



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

**Tesis Magister en Ciencias Agrarias**

**Lic. Juan José Gallego**

**EFFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN CON P Y S SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) IRRIGADA Y EL ESTADO ORGÁNICO DEL SUELO EN EL VALLE INFERIOR DEL RÍO NEGRO**

**DIRECTOR**

**Mag. Ana María Migliarina**

**2017**

## PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Magister en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía durante el período comprendido entre noviembre de 2011 y junio de 2017, bajo la dirección de la Lic. (Mg) Ana María Miglierina.

Lic. Juan José Gallego  
D.N.I. 29.798.211



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el 16/6/2017, mereciendo la calificación de 7 (Siete)

## **AGRADECIMIENTOS**

Al INTA como institución y en particular a la EEA Valle Inferior por brindarme el financiamiento, el tiempo y el espacio necesario para la conducción de este estudio.

A las Mgs. Ana María Miglierina y María Rosa Landriscini por su inconmensurable paciencia, apoyo, profesionalismo y dedicación que me brindaron en este proceso de aprendizaje.

A los Ings. Agrs Daniel Miñón, Raúl Barbarossa, Maite Alder, Gabriela Garcilazo, Ciro Saber y Marta Colabelli por su constante apoyo y los valiosos aportes intelectuales que me brindaron en diferentes etapas del trabajo.

A Ricardo Camina por su gran ayuda, predisposición y asesoría en el análisis de los datos.

A las Ings. Alicia Kropf y Susana Polo por el espacio físico brindado para desempeñar una etapa importante del trabajo.

A los dos directores de la EEA Valle Inferior que estuvieron presentes durante el proceso de post-grado y que siempre brindaron su apoyo y el aliento necesario para finalizar este trabajo: Med. Vet. Jorge Reynals e Ing. Zoot. Mauricio Álvarez.

A los Sres. Horacio Pallao y Marcos Tarqui por sus valiosas contribuciones en los trabajos de campo y la recolección de datos.

A todos mis compañeros de grupo de trabajo y de la EEA por su apoyo.

A mis amigos por alentarme en todo momento.

A mi esposa, hijos, padres y hermanos por su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida.

¡¡Muchas Gracias a todos!!

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a mi esposa Anabela, mis hijos Tomás, Francisco, Guadalupe; a mis padres Héctor y Laura; y hermanos Flavia, J. Ignacio y J. Manuel. También para mi abuela Lela y mi tío Juan Carlos.

## RESUMEN

En el Valle Inferior del río Negro aproximadamente el 20% de la superficie total bajo riego se destina al cultivo de alfalfa (*Medicago sativa L.*). Esto contribuye a mantener la oferta anual de forraje con heno de calidad, principal fuente de alimentación de los sistemas de invernada. El elevado potencial productivo de este cultivo en la región ocasiona una alta extracción de nutrientes, particularmente fósforo (P) y azufre (S), los que podrían reponerse mediante una adecuada fertilización con el objeto de maximizar la producción y la calidad del forraje. El trabajo de tesis se llevó a cabo durante 2010-2014 en la Estación Experimental Valle Inferior del INTA en Viedma, provincia de Río Negro, sobre un ensayo productivo de alfalfa bajo riego. Los objetivos fueron: 1. Evaluar la producción de materia seca del cultivo de alfalfa en respuesta a la fertilización fosforada y azufrada en suelos de textura fina bajo condiciones de riego, durante cuatro ciclos de producción. 2. Determinar el contenido de proteína bruta del forraje en cada estación de crecimiento (primavera-verano-otoño). 3. Determinar la concentración y el contenido de nutrientes de alfalfa en el estado fenológico de 10% de floración, en todos los cortes durante los dos primeros ciclos del cultivo. 4. Cuantificar la evolución del carbono orgánico total (COT), el carbono orgánico particulado (COP) del suelo y la concentración de P y S totales en la fracción de la materia orgánica (MO) particulada en los dos primeros ciclos de producción. Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con parcelas divididas, donde se distribuyeron los 10 tratamientos con P y S. Se aplicaron cinco dosis de P (0, 20, 40, 80 y 160 kg ha<sup>-1</sup>) combinados con dos dosis de S (0 y 24 kg ha<sup>-1</sup>). En el cultivo se evaluó la producción de forraje por corte, y la acumulada en cada ciclo (Mg MS ha<sup>-1</sup>); la concentración de proteína bruta (%PB) y el contenido de nutrientes en el forraje (kg MS ha<sup>-1</sup>). En el suelo se determinó: COT, COP y contenido de P y S totales en la fracción particulada. En el período correspondiente a los cinco cortes de primavera y verano se produjo el 89% del forraje total del ciclo. Sólo los cortes 1, 4 y 6 mostraron diferencias respecto al tratamiento sin fertilizante, con altas dosis de P, con respuestas entre 33 y 40%. La fertilización combinada con P+S incrementó la producción anual acumulada de forraje a partir del 2º ciclo de estudio; en el 3º y 4º ciclo únicamente las dosis más altas de P (con y sin S) produjeron los mayores aumentos de forraje. El porcentaje de PB fue de 18% en los cortes de primavera y

verano y del 23% en otoño. Los tratamientos con P y S produjeron mayor % PB en forraje respecto al testigo en los cortes de primavera y otoño. En la época estival cuando se presentaron los menores valores de PB, la fertilización no generó cambios en los porcentajes. Los mayores valores proteicos se observaron en otoño. El forraje producido luego de la fertilización fósforo azufrada, mostró niveles suficientes de N, Ca y B y ligeras deficiencias de P, K y S. Cuando los resultados se expresaron en  $\text{kg ha}^{-1}$ , no se detectaron diferencias significativas de los contenidos de N, S y B entre tratamientos. Sólo en el primer ciclo los valores de P, K y Ca fueron más altos con dosis iguales o mayores a  $20 \text{ kg P ha}^{-1}$  (con y sin S). En los dos ciclos estudiados los niveles de COT fueron semejantes en todos los tratamientos fertilizados. La fertilización no modificó el contenido de COP, Pt y St de la fracción gruesa en ambos ciclos con diferencias entre ciclos. La disminución de la MOP en 19% durante el segundo ciclo productivo explicaría el menor contenido de COP, Pt y St de la fracción gruesa en ese período. El contenido de St de la fracción gruesa presentó diferencias entre los dos ciclos mientras que el Pt se mantuvo. La aplicación de  $24 \text{ kg S ha}^{-1}$  disminuyó el contenido de Pt de dicha fracción como consecuencia de una mayor extracción de P por parte del cultivo. La relación S:P mostró un enriquecimiento de S. La relación de estratificación indica una mayor acumulación de COP en la profundidad de suelo 0-10 cm respecto a 0-5 cm, debido a la mayor acumulación de raíces en este espesor. En general, en todos los tratamientos, esta relación fue mayor que 2, lo que sugeriría un efecto beneficioso de la pastura sobre la calidad del suelo.

## SUMMARY

In the Lower Valley of Río Negro (VIRN) approximately 20% of the total area under irrigation is used for alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivation. This contributes to maintaining the annual supply of forage with better quality, which is the main source of feed for wintering systems. The high productive potential of this crop in the region causes a high extraction of nutrients, particularly phosphorus (P) and sulfur (S), which could be recovered by means of an adequate fertilization in order to maximize forage production and quality. This thesis was carried out during 2010-2014 period at the Lower Valley Experiment Station of INTA in Viedma, Río Negro province, on a productive trial of alfalfa under irrigation. The objectives were: 1. To evaluate the dry matter production of alfalfa in response to phosphorus and sulfur fertilization in fine textured soils under irrigation conditions during four production cycles. 2. Determine the crude protein content (%PB) of the forage at each growing season (spring-summer-autumn). 3. Determine the concentration and nutrient content of alfalfa at 10% flowering phenological state, in all forage cuts during the first two crop cycles. 4. To quantify the total organic carbon (TOC) evolution, particulate organic carbon (POC) and total P and S concentration in the coarse fraction of organic matter (OM) in the first two production cycles. A randomized complete block design with split plots was used to distribute ten P and S treatments. Five doses of P (0, 20, 40, 80 and 160 kg ha<sup>-1</sup>) were applied in combination with two doses of S (0 and 24 kg ha<sup>-1</sup>). In the crop, the forage production per cut, the accumulated in each cycle (Mg MS ha<sup>-1</sup>), the % PB and the nutrient content (kg DM ha<sup>-1</sup>) were evaluated. In the soil, TOC, POC and total P and S content in the particulate fraction were also determined. The 89% of total forage was produced in the period corresponding to five cuts of spring and summer of the alfalfa cycle. Only 1, 4 and 6 cuts showed differences regarding treatment without fertilizer, when high doses of P were used, which responses were from 33 to 40%. Combined P + S fertilization increased the annual accumulated forage production from the 2nd cycle of study; in the 3rd and 4th cycle only the highest doses of P (with and without S) produced the highest forage increases. The PB content was 18% in the spring and summer cuts and 23% in the corresponding autumn. The P and S treatments produced higher %PB than the control in the spring and autumn cuts. In the summer when the lowest %PB values were obtained, the fertilization did not produce changes in these values. The highest %PB were

observed in autumn. The forage produced after sulfur and phosphorus application, showed sufficient levels of N, Ca and B and small P, K and S deficiencies. When the results were expressed in  $\text{kg ha}^{-1}$ , no significant differences of N, S and B contents between treatments were observed. Only in the first cycle the P, K and Ca values were higher with doses equal or greater than  $20 \text{ kg P ha}^{-1}$  (with and without S). In the two cycles evaluated the TOC levels were similar in all fertilized treatments. The fertilization did not modify the POC, Pt and St contents in the coarse soil fraction in both cycles with differences between them. The 19% decrease of the MOP during the second productive cycle would explain the lower content of POC, Pt and St of the coarse fraction in that period. The St content of the coarse fraction showed differences between the two cycles while the Pt remained constant. The application of  $24 \text{ kg S ha}^{-1}$  decreased the Pt content of this fraction as consequence of higher extraction of phosphorus by the crop. The S: P ratio showed an S enrichment. The stratification ratio indicated a higher accumulation of POC in the 0-10 cm compared to 0-5 cm soil depth, due to the greater roots accumulation in this thickness. In all treatments this ratio was greater than 2, which would suggest a beneficial effect of pasture on soil quality.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Requerimientos nutricionales de la alfalfa: importancia del P y S.....	3
Calidad del forraje .....	8
Importancia de la materia orgánica y sus fracciones .....	9
Presentación del problema .....	11
Hipótesis .....	13
Objetivos .....	13
MATERIALES Y MÉTODOS .....	15
Sitio experimental y características edafo-climáticas .....	15
Diseño experimental .....	16
Información climática del período de estudio .....	17
Manejo del cultivo .....	18
Determinaciones en el cultivo .....	19
<i>Producción de forraje</i> .....	19
<i>Proteína bruta</i> .....	20
<i>Análisis nutricional</i> .....	20
Determinaciones en el suelo .....	21
Análisis estadístico .....	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
<i>FERTILIZACIÓN CON P Y S SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE</i> <i>ALFALFA</i> .....	24
Producción de forraje por corte .....	24
Producción de forraje acumulado.....	27
Conclusión parcial .....	32
Proteína bruta .....	32
Conclusión parcial .....	34
<i>ANÁLISIS NUTRICIONAL DE LA ALFALFA</i> .....	35
Concentración de macro y micronutrientes en el forraje .....	35

Contenido acumulado de nutrientes en el forraje.....	38
Conclusión parcial .....	40
<i>FERTILIZACIÓN CON P Y S SOBRE EL ESTADO ORGÁNICO DEL</i>	
<i>SUELO CULTIVADO CON ALFALFA .....</i>	41
Efecto sobre la cantidad de la materia orgánica .....	41
Efecto sobre la calidad de la materia orgánica particulada .....	44
Estratificación del COP en el suelo .....	46
Conclusión parcial .....	48
CONCLUSIONES .....	49
CONSIDERACIONES FINALES.....	49
BIBLIOGRAFÍA .....	50
ANEXO .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Requerimiento hídrico mensual del cultivo de alfalfa en el Valle Inferior de Río Negro.....	3
<b>Figura 2.</b> Relación entre el P disponible y el rendimiento de forraje de alfalfa.....	7
<b>Figura 3.</b> Evolución de la superficie sembrada con alfalfa pura y pasturas consociadas en el VIRN .....	12
<b>Figura 4.</b> Ubicación geográfica de la EEA Valle Inferior del INTA.....	15
<b>Figura 5.</b> Temperatura media mensual del período 2010-2013 y media histórica del período 1965-2015.....	18
<b>Figura 6.</b> Número de días con heladas del período 2010-2013 y media histórica del período 1965-2015.....	18
<b>Figura 7.</b> Efecto del P y S sobre la producción de forraje acumulado anualmente (Mg MS ha <sup>-1</sup> ) para el ciclo 1.....	28
<b>Figura 8.</b> Efecto del P y S sobre la producción de forraje acumulado anualmente (Mg MS ha <sup>-1</sup> ) para el ciclo 2.....	29
<b>Figura 9.</b> Efecto del P y S sobre la producción de forraje acumulado anualmente (Mg MS ha <sup>-1</sup> ) para el ciclo 3.....	31
<b>Figura 10.</b> Efecto del P y S sobre la producción de forraje acumulado anualmente (Mg MS ha <sup>-1</sup> ) para el ciclo 4.....	31
<b>Figura 11.</b> Efecto de la fertilización con P y S sobre la relación de estratificación del carbono orgánico particulado (COP) para la relación 0-5:5-20 cm (r1) y la relación 0-10:10-20 cm (r2).....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Requerimientos nutricionales del cultivo de alfalfa .....	5
<b>Tabla 2.</b> Caracterización del suelo del sitio experimental .....	16
<b>Tabla 3.</b> Cantidad de agua recibida por el cultivo (mm) .....	19
<b>Tabla 4.</b> Fechas de corte en cada uno de los ciclos productivos.....	20
<b>Tabla 5.</b> Producción de forraje por corte para los ciclos 1 al 4 del tratamiento testigo. Media y rango de los tratamientos fertilizados y testigo (Mg MS ha <sup>-1</sup> ).....	25
<b>Tabla 6.</b> Efecto de P y S sobre % de proteína bruta en los cortes de los ciclos 1 y 2	34
<b>Tabla 7.</b> Concentración de N, P, K, Ca, S (%) y B (mg kg) en forraje. Ciclo 1. Promedio de tratamientos .....	37
<b>Tabla 8.</b> Concentración de N, P, K, Ca, S (%) y B (mg kg) en forraje. Ciclo 2. Promedio de tratamientos .....	37
<b>Tabla 9.</b> Efecto de P y S sobre el contenido de N, S y B (kg ha <sup>-1</sup> ) en forraje de alfalfa. Promedio de dos ciclos.....	39
<b>Tabla 10.</b> Efecto de P y S sobre el contenido de P, K y Ca (kg ha <sup>-1</sup> ) en forraje de alfalfa. Ciclo 1 y 2.....	39
<b>Tabla 11.</b> Efecto de la fertilización con P y S sobre el contenido de COT, COP, MOP, Pt y St de la fracción particulada en la profundidad 0-20 cm para el inicio, ciclo 1 y 2.....	43
<b>Tabla 12.</b> Valores de probabilidad de significación de los ANOVA para los efectos del ciclo (C), la fertilización (F) y su interacción (C x F) sobre el COT, COP, Pt y St de la fracción particulada a la profundidad de 0-20 cm.....	44
<b>Tabla 13.</b> Contrastes ortogonales para los contenidos de COT, COP, Pt y St (0-20 cm) al final del 1º y 2º ciclo.....	44
<b>Tabla 14.</b> Efecto de la fertilización con P y S sobre el contenido de fósforo y azufre total (Pt y St) en la materia orgánica particulada (MOP) (0-20 cm) para el 1º y 2º ciclo.....	45
<b>Tabla 15.</b> Valores de probabilidad de significancia de los ANOVA para los efectos del ciclo (C), de fertilización (F) y su interacción (C x F) sobre el Pt y St de la materia orgánica particulada a la profundidad 0-20 cm.....	46
<b>Tabla 16.</b> Contrastes ortogonales para los contenidos de Pt y St de la materia orgánica particulada (0-20 cm) al final del 1º y 2º ciclo.....	46
<b>Tabla 17.</b> Producción de forraje por corte para los ciclos 1 al 4, (Mg MS ha <sup>-1</sup> ).....	68
<b>Tabla 18.</b> Producción de forraje acumulado para los ciclos 1 al 4, (Mg MS ha <sup>-1</sup> ).....	69
<b>Tabla 19.</b> Efecto de P y S sobre el contenido (kg ha <sup>-1</sup> ) de N, S y B en forraje de	

alfalfa para el ciclo 1 y 2.....	69
<b>Tabla 20.</b> Efecto de la fertilización con P y S sobre el contenido de COT, COP, Pt y St de la fracción particulada en la profundidad 0-5; 5-10 y 10-20 cm. Ciclo 2.....	70
<b>Tabla 21.</b> Efecto de P y S sobre la concentración (%) de N, P, K, Ca, S y B en forraje de alfalfa para los cortes 1, 2 y 3. Ciclo 1 y 2.....	71
<b>Tabla 22.</b> Efecto de P y S sobre la concentración (%) de N, P, K, Ca, S y B en forraje de alfalfa para los cortes 4, 5 y 6. Ciclo 1 y 2.....	72
<b>Tabla 23.</b> Coeficientes de variación de la concentración de nutrientes en forraje para los cortes del ciclo 1 y 2.....	73

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

N	Nitrógeno
MO	Materia orgánica
MS	Materia seca
ha	Hectárea
VIRN	Valle Inferior del Río Negro
P	Fósforo
S	Azufre
K	Potasio
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
B	Boro
FBN	Fijación biológica de nitrógeno
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Sulfato
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
H <sub>2</sub> S	Ácido sulfhídrico
PB	Proteína bruta
C	Carbono
COS	Carbono orgánico del suelo
MOP	Materia orgánica particulada
MOM	Materia orgánica asociada a la fracción mineral
(NH <sub>4</sub> )H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Fosfato monoamónico
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfato de amonio
GRI	Grupo de reposo invernal
HNO <sub>3</sub>	Ácido nítrico
HClO <sub>4</sub>	Ácido perclórico
Pt	Fósforo total
St	Azufre total
FG	Fracción gruesa
COP	Carbono orgánico particulado
COT	Carbono orgánico total
DAP	Densidad aparente
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Fosfato cálcico
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Fosfato
CV	Coefficiente de variación

## INTRODUCCIÓN

En distintos países del mundo se considera a la alfalfa como la especie forrajera más importante para la alimentación animal (Mendoza Pedroza *et al.*, 2010). Cumple un rol fundamental en las rotaciones agrícolas debido a su capacidad de fijar nitrógeno (N) atmosférico y su efecto positivo sobre la estructura de los suelos (Orloff y Carson, 1997; Ballesta Remy, 2007).

En Argentina los sistemas de producción de carne y leche se desarrollan en su mayoría sobre pasturas perennes compuestas principalmente por leguminosas como alfalfa (Quiñonez *et al.*, 2008). Estos sistemas tienen dos funciones importantes, por un lado la producción de forraje para la nutrición animal y en segundo lugar la recuperación de la fertilidad potencial del suelo, debido al incremento en el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) (Díaz-Zorita y Fernández-Canigia, 1998). Su productividad depende, entre otros factores del adecuado aprovechamiento de las condiciones agroclimáticas y de la oferta de nutrientes (Díaz-Zorita, 2006).

El cultivo de alfalfa se adapta a todas las regiones de nuestro país a excepción de la depresión del Salado y a suelos lateríticos de la Mesopotamia, con elevados contenidos de hierro y aluminio (Hijano y Basigalup, 1995). Su difusión se debe a la alta producción de materia seca (MS) por unidad de superficie y al elevado nivel de proteína (Boschetti *et al.*, 2000; Rebuffo, 2000).

