P supply reduced zinc concentration of wheat in native soil but not in autoclaved soil or nutrient solution. *Plant Soil*. 393:147-162.
- Rivero, E., Cruzate, G. A. y Turati, R. (2006). Azufre, boro y zinc: mapas de disponibilidad y reposición en suelos de la región pampeana. *Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de Suelos de la Región Andina*. Salta-Jujuy, Rep. Argentina. Set/2006
- Sánchez-Rodríguez, R.A., del Campillo, M.C. & Torrent, J. (2017). Phosphorus reduces the zinc concentration in cereals potgrown on calcareous Vertisols from southern Spain. *J Sci Food Agr* 97:3427–3432
- Schjørring, J.K., Cakmak, I. & White, P.J. (2019) Plant nutrition and soil fertility: synergies for acquiring global green growth and sustainable development. *Plant Soil* 434:1–6
- Scott, N. & Munro, J. (1979). The sulphate status of soils from North Scotland. *J. Sci. Agric.* 30: 15-20.
- Volenc, J. J., Brouder, S. M., & Murrell, T. S. (2021). "Broadening the objectives of future potassium recommendations," in *Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops*. eds. T. S. Murrell, R. L. Mikkelsen, G. Sulewski, R. Norton and M. L. Thompson (Cham, Switzerland: Springer Nature), 385–415
- Zhang, Y-Q., Deng, Y., Chen, R-Y., Cui, Z-L., Chen, X-P., Yost, R., Zhang, F-S. & Zou, C-Q. (2012) The reduction in zinc concentration of wheat grain upon increased phosphorus-fertilization and its mitigation by foliar zinc application. *Plant Soil* 361:143–152