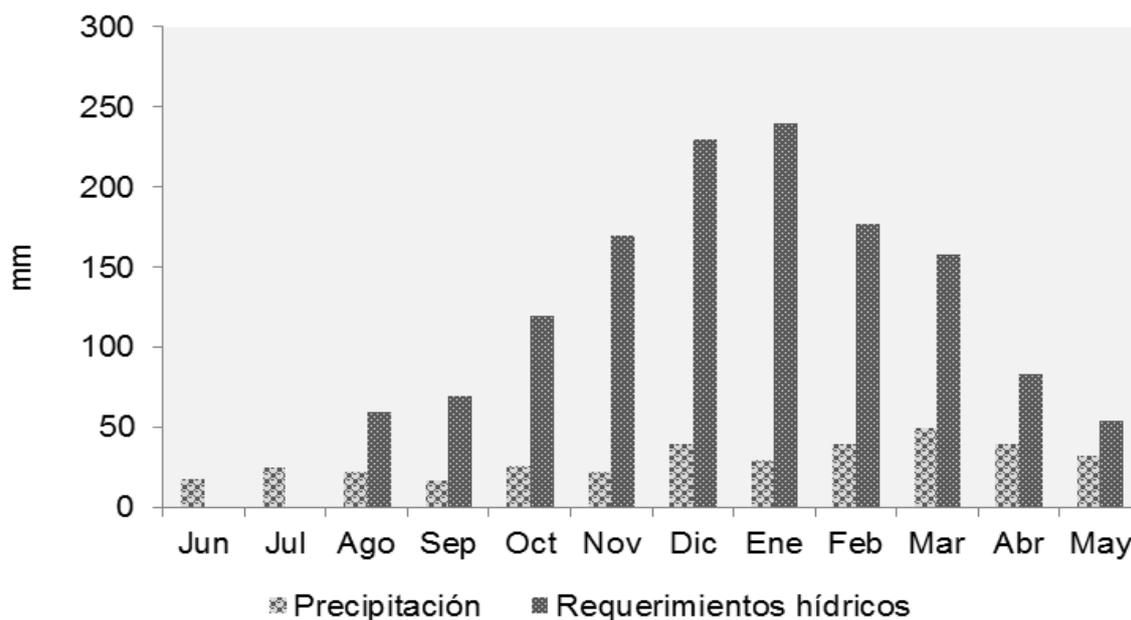
En los años 1996-97 la superficie con alfalfa, pura o consociada con otras forrajeras, era de poco más de 7 millones de ha. A partir de 1998-99 comenzó a registrarse un descenso del área de siembra y durante el año 2002 se informaron aproximadamente 3,7 millones de ha (INDEC, 1995-1997; 1999-2002). Posterior a la crisis económica y política por la cual atravesó nuestro país, se comenzó a recuperar la superficie de siembra situándose en el año 2005 en aproximadamente 5 millones de ha (Basigalup *et al.*, 2007). En la actualidad se estima que la superficie es de 3,7 millones de ha.

Las principales áreas de producción se localizan en las provincias de Córdoba, Santa Fe, Buenos Aires y La Pampa. Esta amplia región representa más del 90% de la superficie con alfalfa de la Argentina (Hijano y Basigalup, 1995). En condiciones de riego predomina en Cuyo (Mendoza y San Juan), sur de Buenos

Aires, Santiago del Estero y los valles patagónicos de Río Negro, Neuquén y Chubut. La amplia distribución geográfica de la alfalfa se debe a su adaptabilidad a una variada serie de condiciones ambientales asociada a los programas de mejoramiento genético nacionales e internacionales (Quiroga Garza, 2013). Entre las variables climatológicas y factores abióticos que han sido reportados como determinantes en el comportamiento de la alfalfa, se encuentra la temperatura, el fotoperíodo, la radiación solar, la evapotranspiración y la humedad disponible en el suelo o el estrés hídrico (Gardner et al., 1985; Grismer, 2001; Lindenmayer *et al.*, 2011).

La producción potencial de forraje de alfalfa requiere de una disponibilidad no limitante de agua para satisfacer la transpiración del cultivo y el consumo de agua es durante todo el año, aún durante el reposo invernal, lo que genera una demanda evapotranspirativa mayor que un sistema de cultivos anuales (Collino *et al.*, 2007). En la región del Valle Inferior del Río Negro (VIRN) el requerimiento hídrico del cultivo de alfalfa es de aproximadamente 1300-1400 mm año<sup>-1</sup> (Figura 1), y la precipitación anual histórica es de 409 mm (Martín, 2009). Estos datos muestran un balance negativo que debe cubrirse mediante la aplicación de riego gravitacional. El consumo de agua de alfalfa que informaron López *et al.* (1997) fue de 1464 mm año<sup>-1</sup> durante tres campañas de evaluación obteniéndose un rendimiento de 28 Mg MS ha<sup>-1</sup>.

En Argentina es escasa la superficie sembrada con alfalfa destinada exclusivamente a cosecha mecánica en contraposición a lo que ocurre en otros países donde predomina el aprovechamiento bajo corte. El cultivo destinado a cosecha se conserva principalmente en forma de fardos y rollos, y en menor proporción como silaje y henolaje empaquetado con polietileno (Juan *et al.*, 1995).



**Figura 1.** Requerimiento hídrico mensual del cultivo de alfalfa en el Valle Inferior de Río Negro. Fuente: Miñón *et al.*, 2015.

### Requerimientos nutricionales de la alfalfa: importancia del fósforo y el azufre

Las razones que explican la variabilidad productiva de los alfalfares se relacionan en gran parte con la dotación de nutrientes y con características y aptitudes de los suelos (Quiñonez *et al.*, 2008). En los sistemas de producción de alfalfa bajo corte y según sea la altura de corte, la extracción de nutrientes es muy importante, debido a que se cosecha la mayor parte del forraje aéreo utilizándose posteriormente en otras áreas (García, 2004).

La fertilización balanceada es una de las mejores herramientas para incrementar la producción forrajera y consecuentemente la producción animal (Fontanetto *et al.*, 2011). La mayor disponibilidad de nutrientes mejora la eficiencia del uso del agua y de la radiación, la calidad forrajera y el período de utilización de las leguminosas (García, 2004). Las propiedades físicas, químicas y biológicas edáficas (Boschetti *et al.*, 2003), y las diversas prácticas de manejo afectan la disponibilidad de fósforo (P) para las plantas y su residualidad en los años posteriores a la fertilización (Berardo y Marino, 2000; Quiñonez *et al.*, 2008). En los sistemas pastoriles que incluyen a la alfalfa como recurso forrajero, existe un retorno del P al suelo mediante las heces de animales y el material vegetal senescente (Díaz-Zorita y Barraco, 2002). Este retorno es muy heterogéneo, detectándose

concentraciones en aguadas, comederos, alambrados y lugares sombreados (Mathews *et al.*, 1999; Dubeux *et al.*, 2006).

Los requerimientos nutricionales de este cultivo siguen el patrón estacional de crecimiento del cultivo; las demandas de P y N aumentan al final del invierno y comienzos de la primavera. La mayor parte del total de nutrientes absorbidos durante el ciclo de crecimiento se acumula previo a la floración, antes que la pastura alcance la máxima acumulación de forraje. Posteriormente disminuye la cantidad de nutrientes requeridos por la pastura (Marino y Agnusdei, 2004). La disponibilidad de nutrientes en el suelo varía a lo largo del año debido a los factores climáticos fundamentalmente la temperatura y la disponibilidad de agua que controlan las reacciones químicas y la actividad microbiana del suelo (Martín y Rivera, 2004; Li *et al.*, 2006).

Del total de nutrientes consumidos, los elementos que usualmente limitan la producción de forraje son N, P, azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y boro (B) (Haby *et al.*, 1998) (Tabla 1). En ensayos realizados en la región pampeana Racca *et al.* (2001) determinaron que cuando no existen condiciones limitantes (i.e., sequía, disponibilidad de P, pH), el aporte de N a través de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) es relativamente constante y podría contribuir alrededor del 60% del N total consumido por el cultivo. En caso contrario, el porcentaje de N derivado de la FBN es significativamente menor (42%). Estos autores determinaron que en promedio se fijan 2,3 kg de N cada 100 kg de MS producida. En lo referente a la influencia del pH edáfico, Lanyon y Griffith (1988) establecieron que por debajo de un umbral crítico de 6, disminuye la actividad de las bacterias fijadoras de N y en consecuencia, la FBN.

El P es un elemento que interviene en múltiples procesos, tales como el almacenamiento y transferencia de energía en la planta, desarrollo de la biomasa aérea y radical, capacidad de nodulación y fijación del N atmosférico, fotosíntesis y resulta fundamental para la tolerancia a factores de estrés (Díaz Zorita y Gambaudo, 2007). La disponibilidad de P es crítica para la actividad de los nódulos en la FBN, debido al elevado requerimiento de ATP para el funcionamiento de la enzima nitrogenasa (Ribet y Drevot, 1995). También tiene un rol importante en la biosíntesis de membranas, transmisión de señales y el desarrollo general del nódulo (Al-Niemi *et al.*, 1997). Su disponibilidad depende, entre otros factores, de las características del

suelo y si bien varía entre estaciones, estos cambios son de menor magnitud que para el caso del N.

**Tabla 1.** Requerimientos nutricionales del cultivo de alfalfa (Meyer *et al.*, 2008).

Macronutrientes	kg Mg MS <sup>-1</sup>
Nitrógeno	27
Fósforo	2,5
Potasio	21
Calcio	12
Magnesio	3
Azufre	3,5
Micronutrientes	g Mg MS <sup>-1</sup>
Boro	30
Manganeso	25
Molibdeno	0,3
Zinc	15

La fertilización fosfatada de la alfalfa al momento de la siembra y/o las re-fertilizaciones, son prácticas que han mostrado respuestas significativas en la producción de forraje cuando la disponibilidad es baja y no está limitada por ningún otro factor (Berg *et al.*, 2005). Los beneficios de la fertilización fosfatada a la siembra en alfalfa se atribuyen, entre otros, a la mayor formación de nódulos, en el estímulo del crecimiento inicial, mayor desarrollo radical (Días Zorita y Gambaudo, 2007), mejor competencia con las malezas y en el anticipo del primer aprovechamiento. Otra estrategia para la reposición del P en el suelo es la refertilización en algún momento luego de implantada la pastura, para tratar de reforzar la fertilización inicial, reponer el nutriente extraído en ciclos anteriores por el cultivo y mantener la alfalfa en el óptimo de producción (Fontanetto y Bianchini, 2007). Esta última alternativa es muy poco utilizada por la escasa información que demuestre sus beneficios, sobre todo si se considera que el P se caracteriza por su escasa movilidad en el suelo (Mengel y Kirkby, 1987).

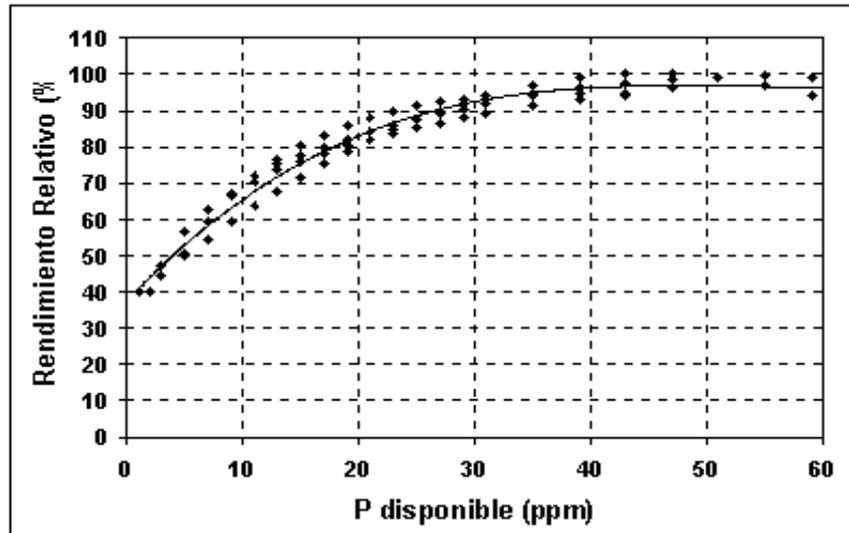
Las interacciones positivas del P con otros nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas han sido documentadas en numerosas investigaciones.

Según INPOFOS (2000) y Sunmer y Farina (1986) el beneficio principal de la interacción de P y N se atribuye al incremento en la absorción de P por las plantas, debido a que la solubilidad del P aumenta con alto contenido de N. Por otra parte, la interacción del P y el manganeso (Mn) se observa cuando la disponibilidad de Mn aumenta debido a altos niveles de P en suelo. En la interacción P/Ca se ha encontrado una acción estimulante del Ca en la absorción del P, debido a que el Ca incrementa la velocidad de transporte del P a causa de su efecto sobre los transportadores de éste (Fernández, 2007).

Para Quinteros *et al.* (1997) las respuestas en la producción de alfalfa a la fertilización fosfatada a la siembra con dosis de 16 y 32 kg P ha<sup>-1</sup> fueron del 28 al 61% respectivamente en comparación con el testigo. Estos autores contemplan a la refertilización como una práctica para realizarla en el segundo año de la pastura, cuando el nivel de P disponible en el suelo es menor a 14 mg kg<sup>-1</sup>. Por otro lado, Bono *et al.* (1997) y Bianchini (2006) observaron respuestas a la fertilización con P (20, 40, 80 y 140 kg ha<sup>-1</sup>) a la siembra de 90 y 39% respectivamente, aunque estos autores no reportaron respuesta en la producción de forraje cuando se refertilizó al segundo año respecto a los tratamientos fertilizados a la siembra.

Quinteros *et al.* (1995) detectaron respuestas a la fertilización de alfalfa en suelos con concentraciones menores a 12 mg P disponible kg<sup>-1</sup>.

La corrección de una condición nutricional deficitaria de P en el suelo es un factor determinante en una estrategia de alta producción de alfalfa, ya que alcanza la máxima producción con más de 25 mg P kg<sup>-1</sup> (Bray y Kurtz 1) y valores inferiores limitan el crecimiento de manera significativa (Figura 2). Asimismo, la persistencia de la alfalfa si bien depende de diversos factores bióticos y abióticos, las dosis de fertilizante utilizadas tienen un efecto importante en la persistencia del cultivo (Morón, 2000).



**Figura 2.** Relación entre el P disponible y el rendimiento de forraje de alfalfa. Fuente: Quinteros *et al.*, 1995.

El S presenta una dinámica muy similar al N; forma parte de aminoácidos y vitaminas, contribuye con la síntesis de proteínas y mejora la eficiencia del uso de otros nutrientes. Este nutriente puede afectar la FBN directamente, modulando la formación, el crecimiento y la actividad de los nódulos (Duke *et al.*, 1980; Pacyna *et al.*, 2006). Existe una estrecha relación entre la disponibilidad de S y el contenido de las enzimas nitrogenasa y leghemoglobina en nódulos (Varin *et al.*, 2010) por lo que su deficiencia puede reducir la fijación (Scherer *et al.*, 2008).

Los suelos arenosos y con bajos contenidos de MO, generalmente presentan deficiencia de S (García, 2004). Se estima que el 5-6% del S está como sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) que es la forma asimilable para las plantas (Till, 2010). En la mayoría de los suelos cultivados, más del 90% del S es de origen orgánico y durante la mineralización de la MO, se liberan los  $\text{SO}_4^-$  al suelo. El principal egreso de S en los sistemas productivos es la extracción por las cosechas y la lixiviación, aunque las pérdidas pueden ser menores que las de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). En situaciones de alta disponibilidad hídrica y cuando predominan las condiciones de anaerobiosis, se pueden producir pérdidas por volatilización de las formas gaseosas como  $\text{H}_2\text{S}$  (Mengel y Kirkby, 1987).

El contenido de S en el suelo es un indicador poco confiable de la disponibilidad del nutriente para la pastura y de la respuesta a la fertilización con S. En un suelo destinado al cultivo de alfalfa, el nivel de suficiencia debería ser  $10 \text{ mg S kg}^{-1}$  de suelo (Vivas, 2006).

El requerimiento de S y su metabolismo en planta están estrechamente relacionados con la nutrición nitrogenada, mientras que el metabolismo del N también está fuertemente afectado por el nivel de S en planta (Duke y Reisenauer, 1986). Robson (1983) demostró que la deficiencia de S produce la disminución del N en tallos de leguminosas.

En distintos ambientes de E.E.U.U. Sawyer *et al.* (2011) informaron aumentos en la producción de forraje de alfalfa de 35 a 158% respecto al testigo cuando se fertilizó con 6, 13 y 20 kg S ha<sup>-1</sup>.

La provincia de Santa Fe es uno de los principales sitios donde se cultiva esta pastura debido a que constituye la principal base alimenticia de los sistemas tamberos. Fontanetto *et al.* (2011) aseguraron que los nutrientes limitantes para la producción de alfalfa en los suelos de la zona centro-este de Santa Fe son en orden de importancia: P, Ca y S. Estos autores informaron que la producción de forraje de alfalfa incrementó 16% respecto al testigo cuando se aplicaron de 36 kg S ha<sup>-1</sup>. Cuando no se realiza una fertilización al momento de la siembra, la refertilización con S luego de la implantación de la pastura, es un recurso disponible para la reposición del mencionado nutriente en el suelo (Fontanetto y Bianchini, 2007). Estos mismos autores obtuvieron respuestas en la producción de forraje de alfalfa en 10 cortes de dos ciclos productivos, a la fertilización a la siembra con 24 y 48 kg S ha<sup>-1</sup>.

En suelo Argiudol típico Quiñonez *et al.* (2008) con 8 mg S kg<sup>-1</sup>, encontraron respuestas respecto al testigo en la producción de forraje del primer ciclo de 22% con una dosis de 25 kg S ha<sup>-1</sup>, aunque durante el segundo ciclo los tratamientos fueron semejantes. En un Hapludol típico cuyo contenido de S era de 3 mg S kg<sup>-1</sup>, Sardiña y Barraco (2013) no detectaron aumentos en la producción de forraje con dosis de 25 kg S ha<sup>-1</sup>.

### **Calidad del forraje**

En nuestro país la alimentación del ganado bovino se basa fundamentalmente en la utilización de pasturas semipermanentes o perennes como alternativa de bajo costo, en relación con otros alimentos. La alfalfa es la especie más utilizada por su excelente valor nutritivo debido a su mayor contenido de

proteína bruta (PB) (Bruno *et al.*, 2003; Urbano y Davila, 2003); ésta cumple un rol importante para la síntesis de proteína microbiana que se produce en el rumen y proporciona más de la mitad de los aminoácidos absorbidos por los rumiantes (Rodríguez *et al.*, 2007).

El valor proteico de la alfalfa (16-24% PB) depende principalmente del estado fenológico y nutricional de la planta (Soto y Jahn, 1993; Ruiz *et al.*, 1994). Cuando el cultivo se encuentra en 10% de floración es un indicador de mayor concentración de nutrientes por unidad de superficie y en estados fenológicos avanzados, la alfalfa es menos digestible que en estado inmaduro. Esto ocurre por una disminución del contenido de PB e incrementos en fibra y lignina (Lloveras *et al.*, 1998; Jahn *et al.*, 2002).

En este aspecto, Nescier y Dalla Fontana (2003) no encontraron cambios significativos en el contenido proteico en los dos primeros cortes de primavera, en un cultivo de alfalfa fertilizado con diferentes dosis de P con y sin inoculación de la semilla. Posteriormente, Dalla Fontana *et al.* (2007) observaron que con el agregado de P+S, la PB aumentaba significativamente en verano, pero no así en primavera e invierno. Según estos autores, la aplicación de P promueve la formación de nódulos y la FBN para la síntesis de proteína. Wall y Favelukes (1991) informaron sobre la importancia de la FBN en la calidad del forraje, independientemente del contenido de N del suelo.

Marino y Agnusdei (2004) destacaron la importancia de desarrollar estrategias de fertilización de pasturas tendientes a incrementar la eficiencia de uso de los nutrientes. Dicha eficiencia varía en función del nutriente, su disponibilidad, la época del año, las condiciones climáticas, el ciclo de la planta y el manejo de la pastura.

Si bien existen numerosos trabajos sobre el efecto de estos nutrientes en la producción, hay escasa información sobre su relación con la calidad del forraje especialmente en sistemas productivos de la región de los valles irrigados de la Norpatagonia.

### **Importancia de la materia orgánica del suelo y sus fracciones**

La MOS juega un rol fundamental en el mantenimiento de la fertilidad del suelo y la productividad de los agroecosistemas (Dubeux *et al.*, 2006) y se considera

un indicador clave de la sostenibilidad de los sistemas (Whitbread *et al.*, 2000). Su principal constituyente es el carbono (C), que representa entre el 40-60% y depende de su estado de transformación (Galantini *et al.*, 2008). Al respecto cabe señalar que los métodos de calcinación húmeda o seca determinan carbono orgánico del suelo (COS), y la MOS se estima a partir del COS multiplicado por factores empíricos como el de van Benmelen (1,724) (Martínez *et al.*, 2008). El factor de transformación de COS a MOS puede variar entre 1,9 para suelos superficiales y 2,5 para subsuelos (Broadbent, 1953)

La MO es el componente del suelo que se utiliza más frecuentemente como un indicador de calidad y sustentabilidad agronómica en estudios de largo plazo (Reeves, 1997; Hernández y López, 2002), ya que de ella dependen muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Bongiovanni y Lobartini, 2009; Duval *et al.*, 2013).

Desde el punto de vista productivo y de la calidad del suelo, la MO total aporta muy poco para el estudio de los efectos de las prácticas agronómicas de corto plazo (Tan *et al.*, 2007). Esto se debe a que las fracciones orgánicas más abundantes en el suelo son las de ciclado más lento; por ello se necesitan muchos años para observar diferencias (Galantini y Suñer, 2008). En cambio las fracciones lábiles son más sensibles al efecto del uso de la tierra, motivo por el cual pueden utilizarse como indicadores tempranos del efecto de la rotación de cultivos, la fertilización o del sistema de labranza sobre la calidad del suelo (Haynes, 2000). En los últimos años se ha puesto énfasis en la separación de dos fracciones orgánicas: la MO humificada o asociada a la fracción mineral (MOM) y la MO joven o particulada (MOP). La primera es una fracción estable en el tiempo, difícil de degradar por su estructura muy compleja y diferente a la del material que le dio origen. Por el contrario, la MOP es una fracción menos transformada y debido a su menor grado de asociación con la parte mineral del suelo, resulta más susceptible a la oxidación. Constituye la parte más dinámica de la MO y está vinculada con la disponibilidad de nutrientes (N, P y S) en el corto plazo.

La fertilización tiene un efecto variable sobre el balance de C en el suelo y cuando la disponibilidad de nutrientes aumenta, la producción de forraje de los cultivos también lo hace, lo que incrementa el aporte de residuos al suelo con efecto positivo sobre el contenido de MO (Galantini y Suñer, 2008).

En este aspecto, Galantini y Rosell (2006) observaron que luego de una fertilización continua durante 5 años, se produjeron cambios significativos en las fracciones orgánicas del suelo, se modificó el contenido de la fracción lábil orgánica y la cantidad y calidad de la fracción humificada.

Los factores que afectan la cantidad y calidad de la MO lábil pueden dividirse en aquellos relacionados con el aporte de residuos, y los vinculados con la actividad biológica del suelo (Gregorich *et al.*, 2006). En el primer caso, son importantes los aspectos ligados con la cantidad, la composición y la accesibilidad de los residuos del cultivo que ingresan al suelo (clima, cultivo, rotación, fertilización, labranza, etc.). En el segundo, tienen importancia la accesibilidad del sustrato y el ambiente edáfico (relación agua-aire-sólido), así como las prácticas culturales que los modifiquen o que mejoren el estado nutricional del suelo (Galantini y Suñer, 2008).

### **Presentación del problema**

El Valle Inferior del Río Negro está ubicado en el noreste de la región Patagónica sobre la margen sur, entre los 40° y 41° S y los 63° y 64° W (Creus *et al.*, 2004). La superficie total bajo riego es de aproximadamente 20.411 ha de las cuales 3.960 se destinan a la producción de alfalfa (La Rosa *et al.*, 2010; Villegas Nigra *et al.*, 2014).

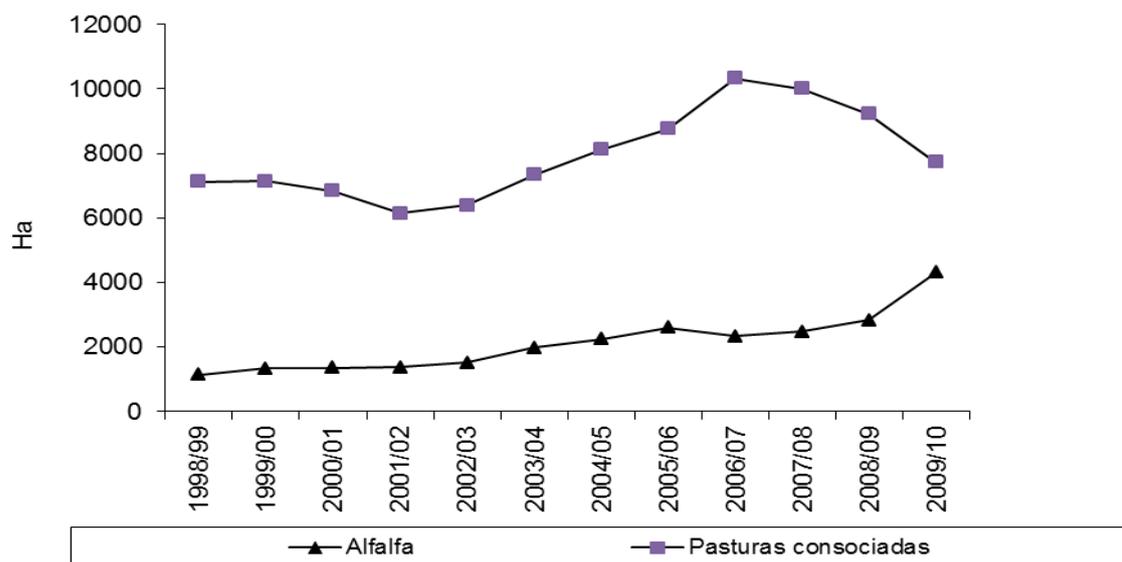
En la Figura 3 se presenta la evolución de la superficie ocupada por forrajeras perennes consociadas, categoría que incluye principalmente pasturas mezcla base alfalfa-festuca, y en menor medida festucas y agropiros. Las pasturas consociadas perennes crecieron desde 7.000 hasta alrededor de 10.000 ha en 2006/07, posteriormente decayeron hasta ocupar 8.000 ha (La Rosa *et al.*, 2010; Villegas *et al.*, 2014). En cambio la superficie cultivada con alfalfa pura se incrementó gradual y consistentemente desde 1.000 a más de 4.000 ha. Probablemente a partir del 2006/07 la alfalfa haya ocupado parte de la superficie destinada a pasturas consociadas aunque esto no puede asegurarse ya que éstas también podrían haber sido reemplazadas por otros cultivos como maíz o cebolla.

Este crecimiento podría explicarse por dos razones: por un lado la persistente sequía que afectó la región que aumentó significativamente la demanda y el valor del heno, principalmente de los sistemas de cría bovina y/o ovina predominantes en la zona de secano (Bassi *et al.*, 2010). El cultivo de alfalfa bajo riego contribuye a

mantener una oferta de forraje continua a lo largo del año, con heno de mediana a buena calidad, el cual constituye la principal fuente de alimentación de los sistemas de invernada que incorporan animales de distintas categorías que egresan de la región del Monte y se destinan al engorde y terminación (Garcilazo, 2007).

Por otro lado la apertura de la comercialización de megafardos (450-750 kg) con destino al mercado internacional (La Rosa *et al.*, 2010; Villegas *et al.*, 2014) y el mercado interno de fardos y rollos, es una actividad que genera el 13,5% del total del valor agregado del sector primario en el VIRN (Tagliani *et al.*, 2012). Desde el VIRN se exportan más de 15.000 Mg MS año<sup>-1</sup> hacia países árabes y aproximadamente 16.000 Mg MS se destinan al mercado regional. (Villegas *et al.*, 2014).

En el VIRN y en la región de CORFO Río Colorado, la producción de forraje de alfalfa en experiencias bajo riego supera los 18 Mg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (García *et al.*, 1994; Sevilla *et al.*, 1995; Zabala, 1997; Spada, 2011-2015), situándose entre las regiones del país con mayor potencial del cultivo en cuanto a producción y persistencia (Gallego y Miñón, 2016).



**Figura 3.** Evolución de la superficie sembrada con alfalfa pura y pasturas consociadas en el VIRN. Fuente: La Rosa *et al.*, 2010

Los altos volúmenes de forraje generan elevada extracción de nutrientes del sistema suelo-planta, con el riesgo de balance negativo de nutrientes en el suelo debido a deficiencias en el manejo del cultivo. La consecuencia es la disminución de

la fertilidad de los suelos afectando la productividad, la rentabilidad del sistema y la degradación del recurso (García, 2006).

Existe escasa información regional sobre la extracción de nutrientes por parte de la alfalfa en sistemas bajo riego y del efecto de la fertilización con P y S sobre la producción y calidad del forraje. Cuando se evalúa el efecto de la fertilización sobre la producción, es importante determinar no sólo la producción individual de los cortes para conocer cómo se distribuye el forraje en las distintas estaciones de crecimiento, sino también conocer el forraje acumulado del ciclo (sumatoria de cortes).

El estudio de la evaluación de la respuesta productiva, del nivel proteico del forraje, del contenido de nutrientes del cultivo y la evolución de las fracciones orgánicas del suelo, permitirá un conocimiento más acabado del manejo de sistemas de cultivo en condiciones de riego y henificado predominante en la zona.

### **Hipótesis**

- La fertilización con P+S en alfalfares bajo corte y en condiciones de riego, aumenta la producción de forraje debido al incremento de los contenidos nutricionales en el tejido vegetal.
- La fertilización fósforo azufrada aumenta la calidad de la alfalfa según la época de corte.
- La fertilización con P y S aumenta la cantidad y calidad de las fracciones lábiles de la materia orgánica del suelo debido al mayor aporte y descomposición de residuos por parte del cultivo.

### **Objetivos**

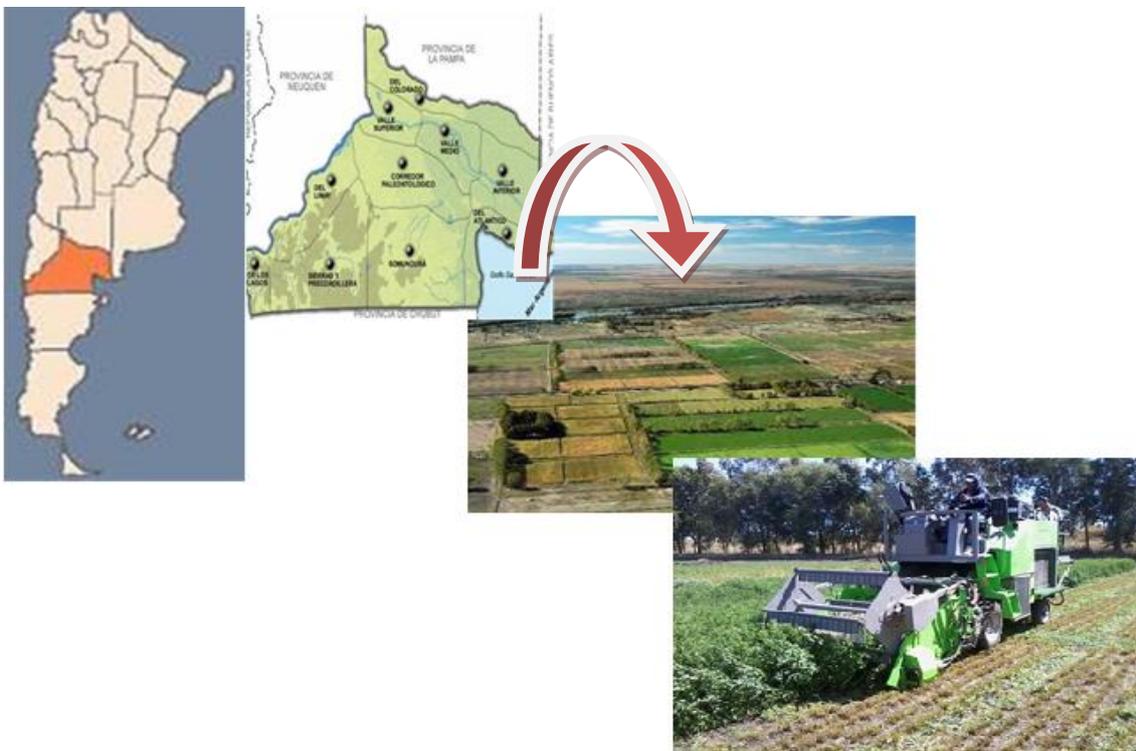
1. Evaluar la producción de materia seca del cultivo de alfalfa en respuesta a la fertilización fosforada y azufrada en suelos de textura fina bajo condiciones de riego, durante varios ciclos de producción.

2. Determinar la concentración y el contenido de nutrientes de alfalfa en el estado fenológico de 10% de floración, en todos los cortes durante los dos primeros ciclos del cultivo.
3. Determinar el contenido de proteína bruta del forraje en cada estación de crecimiento (primavera-verano-otoño).
4. Cuantificar la evolución del COT y el COP del suelo y la concentración de P y S totales en la fracción de la MO particulada en los dos primeros ciclos de producción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio experimental y características edafoclimáticas

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del INTA (EEAVI), en Viedma, prov. de Río Negro (40° 48´ S´; 63° 05´ O). (Figura 5). La EEAVI se encuentra en el Valle Inferior o Valle de Viedma, que se extiende de oeste a este en la margen sur del Río Negro hasta su desembocadura en el Océano Atlántico. Está delimitado por dos mesetas, cuchillas Norte y Sur de 25 a 35 m de altura. Es una llanura con suave pendiente hacia el mar y una altitud media de 4 m snm, con algunas depresiones que no sobrepasan los 2 m (Miñón *et al.*, 2013).



**Figura 4.** Ubicación geográfica de la EEA Valle Inferior del INTA.

Según Thornthwaite (1948) el clima es semiárido, mesotermal con pequeño a nulo exceso de agua y baja eficiencia térmica estival. La temperatura media anual es de 14,1 °C con una máxima media en verano de 20,9 °C y una mínima media en invierno de 7,9 °C. El otoño y la primavera son estaciones de transición con temperaturas variables.

La precipitación media histórica es de 409 mm anuales y el período libre de heladas es de 199 días (Martín, 2009).

El suelo del sitio experimental clasifica como Gypsiusterst arídico (Reinoso, 2014). Según Masotta (1970) pertenece a la serie “chacra” y se desarrolló sobre sedimentos fluvioaluvionales. Esta serie de suelos se caracteriza por presentar un horizonte A de textura arcillosa a franco arcillosa con un espesor de 10 cm. Presenta un B2 de color gris oscuro, con textura media a fina, con estructura primaria de tipo prismática media y estructura secundaria en bloques. El horizonte B3 es de gran espesor, color parduzco, textura franco arcillo limosa, friable y poroso, y constituye el horizonte de acumulación de calcáreo. El material parental es franco arcillo limoso o franco limoso (Guerra *et al.*, 1966, citado por Martínez *et al.*, 2004).

Al inicio del estudio se extrajeron muestras de suelo, compuestas por 15 submuestras, de la profundidad 0-20 y 20-40 cm para describir el sitio experimental (Tabla 2) El método de muestreo fue en forma de cuadrícula por la melga donde se sembró el cultivo.

**Tabla 2.** Caracterización del suelo del sitio experimental.

Prof. (cm)	COT	Nt	N- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	S- SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	K disp.	Pe	CIC	Ca	Mg	Na	K	CE	pH	Textura
			mg kg <sup>-1</sup>					cmol kg <sup>-1</sup>			dS m <sup>-1</sup>			
0-20	2,9	0,21	18,8	14,7	430	14,3	29	17,9	6,2	0,8	1,2	0,73	7,4	Arcillo limoso
20-40	2,3	0,17	27,3	12,9	372	8,3	18	9,9	5,4	1,01	0,9	0,9	7,7	Arcillo limoso

COT, carbono orgánico total (LECO-C Analyser, Rosell *et al.*, 2001)

Nt, nitrógeno total (Bremner, 1996)

N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, nitrógeno de nitratos (Mulvaney, 1996)

SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, sulfatos solubles (Anderson *et al.*, 1992)

K disp., potasio disponible (Helmke y Sparks, 1996).

Pe, fósforo extraíble (Olsen & Sommers, 1982)

CIC, Capacidad de Intercambio Catiónico (Soil Conservation Service, USDA, 1972)

Ca, calcio; Mg, magnesio; Na, sodio; K, potasio intercambiables (Helmke y Sparks, 1996).

CE, conductividad eléctrica.

pH: suspensión suelo-agua (1:2,5)

## Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques (n=4) completos aleatorizados con parcelas divididas, donde se distribuyeron los 10 tratamientos con P y S. Las parcelas tenían una superficie de 16,8 m<sup>2</sup>.

De acuerdo al tipo de fertilizante más utilizado en la región del VIRN para la fertilización de la alfalfa y a su disponibilidad en el mercado local, se utilizaron las siguientes fuentes de P y S: fosfato monoamónico  $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$  (11-52-0) y sulfato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (21-0-0-24S).

Se aplicaron las siguientes dosis:

P: 0, 20, 40, 80 y 160 kg P ha<sup>-1</sup>

S: 0 y 24 kg S ha<sup>-1</sup>

Los tratamientos (T) que surgieron a partir de la combinación de los cinco niveles de P y dos de S fueron:

**T1:** P0S0 (Testigo)

**T6:** P40S24

**T2:** P0S24

**T7:** P80S0

**T3:** P20S0

**T8:** P80S24

**T4:** P20S24

**T9:** P160S0

**T5:** P40S0

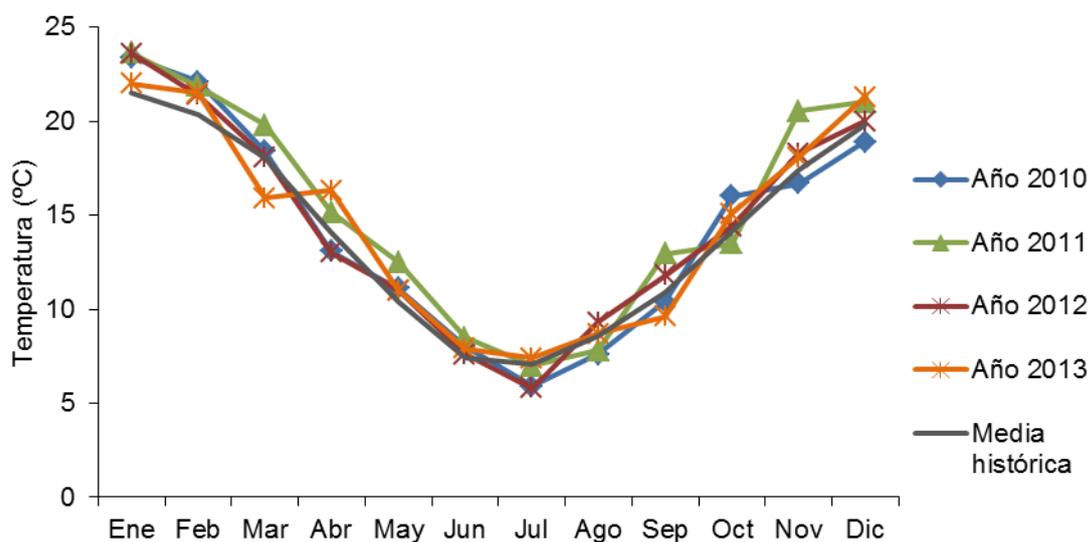
**T10:** P160S24

La fertilización se realizó al voleo previo a la siembra de la alfalfa, con una posterior incorporación a 1-2 cm de profundidad. Dado que las dos fuentes de fertilizantes utilizadas contenían N en su formulación y que éste podría presentar efectos sobre la FBN, en todos los tratamientos se agregó urea antes de la siembra a la cantidad de N del T10, donde se aplicaron 97 kg N ha<sup>-1</sup> y de este modo uniformar el probable efecto en todos los tratamientos. El período de estudio abarcó desde 2010 hasta 2014, con cuatro ciclos productivos: ciclo 1 (septiembre 2010-junio 2011), ciclo 2 (septiembre 2011-junio 2012), ciclo 3 (septiembre 2012-junio 2013) y ciclo 4 (septiembre 2013-junio 2014).

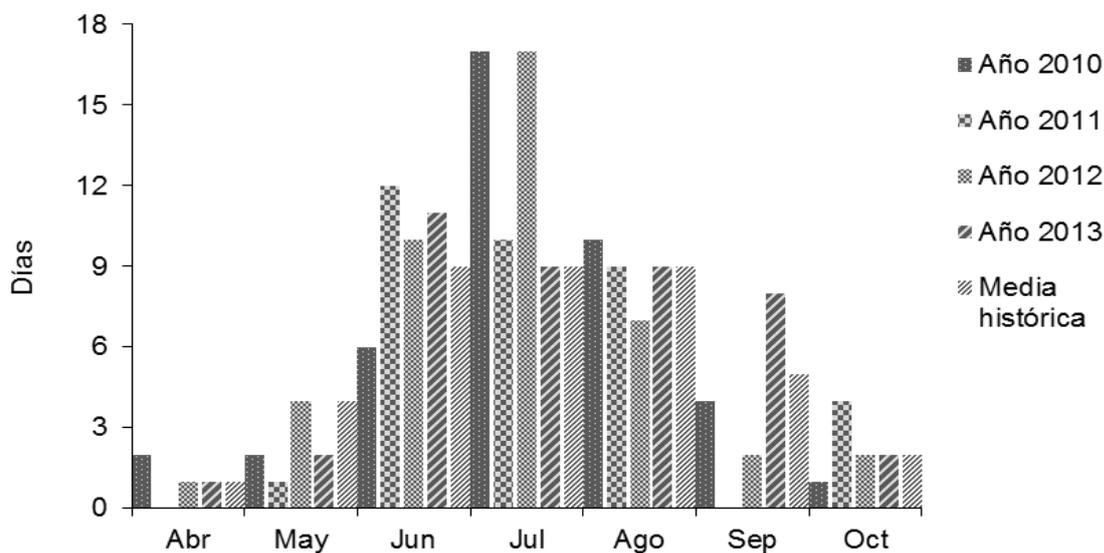
### **Información climática del período de estudio**

En la zona del VIRN el mayor crecimiento y desarrollo del cultivo de alfalfa se produce en el mes de octubre; si las condiciones de temperatura no son las adecuadas puede retrasarse tanto el crecimiento como la fecha del primer corte. Durante este estudio la temperatura media de octubre del primer ciclo fue de 16 °C con una helada mensual, mientras que en 2011 fue de 13,5 °C, con cuatro heladas.

En el 2012 se registró una T° media de 14,4 °C y dos heladas, mientras que en 2013 la media fue 15,1 °C y dos heladas (Figura 6 y 7).



**Figura 5.** Temperatura media mensual del período 2010-2013 y media histórica del período 1965-2015. Fuente: Estación meteorológica de la EEA Valle Inferior.



**Figura 6.** Número de días con heladas del período 2010-2013 y media histórica del período 1965-2015. Fuente: Estación meteorológica de la EEA Valle Inferior.

### Manejo de cultivo

El cultivar de alfalfa utilizado fue CW 830, perteneciente a un grado de reposo invernal (GRI) 8, se sembró con labranza convencional el 15/04/2010 (sembradora experimental con distanciamiento de 17,5 cm entre hileras y densidad de siembra,

18 kg ha<sup>-1</sup>). Este cultivar presenta alta resistencia a enfermedades como Fusariosis, Antracnosis y Fitoftora, moderada resistencia al marchitamiento bacteriano y alta resistencia a pulgón verde, moteado y azul (Spada, 2012).

El sistema de riego, utilizado durante el período de estudio, fue gravitacional en “manto o melgas”. El cultivo acumuló 1.502, 1.442, 1.187 y 1.219 mm de agua como riego más precipitaciones en los ciclos 1 a 4 respectivamente (Tabla 3). El ciclo 1 recibió más agua en comparación con los restantes, dado que durante la implantación del cultivo (abril-mayo) se realizaron dos riegos.

**Tabla 3.** Cantidad de agua recibida por el cultivo (mm).

	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Total
Riego (mm)*	1.200	1.080	960	960	4.200
Precipitación (mm)	302	342	227	259	1.130
Total (mm)	1.502	1.422	1.187	1.219	5.330

\*Se estima que cada riego aporta 120 mm.

El agua utilizada para los riegos fue derivada del río Negro a través del sistema de riego administrado por el Consorcio de Riego del Valle Inferior. Según el Departamento Provincial de Agua (DPA, 2012 y 2016) el agua presenta las siguientes características químicas:

-pH: 7,4 a 8,6

-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: 17,9 a 35,4 mg L<sup>-1</sup>

-P total: 0,03 a 0,04 mg L<sup>-1</sup>

-Mg<sup>2+</sup>: 2,8 a 5,4 mg L<sup>-1</sup>

-K<sup>+</sup>: 1,1 a 1,7 mg L<sup>-1</sup>

El control de malezas de hoja ancha y gramíneas se realizó durante el período de implantación al final del invierno (agosto) mediante la utilización de los siguientes herbicidas: Bromoxinil (34,9%): 800 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> Flumetsulan (12%): 300 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y Haloxifop R-metil éster (3,1%): 2.000 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

## Determinaciones en el cultivo

### *Producción de forraje*

Se realizaron 6 cortes en cada ciclo de la pastura, con excepción del tercer ciclo en el que se realizaron 5. En cada uno de los cortes se evaluó la producción de

MS en 4,35 m<sup>2</sup> centrales de cada parcela y se utilizó una cosechadora experimental de parcelas auto propulsada (altura de corte=4 cm). Los cortes se efectuaron en forma simultánea en todos los tratamientos cuando el cultivo alcanzó el 10% de floración o bien cuando presentó 3-5 cm de rebrote basal en la corona (Tabla 4). El material vegetal de cada corte se pesó en fresco y luego se secó en estufa (60°C) con circulación de aire forzado hasta peso constante para la determinación del peso seco. La MS acumulada se estimó mediante la sumatoria en cada ciclo de producción. La producción de forraje se expresó en Mg MS ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 4.** Fechas de cortes en cada uno de los ciclos productivos.

Corte/Ciclo	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4
1º	16/11/2010	28/10/2011	03/12/2012	25/10/2013
2º	16/12/2010	05/12/2011	07/01/2013	24/11/2013
3º	19/01/2011	06/01/2012	15/02/2013	06/01/2014
4º	18/02/2011	03/02/2012	15/04/2013	05/02/2014
5º	07/04/2011	29/03/2012	07/06/2013	10/03/2014
6º	16/05/2011	17/05/2012	-	13/05/2014

### ***Proteína bruta***

Los cortes 1 y 2; 3 y 4; 5 y 6 se realizaron en las estaciones de primavera, verano y otoño respectivamente para los dos primeros ciclos de evaluación. Debido a que las mayores diferencias en PB se presentan entre estaciones, solo las muestras de alfalfa obtenidas en los cortes 2, 4, y 6 de los dos primeros ciclos, se molieron con molino Wiley (tamiz de 1 mm) para la posterior determinación de N total por el método semimicro Kjeldahl (Bremner, 1996). Posteriormente, se estimó el porcentaje de PB como producto del valor de N total por el factor 6,25 (Machado y Dávila, 1997).

### ***Análisis nutricional***

Sobre el material vegetal obtenido en cada uno de los 6 cortes de los ciclos 1 y 2, se determinó la concentración de N, P, K, S, Ca y B totales. Con excepción del N, que se determinó por el método semimicro Kjeldahl, los restantes nutrientes se extrajeron mediante una digestión húmeda con ácido nítrico y perclórico (HNO<sub>3</sub>-

HClO<sub>4</sub>) (Johnson y Ulrich, 1959) para la determinación posterior de cada elemento mediante espectrometría de emisión por plasma. La concentración de cada nutriente en el material vegetal se expresó como porcentaje (%), la cual se multiplicó por los valores de forraje producido en cada corte. Para determinar el contenido acumulado de nutriente por ciclo, se sumaron los contenidos de nutrientes de cada corte. Estos valores se expresaron en kg N, P, K, S, Ca y B, ha<sup>-1</sup>.

### **Determinaciones en el suelo**

El muestreo de suelo se realizó durante los dos primeros ciclos debido a que en principio era el tiempo máximo de la experiencia. A posterior se decidió incorporar 2 años más de evaluación de producción de forraje.

En todos los tratamientos se extrajeron muestras de suelo para determinar COT, COP y contenido de P y S totales (Pt y St) en la fracción particulada o gruesa. Las muestras de suelo se extrajeron a los 0-5, 5-10 y 10-20 cm de profundidad al inicio del ensayo y al final del primer y segundo ciclo. En todos los casos el suelo se secó al aire, se homogeneizó y se tamizó por 2 mm. Luego se sometió a un fraccionamiento físico por tamaño de partícula mediante tamizado en húmedo (Andriulo, 1990; Galantini, 2005). Previa dispersión mecánica durante 16 horas con agua destilada y bolitas de vidrio para favorecer la desagregación, el suelo se pasó por un tamiz de 100 µm de abertura de malla, con agua destilada hasta que el agua de lavado quedó límpida. Así se obtuvo una fracción gruesa (FG), de 100 a 2000 µm, donde se encuentran la arena y la MO menos transformada, joven o particulada (MOP). La FG se secó en estufa a 105°C y se homogeneizó con mortero para su posterior análisis. A posteriori se realizaron las siguientes determinaciones:

En el suelo tamizado por 2 mm:

- COT por combustión seca (1500°C) con analizador automático LECO.

En la FG:

- COP por combustión seca (1500°C) con analizador automático LECO. Los valores se expresaron como porcentaje del suelo entero.
- El Pt y St se extrajeron con HClO<sub>4</sub> (Sommers y Nelson, 1972) y posterior determinación mediante espectrometría de emisión por plasma. Los valores se expresaron como porcentaje del suelo entero.

Para obtener el contenido de MOP el valor de COP se multiplicó por 2, asumiendo que los residuos que componen esta fracción contienen aproximadamente 50% de C (Galantini *et al.*, 1994).

Las concentraciones de COT, COP, Pt y St, se expresaron como cantidades (Mg o kg ha<sup>-1</sup>) y se consideró la densidad aparente (DAP) del suelo determinada en cada caso y la profundidad correspondiente. La DAP se determinó mediante el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986).

Al final del segundo ciclo se calcularon dos relaciones (r) o índice de estratificación del carbono a partir de la concentración de COP medida a la profundidad 0-5 cm dividido la correspondiente a 5-20 cm (r1), como así también la relación de estratificación de las profundidades 0-10 y 10-20 cm (r2).

### Análisis estadístico

El análisis de las variables de producción de forraje, proteína bruta, concentración y contenido nutricional se realizó mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ijklm} = \mu + \gamma_i + \Omega_j + (\gamma\Omega)_{ij} + \beta_k + E1_{ijk} + \pi l + \sigma_m + (\pi\sigma)_{lm} + (\gamma\pi)_{il} + (\gamma\sigma)_{im} + (\Omega\pi)_{jl} + (\Omega\sigma)_{jm} + (\gamma\Omega\pi)_{ijl} + (\gamma\Omega\sigma)_{ijm} + (\gamma\pi\sigma)_{ilm} + (\Omega\pi\sigma)_{jlm} + (\gamma\Omega\pi\sigma)_{ijklm} + E2_{ijklm}$$

Donde:

$\mu$ : es media general

$\gamma_i$ : efecto del ciclo

$\Omega_j$ : efecto del corte

$\beta_k$ : efecto del bloque

$E1_{ijk}$ : error de tipo 1

$\pi l$ : efecto del tratamiento con fósforo

$\sigma_m$ : Efecto del tratamiento con azufre

$E2_{ijklm}$ : error de tipo 2

$(\gamma\Omega\pi\sigma)_{ijklm}$ : interacciones

El modelo estadístico utilizado para analizar las variables edáficas fue el mismo, con excepción del efecto de los cortes, que no existió.

La evaluación estadística de las variables de la producción de forraje, proteína bruta y concentración de los nutrientes en el forraje se realizó mediante

ANOVA, donde el factor principal fueron los tratamientos de fertilización, el factor secundario los cortes y se repitió en los ciclos. Cuando se encontró interacción significativa entre las 3 variables, se analizó cada ciclo productivo por separado. En cada ciclo se realizó un ANOVA doble donde los tratamientos fueron la variable principal y los cortes el factor secundario. En los casos en que nuevamente se encontró interacción significativa entre tratamiento y corte, se analizó cada corte por separado.

En los casos de interacción significativa entre los cortes y el efecto de la fertilización se calculó el  $\text{Eta}^2$ , definido como la proporción de la varianza asociada o explicada por cada uno de los efectos principales, interacciones, y/o errores en un análisis de ANOVA (Thompson, 2006). En los casos donde la proporción de la varianza explicada por la fertilización fue baja, se analizó el efecto combinado de la fertilización con P+S, sin tener en cuenta la interacción entre los dos nutrientes.

Para la evaluación de los resultados del contenido acumulado de los distintos nutrientes, se realizó un ANOVA entre las variables tratamiento y ciclo. Cuando existió interacción significativa, se analizó cada ciclo por separado.

Se utilizó el test de Dunnett al 5% (a 1 cola) para la comparación de los valores medios de producción de forraje y proteína bruta. Se procedió de esta forma debido a que a priori los tratamientos con fertilización aumentarían la producción de forraje y PB respecto al tratamiento testigo. En cambio el contenido de nutrientes se analizó mediante el test de Dunnett al 5% (a 2 colas).

Cuando se analizaron los datos de los parámetros del suelo y sus fracciones, se plantearon contrastes ortogonales, donde se comparó: a) fertilización (suelo testigo vs fertilizado) y b) dentro de fertilización (fertilización con y sin S). Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas a nivel de  $p \leq 0,05$ . Para la comparación estadística de las medias del tratamiento testigo al inicio, final del primer y segundo ciclo se utilizó la prueba de t-Student al 5% (a 2 colas).

En todos los casos se verificó el cumplimiento de los supuestos del modelo lineal (normalidad de las variables y homocedasticidad de las varianzas). Para la verificación de la normalidad de las variables se realizó el gráfico Q-Q plot normal y la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificado (a una cola). La homocedasticidad se verificó mediante el gráfico de dispersión. Se utilizó el software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **FERTILIZACIÓN CON P Y S SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LA ALFALFA**

En la sección siguiente se presentarán los datos de producción de forraje en cada uno de los cortes realizados en los distintos ciclos para el tratamiento testigo y el rango de valores que oscilaron los tratamientos. Posteriormente se presentará la producción acumulada en cada ciclo. Debido a la gran cantidad de valores en cada ciclo y corte, en la sección del anexo Tabla 17 se presentarán las medias de cada tratamiento con su respectivo análisis estadístico.

#### **Producción de forraje por corte**

La fertilización combinada de P+S presentó efectos diferenciales en los ciclos, así como en los distintos cortes de cada ciclo, verificándose una interacción triple entre tratamiento \* ciclo\* corte ( $p < 0,0001$ ).

Del análisis de los cortes dentro del ciclo, se observó que la respuesta a la fertilización fue diferente para cada tratamiento, verificándose una interacción corte \* tratamiento ( $p < 0,0001$ ). En función de estos resultados se realizó un análisis por separado de cada corte a través de los 4 ciclos.

El efecto de los cortes mostró valores de  $\text{Eta}^2 = 92; 90; 84$  y  $42\%$  para los ciclos 1 a 4 respectivamente mientras que la fertilización con P y S exhibió valores de  $\text{Eta}^2 = 1; 1; 3$  y  $11\%$  para los ciclos 1 a 4 respectivamente. Dados los bajos valores de los tratamientos, éstos se analizaron como fertilización combinada, sin tener en cuenta la interacción significativa entre nutrientes.

En la Tabla 5 se presenta para cada ciclo y en cada corte la producción media del testigo y el rango de producción media de los tratamientos incluido el testigo. En el ciclo 1 la producción de forraje del testigo en los cortes 1 al 4 de primavera y verano presentó valores similares ( $4,2-4,8 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ ). En otoño, se obtuvieron valores inferiores ( $1,8-2,8 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ ) en los cortes 5 y 6 respectivamente (Tabla 5). Spada (2014) comunicó resultados similares en la EEA Valle Inferior con valores promedio de  $4,8 \text{ Mg MS ha}^{-1}$  en primavera-verano y  $1,2 \text{ Mg MS ha}^{-1}$  en otoño, para diferentes cultivares de alfalfa.

La producción de primavera y verano representó el 80% del acumulado en el ciclo; las mejores condiciones ambientales de temperatura y fotoperíodo explicarían las diferencias encontradas (Brown y Radcliffe, 1986; Quiroga Garza, 2013). Arolfo y Odorizzi (2015 y 2016) observaron que en Viedma, las alfalfas de grados de reposo 8 a 10 alcanzaron producciones de primavera + verano del 85 y 87 % respectivamente.

En los cortes 2 y 5, el tratamiento P80S24 mostró respuestas estadísticamente significativas ( $p= 0,0141$  y  $p= 0,0050$  respectivamente) con 13 y 11% más de MS que el testigo. En el corte 6 el tratamiento P80S0 produjo 18% más de forraje que el testigo (Anexo Tabla 17). La fertilización con altas dosis de P sería responsable del mayor desarrollo radical que favorecería el mejor aprovechamiento de los recursos nutricionales del suelo (Christian, 1977; Reetz, 1980).

**Tabla 5.** Producción de forraje por corte para los ciclos 1 al 4 del tratamiento testigo. Media y rango de los tratamientos fertilizados y testigo ( $\text{Mg MS ha}^{-1}$ ).

$\text{Mg MS ha}^{-1}$									
Ciclo 1			Ciclo 2		Ciclo 3		Ciclo 4		
Cortes	Testigo	Rango	Testigo	Rango	Testigo	Rango	Testigo	Rango	
1°	4,8	4,4 – 5,0	3,3 *	3,1 - 4,2	2,8 *	2,8 - 3,9	2,8 *	2,8 - 3,9	
2°	4,2 *	4,0 - 4,7	4,5 *	4,5 - 5,5	3,2 *	2,9 - 3,9	3,6	2,5 - 3,8	
3°	4,3	4,0 - 4,6	4,5	4,3 - 5,2	4,2 *	4,0 - 5,6	3,4	2,8 - 4,5	
4°	4,4	3,9 - 4,6	3,3	2,9 - 3,7	1,6 *	1,6 - 2,4	4,9 *	3,5 - 5,1	
5°	2,8 *	2,7 - 3,1	2,4 *	2,4 - 3,1	0,9	0,7 – 1,0	3,9	2,7 - 4,4	
6°	1,8 *	1,7 - 2,1	1,3 *	1,3 - 1,9	-	-	2,0 *	1,5 - 2,7	

\* en cada columna indica diferencia significativa de los tratamientos ( $p<0,05$ ) respecto al testigo, según test de Dunnett.

En el ciclo 2, la producción del testigo en los cortes 1 a 4 fue menor que en el ciclo 1, y osciló entre 3,3 y 4,5  $\text{Mg MS ha}^{-1}$ . Los valores de los cortes 5 y 6 de otoño fueron 2,4 y 1,3  $\text{Mg MS ha}^{-1}$  (Tabla 5). En este ciclo, tanto en los cortes de primavera como en los de otoño se observaron diferencias significativas de tratamientos respecto al testigo (Tabla 5). Aplicaciones de altas dosis de P con o sin S y de S únicamente, produjeron 20% de aumento en la producción de forraje en los cortes 1 y 2 y 30 - 50% de aumento en los cortes 5 y 6 (Anexo Tabla 17).

El acortamiento del fotoperíodo y el descenso de la temperatura durante el otoño disminuyen el crecimiento del cultivo de alfalfa (Sharratt *et al.*, 1986, 1987; Ponce, 2014). No obstante, en el presente estudio la fertilización fósforoazufrada contribuyó a generar una mayor producción de forraje respecto del testigo ( $p = 0,0015$  y  $0,0005$  para cortes 5 y 6 respectivamente) (Anexo Tabla 17).

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Quiñonez *et al.* (2008) con fertilización fósforoazufrada durante dos ciclos, quienes encontraron respuestas en otoño al agregado de  $40 \text{ kg P}$  y  $25 \text{ kg S ha}^{-1}$  entre los cortes 6 a 8 del segundo ciclo. En condiciones de secano, Fontanetto y Bianchini (2007) observaron respuestas en forraje al agregado de altas dosis de P y S en el primero y segundo ciclo productivo de la alfalfa. En 2010, Fontanetto *et al.* comunicaron respuestas en la producción entre el tercero y el undécimo corte, cuando aplicaron  $60 \text{ kg de P}$  y  $36 \text{ kg de S ha}^{-1}$ . En ambos casos las respuestas se asociaron al agregado de Ca para aumentar el pH del suelo y en consecuencia al incremento de la disponibilidad de P.

El ciclo 3 fue el único en el que se realizaron 5 cortes, debido a que no se pudo realizar un corte más de primavera por el ataque sufrido por liebres (*Lepus europaeus P.*), sumado a que fue el ciclo que menos agua recibió. Estos dos factores resultaron en una disminución en el forraje producido durante este ciclo. Los cortes se distribuyeron: el primero en primavera, el segundo y tercero en verano y el cuarto y quinto en otoño. En todos los cortes se observó menor producción de forraje que en los ciclos 1 y 2 (Tabla 5). La producción de los cortes efectuados en primavera y verano representaron el 80% del forraje total. En los cortes 1, 2 y 3, los tratamientos que se diferenciaron del testigo fueron los que recibieron altas dosis de P ( $80$  y  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) independientemente del nivel de S (Anexo Tabla 17). Estos tratamientos produjeron en promedio 31% más que el testigo, con incrementos que oscilaron entre 21 y 40%. El corte 4 de otoño, fue sensible a P y S y produjo incrementos de forraje del 25 al 50% respecto al testigo (Anexo Tabla 17). Según diversos autores (Berardo y Marino, 1993; García *et al.*, 1999; Gordon Mendoza *et al.*, 2016), la fertilización fosfatada tiene un efecto residual importante sobre la producción de alfalfa a lo largo de tres años de cultivo.

En el ciclo 4 se realizaron seis cortes; los dos primeros se efectuaron en primavera, el tercero, cuarto y quinto en verano y sólo el sexto se realizó en otoño. En la época estival, las condiciones climáticas con aumentos de temperatura y el fotoperíodo en disminución, podrían haber acelerado el desarrollo fenológico de la

alfalfa acortando el intervalo entre cortes. La reducción del intervalo entre cortes pudo haber estado asociada a la disminución de la producción por corte.

Esto concuerda con lo observado por Fick *et al.* (1988) quienes en el período invierno-primavera detectaron incrementos de la tasa de crecimiento de la alfalfa cuando se incrementó el fotoperíodo hasta las 13 horas luz; luego comenzó a disminuir el fotoperíodo y también decreció el número de días necesarios para alcanzar la etapa reproductiva.

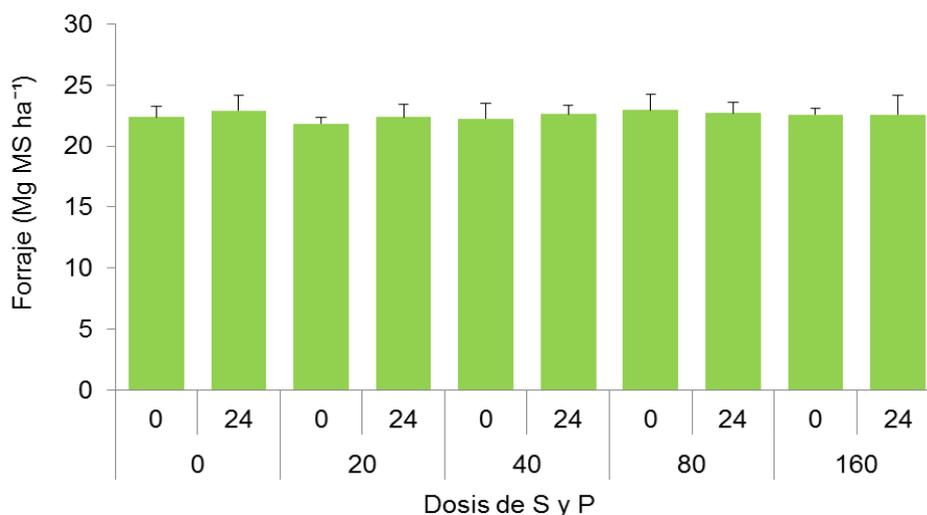
En el período correspondiente a los cinco cortes de primavera y verano se produjo el 89% del forraje total del ciclo, cifra muy similar a la citada por Arolfo y Odorizzi (2015 y 2016). Sólo los cortes 1, 4 y 6 mostraron diferencias respecto al tratamiento sin fertilizante, con altas dosis de P, con respuestas entre 33 y 40% (Tabla 5 y Anexo Tabla 17).

## **Producción de forraje acumulado**

### *Primer ciclo*

En el período septiembre 2010-junio 2011, la alfalfa acumuló en promedio 22,5 Mg MS ha<sup>-1</sup> con valores semejantes en todos los tratamientos, y mayores a los obtenidos por Spada (2011) en el mismo sitio experimental (Figura 7). El coeficiente de variación (CV) de la producción de este ciclo fue 1%.

En el primer ciclo la falta de respuesta en la acumulación total del forraje podría atribuirse a la adecuada concentración de P del suelo al inicio del ensayo (14 ppm) (Tabla 5 y Anexo Tabla 17). En este sentido Quinteros y Boschetti (2005) informaron que cuando los niveles de P-Bray eran mayores de 12 ppm, dosis de 40-160 kg P ha<sup>-1</sup> produjeron incrementos de 0-18% en la producción de forraje promedio. Sin embargo cuando el P Bray fue menor a 12 ppm, el forraje aumentó 20-80% para las mismas dosis. En este ensayo el P extractable del suelo se determinó por el método de Olsen; según este método el nivel crítico se ubica en 10 ppm, con una correlación con el P Bray cercana al 90% (Bachmeier y Rollán, 1994; Zalba *et al.*, 2002).



**Figura 7.** Efecto del P y S sobre la producción de forraje acumulado anualmente (Mg MS ha<sup>-1</sup>) para el ciclo 1. Dosis de S: 0 y 24 kg ha<sup>-1</sup> y P: 0, 20, 40, 80 y 160 kg ha<sup>-1</sup>. Barras indican desvío estándar.

Hernández *et al.* (1984) y Acuña *et al.* (1991) en condiciones de riego y seco, y niveles medios a altos de P inicial en el suelo, no encontraron respuesta en la cantidad de forraje acumulado en el primer ciclo con el agregado de dosis crecientes de P (0 a 132 kg P ha<sup>-1</sup>) y S (0 a 120 kg P ha<sup>-1</sup>). Berardo *et al.* (2007) observaron bajas respuestas a la aplicación de 50 y 100 kg P ha<sup>-1</sup> a la siembra respecto al testigo durante el primer ciclo del cultivo, en un suelo Argiudol profundo sin riego. Estos autores concluyeron que la escasa respuesta podría atribuirse a niveles suficientes de P disponible al inicio del experimento, tanto como la mayor tasa de mineralización de la materia orgánica en primavera-verano, que podría haber aumentado la disponibilidad de P edáfico.

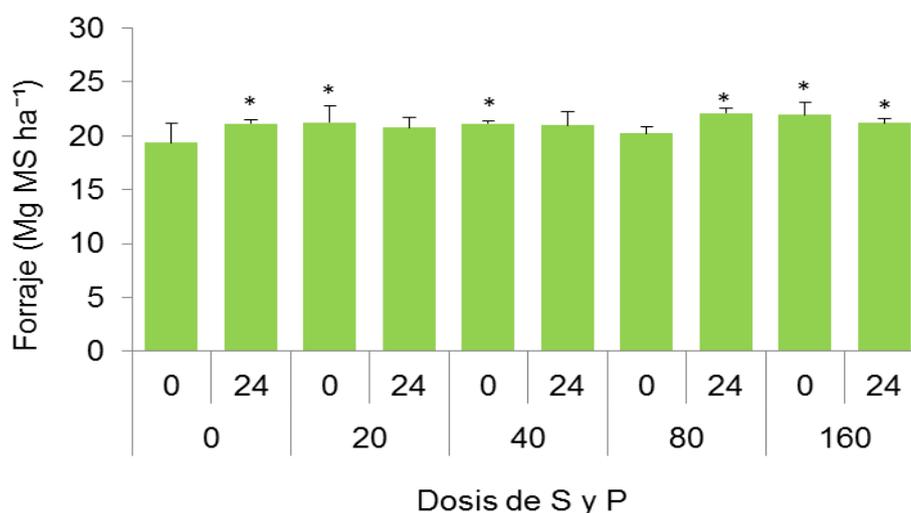
Por el contrario, Vivas *et al.* (2010) y Fontanetto *et al.* (2010) informaron incrementos en la producción de forraje acumulado con el agregado de P y S en cuencas tamberas de Santa Fe. En Argiudoles y Vertisoles con textura similar a la del presente estudio, sin manejo del riego y con niveles de P inicial menores de 12 ppm, Quinteros *et al.* (1995) con dosis de 8 y 64 kg P ha<sup>-1</sup> encontraron en pasturas de alfalfa-gramíneas respuestas a la fertilización fosforada que oscilaron entre 24 y 90% respecto al testigo.

En un suelo con 4 y 14 ppm de S y P asimilables respectivamente, Carta *et al.* (2001) observaron incrementos en la producción acumulada de forraje de alfalfa entre 54 y 89%, con el agregado de dosis crecientes de 25 a 100 kg P ha<sup>-1</sup>. Estos

autores en un estudio similar, detectaron un incremento del 30% en la producción acumulada de forraje cuando aplicaron 30 kg S ha<sup>-1</sup>.

### Segundo Ciclo

Todos los tratamientos produjeron menor cantidad de forraje que en el primer ciclo y la producción acumulada del testigo fue de 19,4 Mg MS ha<sup>-1</sup> (Figura 8). Los tratamientos P20S24, P40S24 y P80S0 fueron semejantes al testigo ( $p > 0,05$ ). Todos los tratamientos con P produjeron respuesta en la producción de forraje, con un promedio de 21,4 Mg MS ha<sup>-1</sup> (CV 4%), equivalente a un incremento del 11%. Si bien en los cortes de otoño se observaron diferencias que oscilaron entre 30 y 50% en los tratamientos con altas dosis de P, la producción de forraje en esta época del año no superó el 20% del total del ciclo.



**Figura 8.** Efecto de P y S sobre la producción de forraje acumulado anualmente (Mg MS ha<sup>-1</sup>) para del ciclo 2. Dosis de S: 0 y 24 kg ha<sup>-1</sup> y P: 0, 20, 40, 80 y 160 kg ha<sup>-1</sup>. \* indica diferencias significativas de los tratamientos ( $p < 0,05$ ) respecto al testigo, según test de Dunnett. Barras indican desvío estándar.

Acuña *et al.* (1991) y Berardo *et al.* (2007) encontraron respuesta al agregado de P cuando evaluaron la producción de forraje acumulado en el segundo ciclo. En este último caso, se obtuvo un incremento del 67% respecto del testigo luego de la aplicación de 50 y 100 kg de P.

En un ensayo bajo riego y con 28 ppm de P asimilable a la siembra, Hernández *et al.* (1984) no encontraron respuesta en el forraje acumulado en el

segundo ciclo productivo del cultivo de alfalfa fertilizado con 85 kg P ha<sup>-1</sup>. Los autores atribuyeron estos resultados al alto contenido de P inicial.

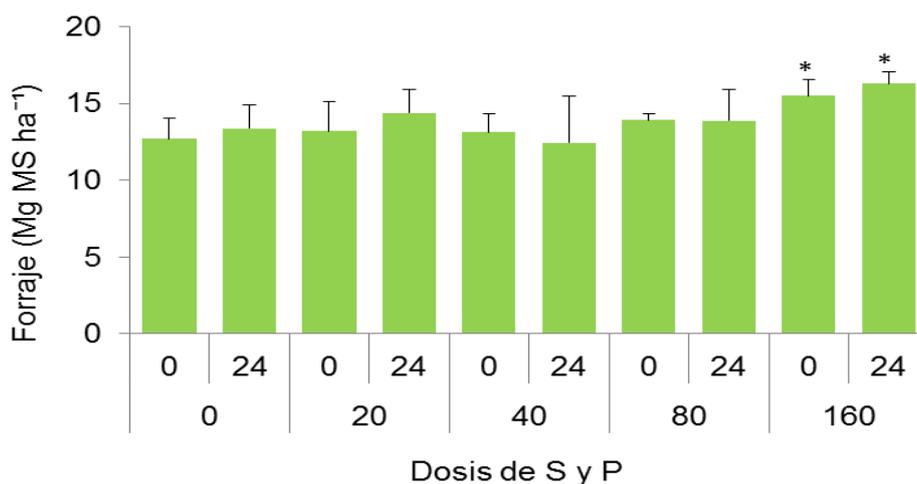
En el presente trabajo, la mayor producción de forraje que generó la aplicación de 24 kg S ha<sup>-1</sup> difiere de lo observado por Sardiña y Barraco (2013). Estos autores en un Hapludol típico franco arenoso con 3 ppm de S disponible, no encontraron respuestas al agregado de 20 kg S ha<sup>-1</sup> en la producción de alfalfa tanto en los 4 cortes como en la producción acumulada del ciclo.

### *Tercer Ciclo*

La producción de forraje acumulado (en 5 cortes) promedio de todos los tratamientos fue de 13,8 Mg MS ha<sup>-1</sup> (CV 9%), inferior a los ciclos anteriores debido probablemente al daño causado por las liebres durante la primavera y a que recibió menos agua durante el ciclo productivo (Tabla 4).

Sólo los tratamientos P160 con y sin S, produjeron diferencias en comparación con el testigo (12,7 Mg MS ha<sup>-1</sup>); la producción promedio fue de 15,9 Mg MS ha<sup>-1</sup>, equivalente a un aumento del 25% (Figura 9). Estos resultados son coincidentes con los observados por Hernández *et al.* (1984), en un ensayo bajo riego con una pastura de alfalfa, quienes no detectaron aumentos de forraje en los dos primeros ciclos cuando fertilizaron con 85 kg P ha<sup>-1</sup>; sin embargo en el tercer ciclo, detectaron un incremento del 21% del forraje acumulado.

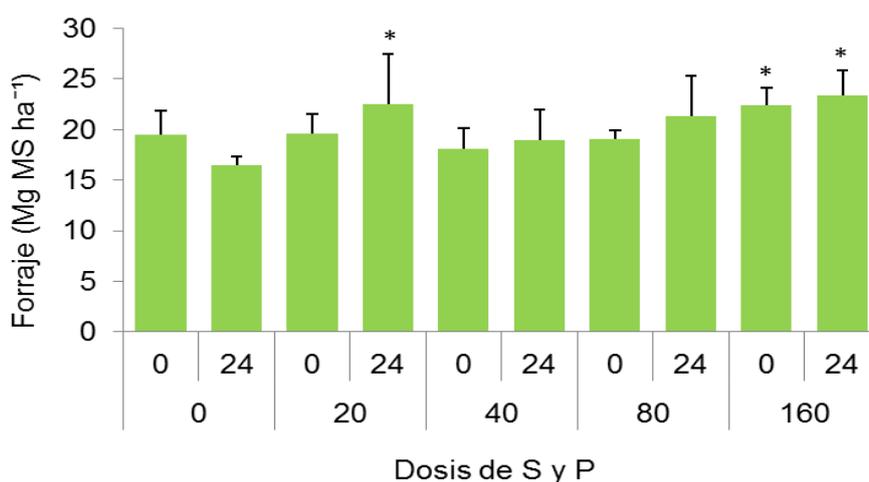
En el presente trabajo, debido a que durante los dos primeros años del estudio el cultivo extrajo cantidades de P que superaron las dosis más bajas aplicadas, sólo se encontraron diferencias con las dosis más altas (P160).



**Figura 9.** Efecto de P y S sobre la producción de forraje acumulado anualmente (Mg MS ha<sup>-1</sup>) para el ciclo 3. Dosis de S: 0 y 24 kg ha<sup>-1</sup> y P: 0, 20, 40, 80 y 160 kg ha<sup>-1</sup>. \* indica diferencias significativas de los tratamientos (p<0,05) respecto al testigo, según test de Dunnett. Barras indican desvío estándar.

#### Cuarto Ciclo

La producción de forraje promedio de todos los tratamientos fue de 20,1 Mg MS ha<sup>-1</sup> (CV: 11%), equivalente a un incremento del 7% con referencia a lo reportado en la región del VIRN (Figura 10). Los tratamientos P20S24, P160S0 y P160S24 produjeron 17% más de forraje que el testigo.



**Figura 10.** Efecto de P y S sobre la producción de forraje acumulado anualmente (Mg MS ha<sup>-1</sup>) para el ciclo 4. Dosis de S: 0 y 24 kg ha<sup>-1</sup> y P: 0, 20, 40, 80 y 160 kg ha<sup>-1</sup>. \* indica diferencias significativas de los tratamientos (p<0,05) respecto al testigo, según test de Dunnett. Barras indican desvío estándar.

Es probable que un porcentaje importante del P aplicado se haya adsorbido/precipitado en el suelo, debido al pH ligeramente alcalino y a la presencia de  $\text{CaCO}_3$  en el suelo (Tabla 2). Las dosis altas de P favorecerían la precipitación del  $\text{PO}_4^{3-}$  como  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  insoluble (Freeman y Rowell, 1981; Delgado y Torrent, 2000). No obstante, la fertilización con P aumentó la producción de forraje acumulado en tres de los cuatro ciclos productivos (Figuras 8, 9 y 10). Similares resultados obtuvieron Berardo (1998), García *et al.* (1999) y Berardo y Marino (2000) quienes observaron respuestas en ciclos posteriores a la implantación. Malhi *et al.* (2008) encontraron aumentos en el forraje de alfalfa después de cinco ciclos, con dosis de P similares a las utilizadas en el presente estudio.

En la región del VIRN, Zabala (1997) en un suelo franco-franco arcilloso (serie Chacra), con 5 ppm de P asimilable, encontró diferencias en la producción de forraje al agregado de  $20 \text{ kg P ha}^{-1}$  respecto al testigo durante el quinto ciclo productivo en una alfalfa. Estas respuestas se dieron en el primer y segundo corte, y en el acumulado del ciclo.

### **Conclusión parcial**

La fertilización combinada con P+S incrementó la producción anual acumulada de forraje a partir del 2º ciclo de estudio; en el 3º y 4º ciclo únicamente las dosis más altas de P (con y sin S) produjeron los mayores aumentos de forraje.

### **Proteína bruta**

El análisis estadístico de los resultados indica un comportamiento distinto en los dos ciclos productivos evaluados (interacción tratamiento \* corte \* ciclo,  $p < 0,0003$ ) y también para cada corte (2, 4 y 6) en los 2 ciclos (interacción corte \* tratamiento,  $p < 0,0001$ ).

En los dos ciclos los valores de PB oscilaron entre 16 y 24%, situándose estos valores como indicativos de forraje de calidad. En el ciclo 1 los porcentajes aumentaron entre los cortes 2 y 6, con promedios de 19,8 y 26,5% respectivamente (CV: 8 y 4% para el corte 2 y 6) (Tabla 6), tendencia contraria a la observada en la producción de forraje (Anexo Tabla 17). Es posible deducir que la mayor producción de forraje en los cortes de primavera y verano tendió a diluir el N. En el corte 2, seis

de los tratamientos evaluados mostraron diferencias significativas respecto del testigo, mientras que en el 6, siete de ellos fueron diferentes a POS0. En ambos cortes los tratamientos que se diferenciaron del testigo produjeron en promedio 15 y 8% más de PB respectivamente.

El aumento de la PB entre los cortes 2 al 6 también se observó en el ciclo 2. El forraje presentó 17,7% de proteína en el corte 2 (CV: 7%) y 20,4% en el 6 (CV: 18%). En este ciclo, sólo en el corte 6 se produjeron diferencias significativas a la fertilización cuando las dosis de P fueron mayores de 40 kg ha<sup>-1</sup>. En este caso los tratamientos con respuesta a la fertilización mostraron 39% más de PB que el testigo.

En ambos ciclos, el corte 4 realizado en verano, no mostró efecto de los tratamientos sobre el contenido de PB (CV: 8%), con porcentajes intermedios entre el corte 2 y 6. Probablemente la temperatura ambiente del verano aceleró el proceso de madurez fisiológica de la planta y aumentó así el contenido de pared celular, produciéndose un efecto dilución de N en el tejido (Lemaire *et al.*, 1985, Juárez-Hernández y Bolaños-Aguilar, 2007). Dalla Fontana *et al.* (2007) informaron que las menores concentraciones de PB se dan en la época estival, mientras que las mayores se detectan en el período otoño-invernal, independientemente de los tratamientos aplicados, obteniéndose los mayores niveles de fibra detergente ácida en verano.

En el presente trabajo el corte 6 fue el que presentó mayor porcentaje de PB (Tabla 6), y en el que se observaron mayores diferencias a la fertilización con P y S. En la producción ganadera el conocimiento de la cantidad de forraje consumido por los animales y su calidad en términos del aporte proteico, es fundamental tanto para el crecimiento y desarrollo muscular (Broderick y Merchen, 1992; Broderick, 1996; Ellis *et al.*, 1999) como para la producción de leche (Kung y Huber, 1983). De allí la importancia de los resultados obtenidos en este estudio. Además en el mercado internacional del heno, la cantidad de PB en el forraje se traduce en mejores desembolsos económicos desde la industria hacia el productor agropecuario (A.E.F.A. 2014; Lloveras y Melines, 2015).

En la bibliografía existen trabajos realizados con el mismo cultivo, que muestran resultados contradictorios respecto del efecto de la fertilización combinada con P y S sobre la calidad del forraje. Hernández *et al.* (1984) no reportaron cambios significativos en el contenido de PB durante el primer ciclo; los cortes estivales

fueron los de menor PB, en comparación con los de primavera y otoño. Nescier y Dalla Fontana (2003) tampoco encontraron diferencias significativas en la concentración de PB durante los dos primeros cortes de primavera (septiembre y noviembre) cuando aplicaron 0, 9 y 18 kg P ha<sup>-1</sup>.

Sin embargo, Grewal (2010) en suelos ácidos, obtuvo respuestas en la concentración de PB en el forraje de alfalfa, cuando agregó 20 kg P ha<sup>-1</sup> y 20 kg S ha<sup>-1</sup>. En este caso los porcentajes incrementaron de 14,7 a 19% respecto del testigo, pero con fertilización suplementaria de Ca.

**Tabla 6.** Efecto de P y S sobre % de proteína bruta en los cortes de los ciclos 1 y 2.

Tratamientos		PB (%)					
		Ciclo 1			Ciclo 2		
		Corte 2	Corte 4	Corte 6	Corte 2	Corte 4	Corte 6
P0	S0	18,2	18,0	25,0	16,6	16,6	16,6
	S24	20,2 *	18,4	27,3 *	17,7	16,9	16,2
P20	S0	22,3 *	18,9	26,8 *	17,0	19,4	15,8
	S24	18,7	19,2	25,3	17,5	18,3	16,2
P40	S0	17,9	18,0	27,3 *	18,1	20,6	22,3 *
	S24	18,1	19,8	25,3	17,3	19,8	24,4 *
P80	S0	19,6 *	15,4	26,3 *	20,0	16,8	22,5 *
	S24	20,7 *	17,8	26,7 *	19,8	17,8	21,9 *
P160	S0	21,5 *	17,2	27,2 *	17,1	18,6	23,8 *
	S24	21,2 *	18,1	27,5 *	16,1	20,0	24,0 *
Media		19,8	18,1	26,5	17,7	18,5	20,4

\* en cada columna indica diferencias significativas de los tratamientos ( $p < 0,05$ ) respecto al testigo, según test de Dunnett.

### Conclusión parcial

Los tratamientos con P y S produjeron mayor porcentaje de PB en forraje respecto al testigo en los cortes de primavera y otoño. En la época estival cuando se presentaron los menores valores de PB, la fertilización no generó cambios en los porcentajes. Los mayores valores proteicos se observaron en otoño.

## **ANÁLISIS NUTRICIONAL DE LA ALFALFA**

En la sección siguiente se presentarán los datos de concentración de nutrientes en forraje en cada ciclo y en cada uno de los cortes realizados como promedio de todos los tratamientos. Posteriormente se presentará el contenido acumulado de nutrientes en cada ciclo. En la sección de anexos se presentarán los valores de concentración de nutrientes por cada corte y tratamiento con su respectivo análisis estadístico (Tablas 21 y 22).

### **Concentración de macro y micronutrientes en el forraje**

El efecto de la fertilización sobre la concentración de N, P, K, Ca, S y B fue diferente en los dos ciclos productivos y para cada corte (interacción entre las variables tratamiento \* corte \* ciclo  $p < 0,0002$  para N y  $p < 0,0001$  para P, K, Ca, S y B).

En el análisis de los datos por ciclo, la respuesta a la fertilización fue diferente para cada corte (interacción corte \* tratamiento  $p < 0,0001$  para N, P, K, Ca, S y B). Por ello se analizó cada corte por separado repetido en los dos ciclos.

El  $Eta^2$  calculado para el efecto de los tratamientos osciló entre 3 y 16% en los ciclos 1 y 2 para los nutrientes mencionados anteriormente, lo que indica que existe una baja proporción asociada o explicada por el agregado de P y S en cada ciclo, comparado con el efecto de los cortes donde los valores de  $Eta^2$  oscilaron entre 42 y 82%. Por lo tanto la variable tratamiento se analizó como fertilización combinada, sin considerar una posible interacción entre P y S (Anexo Tablas 21 y 22).

Los resultados que se presentan en las Tablas 7 y 8, corresponden al promedio de los 10 tratamientos en los 6 cortes y para los ciclos 1 y 2.

Los niveles de N, Ca y B en cada corte y ciclo se ubicaron en los rangos citados por Kelling (2000), Morón (2000) y Correndo y García (2012) considerados suficientes para cubrir las demandas nutricionales de estos elementos por parte del cultivo.

La concentración de N fue de 3,38% durante el primer ciclo y disminuyó a 2,88% en el segundo ciclo. El corte 6 de otoño en ambos ciclos, fueron los de menor rendimiento de forraje y los que mayor concentraciones de N presentaron (Tablas 7 y 8).

Los niveles de Ca, si bien fueron suficientes en ambos ciclos, su concentración promedio también disminuyó en el 2º ciclo, de 1,54 a 1,10%. En este ciclo se evidenció una tendencia a la disminución de los valores desde primavera (corte 1 y 2) a otoño (cortes 5 y 6) (Tabla 8). Esto se atribuiría a que la demanda y absorción de nutrientes presenta una tendencia similar a la tasa de crecimiento de la alfalfa. La mayor parte del Ca se acumula previo a la floración, antes que la pastura alcance la máxima producción de forraje; posteriormente disminuye la cantidad de nutriente requerido por la pastura (Marino y Agnusdei, 2004).

El B mostró mayores concentraciones en los cortes de primavera y verano del ciclo 2 respecto del ciclo 1. No obstante, con excepción del último corte del ciclo 2, los niveles de B en planta fueron suficientes e incluso con niveles que podrían ser considerados tóxicos para el cultivo (Correndo y García, 2012).

En el ciclo 1, las concentraciones de P, K y S fueron menores que los valores citados por la bibliografía (Koenig *et al.* 1999 y 2009; Kelling, 2000) (Tabla 7). En el ciclo 2, sólo en los cortes de primavera los valores se ubicaron dentro de los rangos de suficiencia (Tabla 8). La fertilización además de aumentar la producción de forraje en los cortes 2, 5 y 6 del primer ciclo, también incrementó la concentración de P en planta respecto al testigo en todos los cortes del mismo ciclo (Anexo Tabla 21). Estos resultados coinciden con lo observado por Marino y Berardo (1998) con dosis de 100 y 150 kg P ha<sup>-1</sup> que aumentaron la producción de forraje y los niveles de P en planta, aunque su concentración decrecía gradualmente durante el avance fenológico del cultivo, lo que evidenció el efecto de dilución de P en la planta. En el presente trabajo, la concentración de P en planta (promedio de tratamientos) se mantuvo constante entre los distintos cortes del ciclo, a excepción del sexto corte de otoño donde evidenció una mayor concentración de P en tejido y una baja producción de forraje (Anexo Tablas 17 y 21). Loewy y Ron (1992) observaron valores de P en planta por debajo del nivel de suficiencia, similares a los informados en el presente trabajo. Estos autores también reportaron que la fertilización fosfórica en el cultivo de alfalfa aumentó los niveles de P en planta en cada corte del ciclo.

El bajo nivel de P en la planta con escasa respuesta en la producción de forraje, se deberían a que parte del P aplicado podría haberse adsorbido/precipitado en el suelo, con pH ligeramente alcalino y a la presencia de CaCO<sub>3</sub> (Tabla 2).

Con referencia al S, el forraje de alfalfa presentó concentraciones de nutrientes inferiores a lo indicado por la bibliografía, sin embargo se encontraron respuesta a la fertilización en los cortes de primavera y otoño del ciclo 1. El incremento en la producción de forraje en esos cortes fue del 11 y 12% respectivamente. En este ciclo la respuesta a la fertilización azufrada se relacionó con alta dosis de P (P80) (Anexo Tabla 17). En el ciclo 2, el tratamiento P0S24 produjo aumentos equivalentes al 9% en la producción acumulada (Figura 8). Además en los diferentes cortes del ciclo se presentaron aumentos de forraje cuando se fertilizó con S y diferentes niveles de P (Anexo Tabla 17).

**Tabla 7.** Concentración de N, P, K, Ca, S (%) y B (mg kg) en el forraje. Ciclo 1. Promedio de tratamientos.

Cortes	Ciclo 1					
	N	P	K	Ca	S	B
	%					mg kg
1º	3,45	0,11	1,28	1,61	0,12	117
2º	3,18	0,12	1,57	1,47	0,15	109
3º	3,11	0,11	1,23	1,39	0,12	85
4º	2,89	0,11	1,21	1,44	0,14	75
5º	3,27	0,12	1,34	1,72	0,13	94
6º	4,23	0,17	1,57	1,59	0,18	103
Niveles de referencia *	2,50 - 4,00	0,25 - 0,45	2,25 - 3,40	0,70 - 2,50	0,25 - 0,50	25 - 60

(\*) Niveles de suficiencia de nutrientes (Kelling, 2000)

**Tabla 8.** Concentración de N, P, K, Ca, S (%) y B (mg kg) en el forraje. Ciclo 2. Promedio de tratamientos.

Cortes	Ciclo 2					
	N	P	K	Ca	S	B
	%					mg kg
1º	3,21	0,37	2,24	1,68	0,25	114
2º	2,83	0,22	1,55	1,46	0,22	128
3º	2,57	0,16	1,12	0,93	0,14	118
4º	2,96	0,19	0,80	1,05	0,18	137
5º	2,43	0,10	0,42	0,99	0,10	74
6º	3,83	0,09	0,30	0,84	0,11	42
Niveles de referencia *	2,50 - 4,00	0,25 - 0,45	2,25 - 3,40	0,70 - 2,50	0,25 - 0,50	25 - 60

(\*) Niveles de suficiencia de nutrientes (Kelling, 2000)

## Contenido acumulado de nutrientes en el forraje

A continuación se discutirá el efecto de la fertilización sobre el contenido de N, S y B, debido a que estos nutrientes presentaron similar comportamiento estadístico en los ciclos 1 y 2. Como no se detectó interacción significativa entre tratamientos x ciclo, se analizó el efecto de la fertilización en el contenido de nutrientes para el promedio de los ciclos 1 y 2.

Por el contrario, para P, K y Ca la interacción fue significativa ( $p = 0,0029$ ;  $p = 0,0002$  y  $p = 0,0004$  para P, K y Ca respectivamente), por lo que el análisis se realizó para cada ciclo por separado.

Los contenidos acumulados de N, S y B fueron semejantes entre tratamientos con valores promedios de 666, 33 y 2,3 kg ha<sup>-1</sup> y con CV de 3, 7 y 4% respectivamente (Tabla 9). Esto significa que el cultivo consumió 30 kg de N, 1,5 kg de S y 0,10 kg B por cada Mg de MS producida, coincidentemente con los valores informados por la bibliografía (INPOFOS 1999; García *et al.*, 2002; Ciampitti y García 2008). Debe recordarse que para el caso del N, en promedio, el 53% del N total absorbido por la parte aérea, proviene de la fijación biológica, con un mínimo de 29 y un máximo de 79% (Racca y González, 2007).

Los contenidos de B detectados en el cultivo de alfalfa luego de la fertilización, fueron superiores a los informados por otros autores para la misma producción de forraje (Undersander *et al.*, 1991; Cueto Wong y Quiroga Garza, 2000). El nivel de S fue menor al sugerido por Lazcano-Ferrat y Herrera (2000) quienes informaron en México, valores de extracción de 2,7 kg S Ha<sup>-1</sup>.

En el ciclo 1, los contenidos acumulados de P (25-30), K (251-368) y Ca (320-377), con promedios de 27, 304 y 344 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mostraron algunas diferencias estadísticas cuando se fertilizó con distintas dosis de P y S, sin presentar una tendencia de respuesta sistemática (Tabla 10). Los CVs para estos tres nutrientes en el primer ciclo fueron de 7, 13 y 6% respectivamente.

**Tabla 9.** Efecto de P y S sobre el contenido de N, S y B (kg ha<sup>-1</sup>) en el forraje de alfalfa. Promedio de dos ciclos.

Tratamientos		N	S	B
		kg ha <sup>-1</sup>		
P0	S0	643	34	2,2
	S24	667	35	2,3
P20	S0	685	34	2,3
	S24	651	31	2,3
P40	S0	652	32	2,3
	S24	661	30	2,2
P80	S0	670	31	2,2
	S24	704	37	2,4
P160	S0	689	36	2,3
	S24	641	34	2,1
Media		666	33	2,3

**Tabla 10.** Efecto de P y S sobre el contenido de P, K y Ca (kg ha<sup>-1</sup>) en el forraje de alfalfa. Ciclo 1 y 2.

Tratamientos		Ciclo 1			Ciclo 2		
		P	K	Ca	P	K	Ca
		kg ha <sup>-1</sup>			kg ha <sup>-1</sup>		
P0	S0	25	316	324	44	324	258
	S24	26	304	326	38	277	262
P20	S0	25	251	320	45	303	279
	S24	28 *	368 *	367 *	36	228 *	190 *
P40	S0	25	305	367 *	34 *	203 *	200
	S24	25	267	322	39	193 *	216
P80	S0	27 *	321	357	40	229 *	233
	S24	30 *	361 *	377 *	49	249	298
P160	S0	29 *	293	351	53	279	278
	S24	27	252	327	37	248 *	240
Media		27	304	344	42	253	245

(\*) En cada columna indica diferencias significativas de los tratamientos ( $p < 0,05$ ) respecto al testigo, según test de Dunnett.

En el ciclo 2, los contenidos promedio de P (34-53), K (193-324) y Ca (190-298), fueron 42, 253 y 245 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Tabla 10). Se encontraron menores contenidos de los tres nutrientes respecto al testigo ( $p < 0,05$ ). Los coeficientes de variación fueron de 15, 17 y 15% para P, K, y Ca respectivamente.

En este ciclo se determinó un marcado incremento del P respecto de los valores observados en el ciclo anterior. Probablemente la residualidad de este nutriente se tradujo en una mayor absorción por el cultivo; por el contrario, el K y el

Ca disminuyeron. La alfalfa extrajo 1,20 y 2 kg P ha<sup>-1</sup>, 13,5 y 12 kg K ha<sup>-1</sup> y 15,3 y 11,7 kg Ca ha<sup>-1</sup> por cada Mg de MS producida en los ciclos 1 y 2 respectivamente.

Cueto Wong y Quiroga Garza (2000) indicaron que los contenidos de nutrientes removidos por cada tonelada de forraje producido, no son los mismos en todas las regiones productoras de alfalfa del mundo. Acuña *et al.* (1991) en condiciones de riego, observaron durante el primer ciclo de cultivo que los contenidos de P y K del forraje aumentaron con el incremento de la dosis de P; en cambio no encontraron un patrón de respuesta cuando evaluaron la fertilización sobre el N y el Ca. Estos autores observaron que el contenido promedio de P en forraje fue de 29,3 kg ha<sup>-1</sup> para un rendimiento promedio de 13 Mg MS ha<sup>-1</sup>.

Lazcano-Ferrat y Herrera (2000) en Vertisoles de pH neutro, encontraron que los contenidos de N, P y S de la alfalfa para una producción de 15 Mg MS ha<sup>-1</sup>, fueron 518, 39 y 40 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Boschetti *et al.* (1998), informaron que en alfalfa fertilizada con P, la extracción de K fue de 17,7 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que Vázquez-Vázquez *et al.* (2010) reportaron niveles de Ca similares a los encontrados en este trabajo.

### **Conclusión parcial**

El forraje producido luego de la fertilización fósforo azufrada, mostró niveles suficientes de N, Ca y B y ligeras deficiencias de P, K y S.

Cuando los resultados se expresaron en kg ha<sup>-1</sup>, no se detectaron diferencias significativas de los contenidos de N, S y B entre tratamientos. Sólo en el primer ciclo los valores de P, K y Ca fueron más altos con dosis iguales o mayores a 20 kg P ha<sup>-1</sup> (con y sin S).

## **FERTILIZACIÓN CON P Y S SOBRE EL ESTADO ORGÁNICO DEL SUELO CULTIVADO CON ALFALFA**

### **Efecto sobre la cantidad de materia orgánica**

En la parcela testigo se obtuvieron contenidos de COT semejantes al inicio y final del estudio ( $p > 0,05$ ). En los dos ciclos estudiados los niveles de carbono orgánico total (COT) fueron semejantes en todos los tratamientos fertilizados (Tablas 11 y 12). El CV fue 3 y 4% para el primero y segundo ciclo respectivamente. Esto confirma que dos ciclos de cultivo no fueron suficientes para detectar cambios en este parámetro, atribuibles a la aplicación de fertilizantes. Este efecto es coincidente con lo encontrado por otros autores (González Montaner *et al.*, 2004; Andriulo, 2008 y Minoldo *et al.*, 2008), quienes no detectaron cambios en el contenido de COT a corto plazo por efecto de la fertilización.

En rotaciones cortas con leguminosas las variaciones del COT son menores que en rotaciones prolongadas, como consecuencia del bajo aporte de residuos de cosecha o pastoreo y de la calidad de los residuos que favorece su rápida transformación (Whitbread *et al.*, 2000). Díaz Rossello (1992) encontró que el contenido de COT en la profundidad 0-20 cm alternaba ciclos de pérdida (en rotaciones con cultivos anuales) con ciclos de recuperación en pasturas mezcla de alfalfa y gramíneas para heno. En el mismo ensayo en un ciclo de 4 años de pastura, el COT se mantenía constante o aumentaba gradualmente.

La fracción lábil (COP) no se modificó entre el inicio y fin del estudio para el tratamiento testigo ( $p > 0,05$ ). Cuando se analizó el efecto de la fertilización sobre el COP de la fracción gruesa del suelo, no se observaron diferencias entre tratamientos dentro de un mismo ciclo (CV: 8 y 9% para el ciclo 1 y 2 respectivamente), aunque si se encontraron diferencias estadísticas entre ciclos (Tablas 11 y 12). De manera similar Galantini *et al.* (2002) detectaron diferencias en el contenido de COP entre el primer y segundo ciclo de una pastura de trébol rojo, con valores más altos en el 1º ciclo. Si bien el COP ha sido propuesto como un indicador temprano de la calidad del suelo (Koutika *et al.*, 2005; Marriott y Wander, 2006), su dinámica y sensibilidad en relación a los factores de manejo, hacen que su sola determinación aporte pocos elementos al conocimiento real del sistema (Minoldo, 2010).

Cuando se analizó la evolución de Pt y St para el tratamiento testigo en el periodo de estudio, solo se observaron diferencias para St ( $p = 0,0420$ ), verificándose el mayor nivel en el fin del primer ciclo ( $129,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Tabla 11).

Los niveles de Pt y St de la fracción gruesa del suelo fueron semejantes en todos los tratamientos de fertilización para los ciclos estudiados (CV: 21 y 11% para el ciclo 1, y 10 y 15% para el ciclo 2), aunque si se observaron diferencias entre ambos ciclos (Tablas 11 y 12). La cantidad promedio de Pt y de St en el ciclo 1 fue un 19 y 68% más que en el ciclo 2 respectivamente (Tabla 11).

La disminución de Pt y St detectada en el 2º ciclo coincidió con la disminución del 18% registrado en la fracción gruesa en el mismo período. La menor producción de forraje acumulado en los 6 cortes del 2º ciclo ( $20,9$  versus  $22,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) explicaría el descenso de la fracción gruesa de la MOS. Galantini y Rosell (1997) observaron que las pérdidas más importantes de MO y de los nutrientes asociados a ella, se produjeron en la fracción particulada.

La mayor extracción de P por la alfalfa detectada en el 2º ciclo ( $42$  versus  $27 \text{ kg ha}^{-1}$ ) explica el descenso de los niveles de Pt en la fracción gruesa del suelo. De manera similar, el cultivo extrajo más S en el 2º ciclo en comparación con el 1º ( $37$  versus  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ ), coincidentemente con la disminución del St en esta fracción de suelo (Anexo Tabla 19).

Debido a que la única dosis de S aplicada fue de  $24 \text{ kg ha}^{-1}$  a la siembra, luego de 2 ciclos de cultivo, se podría suponer la existencia de alguna deficiencia de este nutriente en el suelo. Aunque muchas veces el contenido de S en el suelo puede ser un indicador poco confiable de la disponibilidad del nutriente para la alfalfa y de la respuesta productiva que ésta tendría ante la fertilización azufrada.

Lo opuesto puede explicarse para el P, cuya dosis más alta alcanzó los  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  y es de destacar que luego de dos ciclos de alfalfa, y en función de la extracción realizada por el cultivo, la dosis de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  hubiera sido suficiente, desviándose el resto hacia otras formas de P no asimilables. Tiessen *et al.* (1994) informaron que luego de alrededor de 50 años de agricultura, el P exportado por el cultivo fue mucho menor que el disponible que provenía de la descomposición de la materia orgánica del suelo. Este exceso de P inorgánico precipitaría en forma de compuestos de baja solubilidad como por ejemplo la apatita o bien podría quedar de forma residual en el suelo para ser aprovechado en ciclos posteriores del cultivo

como ocurrió en los ciclos 3 y 4, donde la producción de forraje aumentó entre 17-25% en los tratamientos con alta dosis de P (P160) (Figuras 9 y 10).

La MOP constituye una importante reserva nutricional para los cultivos y se podría asociar su calidad con los contenidos de N, P, K y S (Galantini y Landriscini, 2007).

En el ciclo 1, los contrastes ortogonales permitieron establecer que la fertilización no modificó los niveles de COT, COP, Pt y St y que la aplicación de 24 kg S ha<sup>-1</sup>, provocó la disminución significativa del Pt de la fracción gruesa ( $p=0,0018$ ), equivalente a unos 27 kg Pt ha<sup>-1</sup> (Tablas 11, 12 y 13). En el ciclo 2, ambos contrastes no mostraron efectos significativos debido a la fertilización con P y/o S.

**Tabla 11.** Efecto de la fertilización con P y S sobre el contenido de COT, COP, MOP, Pt y St de la fracción particulada en la profundidad 0-20 cm para el inicio, ciclo 1 y 2.

Momentos	Tratamientos		COT	COP	MOP	Pt	St	
			Mg ha <sup>-1</sup>			kg ha <sup>-1</sup>		
CICLO 1	P0	S0	61,9	7,2	14,4	54,2	83,4	
		S24	64,5	9,2	18,4	82,4	129,7	
	P20	S0	60,0	8,7	17,4	62,7	144,6	
		S24	61,0	9,3	18,7	100,9	168,5	
	P40	S0	64,0	8,1	16,3	78,5	153,8	
		S24	64,1	8,8	17,5	95,7	165,5	
	P80	S0	63,3	8,6	17,2	53,9	132,0	
		S24	63,9	7,5	15,1	86,6	166,3	
	P160	S0	65,0	9,8	19,7	73,7	170,3	
		S24	59,6	8,3	16,6	104,3	167,7	
	Media		62,3	8,3	16,6	64,8	165,5	
	Media		62,8	8,7	17,3	80,3	156,4	
	CICLO 2	P0	S0	64,9	7,6	15,2	61,3	88,8
			S24	58,6	7,0	14,0	70,9	89,5
P20		S0	62,5	6,9	13,9	79,6	105,9	
		S24	61,3	7,3	14,7	67,8	89,3	
P40		S0	62,6	7,9	15,8	53,8	74,1	
		S24	59,9	6,9	13,8	63,8	97,9	
P80		S0	64,2	8,0	16,0	67,3	84,5	
		S24	62,5	6,6	13,2	70,1	84,4	
P160		S0	58,4	5,9	11,8	75,3	90,6	
		S24	61,5	6,4	12,8	65,9	124,1	
Media		61,6	7,1	14,1	67,6	92,9		

COT: carbono orgánico total; COP: carbono orgánico particulado; MOP: materia orgánica particulada; Pt-St: fósforo y azufre total de la fracción particulada.

**Tabla 12.** Valores de probabilidad de significación de los ANOVA para los efectos del ciclo (C), la fertilización (F) y su interacción (C x F) sobre el COT, COP, Pt y St de la fracción particulada a la profundidad de 0-20 cm.

Fuentes	COT	COP	Pt	St
C	0,3193	0,0003	0,0144	0,0001
F	0,3670	0,8473	0,1432	0,4323
C x F	0,9938	0,6051	0,3254	0,5220

COT: carbono orgánico total; COP: carbono orgánico particulado; Pt-St: fósforo y azufre total de la fracción particulada.

**Tabla 13.** Contrastes ortogonales para los contenidos de COT, COP, Pt y St (0-20 cm) al final del 1º y 2º ciclo.

Fracciones	Tratamientos			
	Testigo vs Fertilizados		Con P y S0 vs Con P y S24	
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
COT	ns	ns	ns	ns
COP	ns	ns	ns	ns
Pt	ns	ns	*	ns
St	ns	ns	ns	ns

\*  $p \leq 0,05$ ; COT: carbono orgánico total; COP: carbono orgánico particulado; Pt-St: fósforo y azufre total de la fracción particulada.

### Efecto sobre la calidad de la materia orgánica particulada

Los contenidos de Pt fueron semejantes en todos los tratamientos en los dos ciclos estudiados ( $p = 0,5902$  y  $0,3837$ , para ciclos y fertilización respectivamente). Al inicio del ensayo, fue  $3,7 \text{ kg Pt Mg MOP}^{-1}$ ; al final del 1º ciclo el valor promedio de los tratamientos fue  $4,7 \text{ kg}$  y al final del 2º ciclo promedió  $5,0 \text{ kg Pt Mg MOP}^{-1}$  (Tablas 14 y 15).

A diferencia de lo observado para P, se detectaron diferencias altamente significativas en el contenido de St ( $p \leq 0,0010$ ) por efecto del ciclo de cultivo. Al comienzo del ensayo, fue  $5,8 \text{ kg St Mg MOP}^{-1}$ ; al final del 1º ciclo el valor promedio de los tratamientos fue  $9,2 \text{ kg}$  y al final del 2º ciclo promedió  $6,8 \text{ kg St Mg MOP}^{-1}$  (Tablas 14 y 15).

En el ciclo 1, los contrastes ortogonales permitieron establecer que la fertilización no modificó los niveles de Pt y St y que la aplicación de  $24 \text{ kg S ha}^{-1}$ , disminuyó significativamente el Pt de la fracción gruesa ( $p = 0,0029$ ), equivalente a unos  $1,8 \text{ kg Pt Mg MOP}^{-1}$  (Tablas 14 y 16). Probablemente la mayor extracción de P por el cultivo tenga relación con la disminución en esta fracción de suelo. Con la

fertilización con dosis crecientes de P hasta 80 kg ha<sup>-1</sup>, la extracción de P se mantuvo: 25 a 27 kg P ha<sup>-1</sup>, sin embargo con el agregado combinado de 24 kg S ha<sup>-1</sup> la extracción aumentó hasta 30 kg P ha<sup>-1</sup> (Tabla 10). La mayor extracción de P podría atribuirse a que el agregado de S mejoró la FBN (Duke *et al.*, 1980; Scherer *et al.*, 2008; Varin *et al.*, 2010) y también la disponibilidad de N en la solución del suelo. La mayor disponibilidad de N mejora la solubilidad de los compuestos de P en los suelos como consecuencia de los procesos de nitrificación (Fernández, 2007). El N juega un papel importante en la asimilación del P, lo que genera una mayor absorción de éste por la planta (Sunmer y Farina, 1986).

**Tabla 14.** Efecto de la fertilización con P y S sobre el contenido de fósforo y azufre total (Pt y St) en la materia orgánica particulada (MOP) (0-20 cm) para el 1º y 2º ciclo.

Momentos	Tratamientos		Pt	St	St:Pt	
			kg Mg MOP <sup>-1</sup>			
CICLO 1	P0	S0	3,7	5,8	1,6	
		S24	4,5	7,2	1,6	
	P20	S0	3,6	8,3	2,3	
		S24	5,4	9,1	1,7	
	P40	S0	4,8	9,2	1,9	
		S24	5,6	9,6	1,7	
	P80	S0	3,0	7,6	2,5	
		S24	5,8	11,4	2,0	
	P160	S0	3,9	9,0	2,3	
		S24	6,6	10,5	1,6	
	Media		3,9	10	2,6	
	Media		4,7	9,2	2,0	
	CICLO 2	P0	S0	4,2	6,0	1,4
			S24	5,3	6,6	1,2
P20		S0	6,2	7,9	1,3	
		S24	4,6	6,2	1,3	
P40		S0	3,4	4,7	1,4	
		S24	4,6	7,0	1,5	
P80		S0	4,2	5,3	1,3	
		S24	5,4	6,5	1,2	
P160		S0	7,2	8,4	1,2	
		S24	5,1	9,4	1,8	
Media		5,0	6,8	1,4		

Pt-St: fósforo y azufre total de la fracción particulada; St:Pt: relación azufre total sobre fósforo total.

En el ciclo 2, ambos contrastes no mostraron efectos significativos debido a la fertilización con P y/o S (Tabla 16).

La relación S:P en la MOP disminuyó de 2,0 en el 1º ciclo a 1,4 en el 2º, lo que indica en ambos casos un enriquecimiento de S (Tabla 14).

**Tabla 15.** Valores de probabilidad de significancia de los ANOVA para los efectos del ciclo (C), de fertilización (F) y su interacción (C x F) sobre el Pt y St de la materia orgánica particulada a la profundidad 0-20 cm.

Fuentes	Pt:MOP	St:MOP
Ciclo	0,5902	0,0010
Tratamiento	0,3837	0,4445
Ciclo x Tratamientos	0,7328	0,5642

Pt-St: fósforo y azufre total de la fracción particulada.

**Tabla 16.** Contrastes ortogonales para los contenidos de Pt y St de la materia orgánica particulada (0-20 cm) al final del 1º y 2º ciclo.

Fracciones	Tratamientos			
	Testigo vs Fertilizados		Con P y S0 vs Con P y S24	
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
Pt:MOP	ns	ns	*	ns
St:MOP	ns	ns	ns	ns

\* indica  $p \leq 0,05$ ; Pt-St: fósforo y azufre total de la fracción particulada.

### Estratificación del COP en el suelo

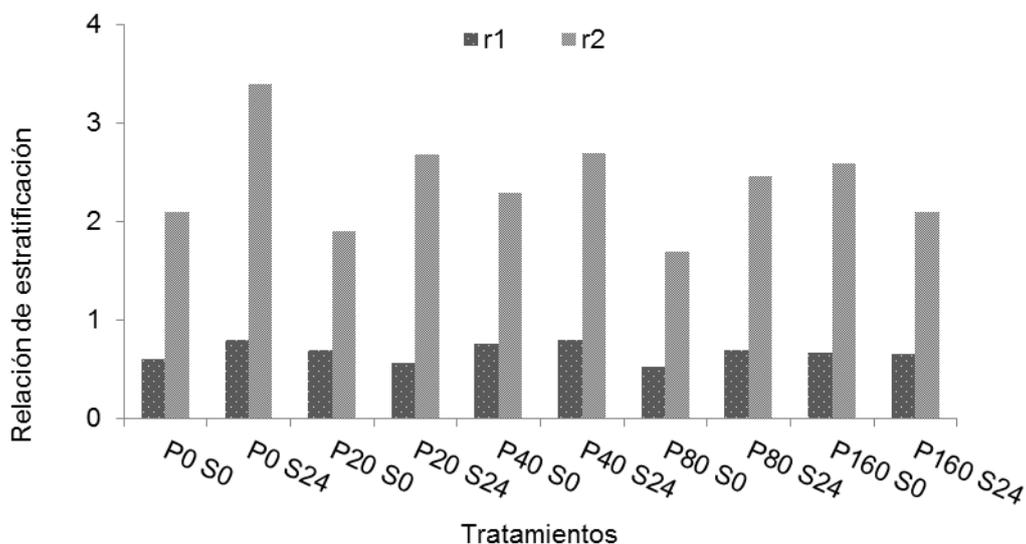
La relación de estratificación ( $r$ ) es la relación de un valor determinado para una propiedad del suelo en la capa superficial, respecto a las más profundas y se utiliza como un indicador de la dinámica de calidad del suelo (Duval *et al.*, 2016). En este caso, la MOS en superficie es esencial para el control de la erosión, para favorecer la infiltración y la conservación de los nutrientes (Franzluebbers, 2002; Nieto *et al.*, 2012).

En este trabajo de tesis, los valores de  $r$  encontrados al final del 2º ciclo de la alfalfa mostraron una mayor acumulación de COP en la relación 0-10:10-20 cm ( $r_2$ ), con valores que oscilaron entre 1,7 y 3,4 Mg COP ha<sup>-1</sup>, respecto a la relación 0-5:5-20 cm ( $r_1$ ) que presentó valores que oscilaron entre 0,53-0,80 (Figura 11). La mayor

cantidad de raíces en el espesor 0-10 cm sería la responsable de la mayor concentración de COP.

La fertilización con P y S no produjo efectos significativos en la acumulación diferencial de COP. De todas formas independientemente de la dosis de P, el agregado de 24 kg S ha<sup>-1</sup>, mostró aumentos no estadísticos en el contenido de COP en r2. Este incremento podría asociarse a la mayor producción de forraje debido a la fertilización con S con la consecuente producción de residuos en distinto grado de descomposición.

En casi todos los tratamientos los valores de r resultaron mayores que 2, lo que indicaría un efecto positivo de la alfalfa sobre la calidad del suelo. Franzluebbbers (2002) explicó que las relaciones de estratificación de COS y COP mayores a 2, serían un buen indicador de que la calidad del suelo está mejorando y, por lo tanto el impacto económico y ecológico del manejo del suelo debería ser estudiado para contribuir a una agricultura más sustentable. Por otro lado, Toledo *et al.* (2013) indicaron que los suelos Oxisoles bajo vegetación climax presentaron una r de COS mayor a 1,5, lo que indica pérdida de calidad de suelo debido al uso agrícola.



**Figura 11.** Efecto de la fertilización con P y S sobre la relación de estratificación del carbono orgánico particulado (COP) para la relación 0-5:5-20 cm (r1) y la relación 0-10:10-20 cm (r2).

## **Conclusión parcial**

La fertilización fósforo azufrada no modificó el contenido de COP, Pt y St de la fracción gruesa en los dos ciclos estudiados con diferencias entre ciclos.

La disminución de la MOP en 19 % durante el segundo ciclo productivo explicaría el menor contenido de COP, Pt y St de la fracción gruesa en el mismo período. El contenido de St de la fracción gruesa presentó diferencias entre los dos ciclos estudiados, mientras que el Pt no varió su contenido. La fertilización con 24 kg S ha<sup>-1</sup> disminuyó el contenido de Pt de la fracción como consecuencia de una mayor extracción de P por parte del cultivo. La relación S:P de la fracción gruesa mostró un enriquecimiento de S.

La relación de estratificación mostró una mayor acumulación de COP en la profundidad de suelo 0-10 cm respecto a 0-5 cm, debido a la mayor acumulación de raíces en este espesor. En general, en todos los tratamientos, la r fue mayor a 2, lo que sugeriría un efecto beneficioso de la pastura sobre la calidad del suelo.

## **CONCLUSIONES**

A partir del 2º ciclo el cultivo de alfalfa respondió a las aplicaciones de P+S. La máxima producción acumulada se asoció a altas dosis de los nutrientes aplicados. Estos resultados permiten aceptar la primera hipótesis planteada en este estudio.

La calidad del forraje reflejada en el porcentaje de proteína bruta aumentó en los cortes de primavera y otoño con diferentes dosis de P (con y sin aplicación de S), con lo cual se acepta la segunda hipótesis.

La nutrición del cultivo se vio afectada por la aplicación de fertilizantes con P y S. Sólo en el primer ciclo productivo incrementó la extracción de P, K y Ca por la alfalfa.

La materia orgánica total no fue sensible al efecto de la fertilización. El carbono orgánico, el fósforo y el azufre de la fracción gruesa del suelo no mostraron cambios por efecto de la fertilización; sin embargo se modificaron entre los ciclos estudiados. En consecuencia se rechaza la hipótesis planteada.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

A partir de las conclusiones alcanzadas para los sistemas de producción de heno en la región de los valles Norpatagónicos, sería conveniente efectuar la refertilización de la alfalfa como así también estudiar el efecto de la aplicación de P y S en superficie y en profundidad. También sería necesario realizar un estudio a largo plazo para completar el conocimiento de la evolución de las fracciones orgánicas del suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, H.; P. Soto; A. Vidal y G. Martínez. 1991. Fertilización de alfalfa con fósforo, potasio y azufre. *Agricultura Técnica* 51: 315-322.
- A.E.F.A. 2014. Asociación española de fabricantes de alfalfa deshidratada. <http://aefa-d.com/tipificacion-de-la-alfalfa-deshidratada-espanola-en-el-formato-bala>. Consulta: abril de 2016.
- Al-Niemi, T. S.; M. L. Kahn and T. R. Mc Dermott. 1997. P metabolism in the bean-Rhizobium tropic symbiosis. *Plant Physiology* 113: 1233-1242.
- Anderson, G.; R. Lefroy; N. Chnoin and G. Blair. 1992. Soil Sulphur Testing. *Sulphur in Agriculture* 16: 6-14.
- Andriulo, A.; J. A. Galantini; C. Pecorari y E. Torioni. 1990. Materia orgánica del suelo en la región pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimica* XXXIV: 418-426.
- Andriulo A.; M. C. Sasal; A. B. Irizar y F. Rimatori. 2008. Efecto de diferentes sistemas de labranza de cultivo y de la fertilización nitrogenada sobre los stocks de C y N edáficos. En: J. A. Galantini (ed.). *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Pp. 117-130. EDIUNS.
- Arolfo, V. y A. Odorizzi. 2016. *Avances en alfalfa*. Año 26. Nº 26. E.E.A. Manfredi-INTA. Córdoba, Argentina. 83 pp.
- Arolfo, V. y A. Odorizzi. 2015. *Avances en alfalfa*. Año 25. Nº 25. E.E.A. Manfredi-INTA. Córdoba, Argentina. 64 pp.
- Bachmeier, O. A. y A. A. Rollán. 1994. Fósforo extractable en un suelo Haplustol éntico del área semiárida central de Córdoba. Comparación de dos métodos de evaluación. *Revista Agriscientia*, vol. XI: 23-28.
- Ballesta Remy, A. 2007. Efecto de la alfalfa (*Medicago sativa L.*) y del abonado nitrogenado en maíz (*Zea mayz L.*) y el trigo (*Triticum aestivum L.*) en una rotación alfalfa-trigo-maíz en regadío. Tesis doctoral. Universitat de Lleida. Escola tectécnicaperior d'Enginyeria Agraria. 183 pp.
- Basigalup, D.; R. Rossanigo y M. Ballario. 2007. Capítulo 1. Panorama actual de la alfalfa en la Argentina. En: D. Basigalup (ed.). *El cultivo de la alfalfa en la Argentina*. Pp. 15-25. E.E.A. Manfredi – INTA. Córdoba, Argentina. 475 pp.
- Bassi, T.; D. Miñón y H. Giorggetti. 2010. Ganadería bovina en el noreste Patagónico. Situación actual y perspectivas. Período 2001-2010. *Información*

- técnica N° 29. Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior, convenio INTA-Pcia. de Río Negro. 32 pp.
- Berardo, A. 1998. Fertilización de pasturas. En. Invernada: Planteos de alta producción. 5º Seminario de Actualización Técnica CPIA-SRA. Buenos Aires. 220 pp.
- Berardo, A. y M. A. Marino. 1993. Eficiencia relativa de un fosfato natural en pasturas cultivadas en molisoles al sudeste bonaerense. Actas XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACCS. Mendoza. Trabajo completo en CD-ROM.
- Berardo, A. y M. A. Marino. 2000. Efecto de la fertilización fosfatada sobre la disponibilidad de P y su relación con la producción de forraje en Molisoles del sudeste bonaerense. I. Pasturas consociadas. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACCS. Mar del Plata, Buenos Aires. Trabajo completo en CD-ROM.
- Berardo, A. y M. A. Marino. 2000. Fertilización fosfatada de pasturas en el sudeste bonaerense. I- Residualidad del P aplicado y efecto de las refertilizaciones anuales. Revista Argentina de Producción Animal 20: 93-101.
- Berardo, A.; M. A. Marino y S. Erth. 2007. Producción de forraje de alfalfa con aplicación de fósforo superficial y profundo. Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA) - INTA 36: 97-114.
- Berg, W. K.; S. M. Cunningham; S. M. Brouder, B. C. Joern, K. D. Johnson, J. Santini and J. J. Volenec. 2005. Influence of phosphorus and potassium on alfalfa yield and yield components. Crops Science.45: 297-304.
- Bianchini, A. 2006. Nutrición de verdes y pasturas. Actas 2º Congreso Nacional de Conservación y Uso de Forrajes. Rosario, Santa Fe. 4 pp.
- Blake, G. R. and K. H. Hartge. 1986. Bulk density. In: A. Klute (ed.). Methods of soil analysis. Part 1, 2<sup>nd</sup> ed. Agronomy 9. SSSA-ASA, Madison. Pp. 363-375.
- Bongiovanni, D. M. y J. C. Lobartini. 2009. Efectos de sustancias orgánicas solubles del suelo sobre la absorción de hierro en plántulas de girasol. Ciencia del Suelo 27: 171-176.
- Bono, A.; D. E. Buschiazzo; P. Lescano; J. C. Montoya y F. J. Babinec. 1997. Fertilización de una pastura con nitrógeno, fósforo y azufre en un Haplustol éntico de La Pampa (Argentina). Ciencia del Suelo 15: 95-98.

- Boschetti, N. G.; C. Quintero; C. Luca y E. Quinodoz. 2000. Respuesta de una pastura de alfalfa al encalado y fertilización con fósforo y molibdeno. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA* 20: 105-110.
- Boschetti, N. G.; C. Quintero; J. E. Mayer; M. R. Barrera y R. A. Benavidez. 1998. Evaluación del estado nutricional de pasturas de alfalfa utilizando el análisis de tejido vegetal. *Revista Científica Agropecuaria* 2: 13-20.
- Boschetti, N. G.; C. Quintero; R. A. Benavidez y L. Giuffrè. 2003. Cuantificación de las fracciones orgánicas e inorgánicas del fósforo en suelos de la Mesopotamia Argentina. *Ciencia del Suelo* 21: 1-8.
- Bremner, J. M. 1996. Chapter 37. Nitrogen total. Pp. 1085-1122. In: Sparks D. L.; Page A. L.; Helmke P. A.; Loeppert R. H.; Soltampour P. N.; Tabatabai M. A.; Johnston C. T. and Sumner M. E. (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. SSSA-ASA, Madison, Wisconsin, USA. 1309 pp.
- Broadbent, F. E. 1953. The soil organic fraction. *Advances in Agronomy* 5: 153-183.
- Broderick, G. A. 1996. Introduction. In: Conference: Altering ruminal nitrogen metabolism to improve protein utilization. *American Institute of Nutrition Journal* 1324s:1325s.
- Broderick, G. A. and N. R. Merchen. 1992. Markers for quantifying microbial synthesis in the rumen. *Journal of Dairy Science* 75: 2618-2632.
- Brown, R. H. and D. E. Radcliffe. 1986. A comparison of apparent photosynthesis in sericæ lespedeza and alfalfa. *Crop Science* 26: 1208-1211.
- Bruno, O. A.; L. A. Romero y E. Uztarroz. 2003. Capítulo III. Forrajes conservados. En: Latimori N. J. y A. M. Kloster (eds.). *Invernadas bovinas en zonas mixtas. Clave para una actividad más rentable y eficiente*. Pp. 83-130. 2ª edición ampliada. INTA EEA Marcos Juárez. 276 pp.
- Carta, H. G.; L. A. Ventimiglia y S. N. Rillo. 2001. Experimentación en Campos de Productores. Resultados de experiencias campaña 2000-2001. UEEA INTA 9 de Julio. Pp. 26-31.
- Christian, K. R. 1977. Effects of the environment on the growth of alfalfa. *Advances in Agronomy* 29: 183-227.
- Ciampitti, I. A. y F. O. García. 2008. Requerimientos nutricionales: absorción y extracción de macronutrientes y micronutrientes secundarios. II hortalizas, frutales y forrajeras. *Archivo Agronómico* Nº 12. 4 pp.
- Collino, D. J.; A. López; M. J. Dardanelli; R. Sereno and R. W. Racca. 2005.

- Temperature and wáter availability effects on radiation and wáter use efficiencies in alfalfa (*Medicago sativa L.*). Australian Journal of Experimental Agriculture 45: 383-390.
- Correndo, A. A. y F. O. García. 2012. Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivo extensivos. Archivo Agronómico Nº 14. Pp. 1-8.
- Creus, L. I.; M. Rodríguez; A. Tellería Marloth y C. Vidondo. 2004. Situación productiva del Valle Inferior del río Negro 2003-2004. En: Tellería Marloth A. (ed.). Escuela secundaria de formación agraria, E.S.F.A. - C.E.M. 69. 110 pp.
- Cueto Wong, J. A. y Quiroga Garza H. M. 2000. Fertilización de alfalfa. En: Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México. Libro técnico Nº 2. Primera edición. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo rural, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Norte Centro y campo experimental La Laguna. 98 pp.
- Dalla Fontana, L. A.; I. de los M. Nescier; D. T. Pennisi; M. L. Longoni y L. Contini. 2007. Efecto de la fertilización sobre la calidad de plantas de alfalfa (*Medicago sativa L.*) a través del ciclo de producción. Revista FAVE – Ciencias Veterinarias 6: 87-93.
- Delgado, A. and Torrent. 2000. Phosphorus forms and desorption patterns in heavily fertilized calcareous and limed acid soils. Soil Science Society American Journal. 64: 2031-2037.
- Departamento provincial de aguas (DPA). 2012. Calidad del agua del río Negro 2007 – 2012. Intendencia General de Recursos Hídricos. Diciembre 2012, Viedma.
- Departamento provincial de aguas (DPA). 2016. Calidad del agua del río Negro 2011 – 2016. Intendencia General de Recursos Hídricos. Agosto 2016, Viedma.
- Díaz Rossello, 1992. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. Revista INIA Investigación Agropecuaria 1: 103-110.
- Díaz-Zorita, M. 2006. Manejo de la nutrición mineral en sistemas forrajeros. Seminario técnico: Los nuevos ambientes ganaderos: Como prepararse para el desafío de aumentar la producción de pasto de calidad. Buenos Aires. 176 pp.

- Díaz-Zorita, M. y M. Barraco. 2002. ¿Cómo es el balance de P en los sistemas pastoriles de producción de carne en la región pampeana? *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 13: 1-6.
- Díaz-Zorita, M. y M. Fernández-Canigia. 1998. Azufre y nitrógeno en la implantación de pasturas perennes en la región de la pampa arenosa Argentina. *Ciencia del Suelo* 16: 103-106.
- Díaz-Zorita, M. y S. Gambaudo. 2007. Capítulo 11. Fertilización y encalado en alfalfa. En: D. Basigalup (ed.). *El cultivo de la alfalfa en la Argentina*. Pp. 227-246. E.E.A. Manfredi-INTA. Córdoba, Argentina. 475 pp.
- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada y C. W. Robledo. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: <http://www.infostat.com.ar>.
- Dubeux, J. C. B.; L. E. Solleberger; B. W. Mathews; J. M. Scholberg and H. Q. Santos. 2006. Nutrient Cycling in warm-climate grasslands. *Crop Science* 47: 915-928.
- Duke, S. H. and H. M. Reisenauer. 1986. Roles and requirements of sulfur in plant nutrition. In: M. A. Tabatabai. Ed. *Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph N° 27*. Pp. 123-168. SSSA-ASA, Madison, Wisconsin.
- Duke, S. H.; M. Collins and R. M. Soberalske. 1980. Effects of potassium fertilization of nitrogen fixation and nodule enzymes of nitrogen metabolism in alfalfa. *Crop Science* 20: 213-219.
- Duval, M. E.; J. A. Galantini; J. E. Capurro and J. M. Martinez. 2016. Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. *Soil & Tillage Research* 161: 95-105.
- Duval, M. E.; J. A. Galantini; J. Iglesias y H. Kruger. 2013. El cultivo de trigo en la región semiárida bonaerense: Impacto sobre algunas propiedades químicas del suelo. *Revista de Investigaciones Agronómicas (RIA) - INTA* 39: 178-184.
- Ellis, W. C.; D. P. Poppi; J. H. Matis; H. Lippke; T. M. Hill and F. M. Rouquette Jr. 1999. Dietary-digestive-metabolic interactions determining the nutritive potential of ruminant diets. In: H. G. Jung and G. C. Fahey (eds.). Pp. 423-481. *Proceedings of the V<sup>o</sup> International Symposium on the Nutrition of Herbivores*. American Society of animal Science. Illinois. USA.

- Fernández, M. A. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. Instituto Cubano de investigaciones de los derivados de la caña de azúcar Cuba. (ICIDCA). Sobre los derivados de la caña de azúcar 41: 51-57.
- Fick, G. W.; D. A. Holt and D. G. Lugg 1988. Environmental physiology and crop growth. In: A. A. Hanson; D. K. Barnes and R. R. Hill (eds.). Alfalfa and alfalfa improvement. Pp. 163-194. Agronomy 29. American Society of Agronomy Monograph series. Madison, WI, EUA.
- Fontanetto, H. y A. Bianchini. 2007. Fertilización fosfatada y azufrada de alfalfa a la siembra y al año de implantación en el centro-este de Santa Fe. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 36: 22-25.
- Fontanetto, H.; O. Keller; S. Gambaudo; J. Albrecht y H. Boschetto. 2010. Fertilización balanceada para la alfalfa en la región centro – este de Santa Fe. A.A.P.R.E.S.I.D. Planteos ganaderos en siembra directa. Pp. 83-87.
- Fontanetto, H.; S. Gambaudo; O. Keller; M. Sillón; E. Weder; G. Gianinetto; G. Berrone; M. Meyer y C. Canepa. 2011. Es necesaria una fertilización balanceada para lograr altas producciones de alfalfa. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 2: 35-37.
- Franzlubbers, A. J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. Soil & Tillage Research 66: 95-106.
- Freeman, J.S. and D.L. Rowell. 1981. The adsorption and precipitation of phosphate onto calcite. Journal Soil Science 32: 75–84.
- Galantini, J. A. 2005. Capítulo IV. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: L. Marban y S. Ratto. (eds.). Manual Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios. Parte 2: 103-114. Asociación Argentina de Ciencia del Suelo (AACS). 215 pp.
- Galantini, J. A.; J. Iglesias; M. R. Landriscini; L. Suñer y G. Minoldo. 2008. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. En: J. A. Galantini (ed.). Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Pp 71-75. EDIUNS. 309 pp.
- Galantini, J. A. y M. R. Landriscini. 2007. Capítulo 14. Equilibrios y dinámicas de las fracciones orgánicas: relación con la fertilidad del suelo y la sustentabilidad del sistema. En: A. Thuar; F. Cassan y C. Olmedo. (eds.). De la biología del suelo a la agricultura. 1<sup>ra</sup> edición. Pp 233-245.

- Galantini, J. A. y L. Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 25: 41-55.
- Galantini, J. A. and R. Rosell. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil & Tillage Research* 87: 72-79.
- Galantini, J. A. and R. A. Rosell. 1997. Organic fractions, N, P and S changes in a semiarid Haplustoll of Argentina under different crop sequences. *Soil & Tillage Research* 42: 221-228.
- Galantini, J. A.; R. A. Rosell; G. Brunetti y N. Senesi. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo* 20: 17-26.
- Galantini, J. A.; R. A. Rosell y J. O. Iglesias. 1994. Determinación de la materia orgánica empleando el método de Walkley y Black en fracciones granulométricas del suelo. *Ciencia del Suelo* 12: 81-83.
- Gallego, J. J. y D. P. Miñón. 2016. La producción de alfalfa en el Valle Inferior del Río Negro frente al cultivo en otros ambientes de la Argentina: Resultados de una comparación. *Revista Pilquén, sección agronomía*. Año XVI, Nº 15: 40-54.
- García, F. 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 29: 13-16.
- García, F. 2004. El rol del fósforo en la producción de pasturas de la región pampeana. Seminario técnico: Cómo producir y aprovechar el forraje eficientemente en la empresa agropecuaria del futuro. Buenos Aires. Pp. 93-111.
- García, F.; F. Micucci; G. Rubio; M. Ruffo e I. Daverede. 2002. Fertilización de forrajes en la región pampeana: Una revisión en los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos. *INPOFOS Cono Sur*. 61 pp.
- García, F.; M. L. Ruffo y I. C. Daverede. 1999. Fertilización de pasturas y verdeos. Revisión. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 1. 15 pp.
- García J. M.; G. Sevilla y A. Pasinato. 1994. Evaluación bajo riego de cultivares de alfalfa con distinto reposo invernal. (Comunicación). *Revista Argentina de Producción Animal*, 18º Congreso Argentino de Producción Animal 14:1. Pp. 37-71.

- Garcilazo, M. G. 2007. Principales características de los sistemas de producción de carne bovina bajo riego en el Valle Inferior. Hoja divulgativa N° 12, Año 2. EEA Valle Inferior–Convenio Pcia. de Río Negro – INTA. 2 pp.
- Gardner, F. P.; R. Brent Pearce and R. L. Mitchel. 1985. Carbon fixation by crop canopies. In: Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. Pp. 31-57.
- González Montaner, J.; M. Di Napoli; R. Pozzi; V. Stangaferro y E. Tecco. 2004. Influencia de la fertilización sobre el balance de rastrojos y el estado nutricional de los cultivos en una rotación en siembra directa en Argiudoles del sur de Santa Fe. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná (ER). 221 pp.
- Gordon Mendoza, R.; J. E. Franco Barrera; J. E. Villarreal Núñez y T. J. Smith. 2016. Manejo de la fertilización fosforada en el cultivo de maíz, el ejido, Panamá 2004-2013. *Agronomía Mesoamericana* 27: 95-108.
- Gregorich, E. G.; M. H. Beare; U. F. McKim and J. O. Skjemstad. 2006. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Science Society American Journal* 70: 975-985.
- Grewal, H. S. 2010. Alfalfa responses to combined use of lime and limiting nutrients on an acidic soil. *Science and Plant Analysis* 4: 2247-2263.
- Grismer, M. E. 2001. Regional alfalfa yield, Etc, and water value in Western States. *Journal Irrigation and Drainage Engineering* 127: 131-139.
- Haby V. A.; J. V. Davis and A. T. Leonard. 1998. Effect of soil boron and applied boron on yield of alfalfa. <http://overton.tamu.edu/forage98/fd98sbab.htm>. Consulta: mayo de 2016.
- Haynes, R. J. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology & Biochemistry*. 32: 211-219.
- Helmke P. A. and D. L. Sparks. 1996. Chapter 19. Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium and Cesium. Pp. 551-574. In: Sparks D. L.; Page A. L.; Helmke P. A.; Loeppert R. H.; Soltampour P. N.; Tabatabai M. A.; Johnston C. T. and Sumner M. E. (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. SSSA-ASA, Madison, Wisconsin, USA. 1309 pp.
- Hernández, O. A.; J. G. Scarone; A. R. Quiroga y N. B. Reinaudi. 1984. Efecto de la fertilización e inoculación, sobre el rendimiento y calidad de alfalfa cv.

- Scatamburlo, bajo condiciones de secano y regadío en la región semiárida pampeana. Revista IDIA 417-420: 1-7.
- Hernández, R. M. y D. López. 2002. Microbial biomass, mineral nitrogen y carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage. Soil Biology & Biochemistry. 34: 1563-1570.
- Hijano, E. y D. Basigalup. 1995. Capítulo 1. El cultivo de la alfalfa en la República Argentina. En: E. Hijano y A. Navarro (eds.). La alfalfa en la Argentina. Pp. 12-18. Subprograma alfalfa – INTA C. R. Cuyo. Agro de Cuyo, manuales N° 11. 287 pp.
- INDEC. Encuesta Nacional Agropecuaria, años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001 y 2002.
- INPOFOS 1999. Requerimientos nutricionales de los cultivos. Archivo Agronómico N°3. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 4. 4 pp.
- INPOFOS 2000. La interacción del fósforo y otros nutrientes. Informaciones Agronómicas. Edición para México y Norte de Centroamerica. Vol: 4, N° 1. 15 pp.
- Jahn, E. B.; A. Vidal; F. Baez; P. Soto y S. Arredondo. 2002. Utilización de alfalfa (*Medicago sativa L.*) en tres estados de madurez y dos residuos con vacas en lactancia en pastoreo. Revista Agricultura Técnica 62:1.
- Johnson, C. M. and A. Ulrich. 1959. II Analytical methods. For use in plant analysis. 26-77. California Agricultural Experiment Station. Bulletin 766.
- Juan, N. A.; L. Romero y O. Bruno. 1995. Capítulo 9. Conservación del forraje de alfalfa. En: E. Hijano y A. Navarro (eds.). La alfalfa en la Argentina. Pp. 173-192. Subprograma alfalfa. INTA C. R. Cuyo. Agro de Cuyo manuales N° 11. 287 pp.
- Juarez Hernández, J. y E. D. Bolaños Aguilar. 2007. Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 23: 81-90.
- Kelling, K. A. 2000. Alfalfa fertilization. College of agricultural and life sciences. University of Wisconsin-Madison and University of Wisconsin-Extension, Cooperative extension. Produced by Cooperative Extension Publishing. 8 pp.
- Koenig, R. T.; C. Hurst; J. Barnhill; B. Kitchen; M. Winger and M. Johnson. 1999. Fertilizer management for alfalfa. Utah State University Extension. 5 pp.

- Koenig, R. T.; D. Horneck; T. Platt; P. Petersen; R. Stevens; S. Fransen and B. Brown. 2009. Nutrient management guide for dryland and irrigated alfalfa in the Inland Northwest. A Pacific Northwest Extension Publication. PNW 0611. Washington State University – Oregon State University – University of Idaho. 16 pp.
- Koutika, L.S.; C. Nolte; M. Yemefack; R Ndango; D. Folefoc and S. Weise. 2005. Leguminous fallows improve soil quality in south-central Cameroon as evidenced by the particulate organic matter status. *Geoderma* 125: 343-354.
- Kung, L. and Huber, J.T. 1983. Performance of high producing cows in early lactation feed protein of varying amounts, sources and degradability. *Journal of Dairy Science* 66: 227-234.
- Lanyon, L. E. and W. K., Griffith. 1988. Nutrition and fertilizer use. In: Hanson, A.A.; D.K. Barnes and R.R. Hill. (eds.) *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. Pp. 333-372. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Agronomy Monograph N° 29. Madison, WI.
- La Rosa, F.; J. F. Sánchez y D. P. Miñón. 2010. Sistemas irrigados de producción bovina del Valle Inferior del río Negro. Estructura y funcionamiento. Período 2003-2009. Información técnica N° 30. Año 5, N° 12. EEA Valle Inferior-Convenio Pcia. de Río Negro-INTA. Ediciones INTA. 40 pp.
- Lazcano-Ferrat, I. y A. Herrera. 2000. Perfeccionamiento de las aplicaciones de magnesio y potasio en alfalfa producida en Vertisoles del centro de México. *Informaciones Agronómicas (Edición para México y Norte de Centroamérica)* 6:1-3.
- Lemaire, G.; P. Cruz; G. Gosse and M. Chartier. 1985. Etude des relations entre la dynamique de prélèvement d'azote et la dynamique de croissance en matière d'un peuplement de luzerne (*Medicago sativa L.*). *Agronomie* 5: 685-692.
- Li, X.; T. Meixner; J. Sickman; A. Miller; J. Schimel and J. Melack. 2006. Decadal-scale dynamics of water, carbon and nitrogen in a California chaparral ecosystem: DAYCENT Modeling Results. *Biogeochemistry* 77: 217-245.
- Lindenmayer, R. B.; N. C. Hansen; J. Brummer and J. G. Pritchett. 2011. Deficit irrigation of alfalfa for water-savings in the great plains and intermountain west: a review and analysis of literature. *Agronomy Journal* 103: 45-50.

- Lloveras, J.; A. López; J. A. Betbese; M. Baga y A. López. 1998. Evaluación de variedades de alfalfa en los regadíos del Valle del Ebro: análisis de las diferencias intervarietales. *Pastos XXVIII*: 37-56.
- Lloveras, J. y M. A. Melines. 2015. La calidad en la alfalfa, posibles clasificaciones. La rentabilidad del cultivo se asienta en tres pilares: producción, calidad y persistencia. *Revista Vida Rural: Especial cultivos forrajeros*. Pp. 36-40.
- Loewy, T. y M. M. Ron. 1992. Fertilización fosfórica de alfalfa en dos suelos del sudoeste Bonaerense. *Revista Facultad de Agronomía*. 13 (1):1-10.
- López, J.; L. Dardanelli; D. Collino; R. Sereno y R. W. Racca. 1997. Efecto del grado de reposo invernal sobre la producción, consumo y eficiencia en el uso del agua en alfalfa cultivada bajo riego. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA) – INTA*. 28: 41-48.
- Machado, E. y C. Dávila. 1997. Efectos de la fertilización con N, P, K, micronutrientes y gallinazo en el establecimiento de la asociación de alfalfa (*Medicago sativa L.*) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 14: 111-128.
- Malhi, S. S.; M. A. Arshad; K. S. Gill and D. K. McBeath. 2008. Response of alfalfa hay yield to phosphorus fertilization in two soils in central Alberta. *Soil Science and Plant Analysis* 23: 717-724.
- Marino, A. y A. Berardo. 1998. Efecto de la fertilización fosfatada sobre la dilución de P en alfalfa. Effect of phosphorus fertilization on the P dilution in alfalfa. *Revista Argentina de Producción Animal*, vol. 18 – 1:114.
- Marino, A. y M. Agnusdei. 2004. Conceptos básicos para el manejo de la nutrición nitrogenada y fosfatada de las pasturas. 2º Jornada de actualización ganadera. INTA Balcarce. 8 pp.
- Marriott, E. E. and M. M. Wander. 2006. Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems. *Soil Science Society American Journal* 70: 950–959.
- Martin, D. 2009. Estadísticas climáticas del Valle de Viedma. Información técnica N° 27. Año 4, N° 9. EEA Valle Inferior-Convenio Pcia. de Río Negro-INTA. Ediciones INTA. 80 pp.

- Martin, G. M. y R. Rivera. 2004. Mineralización del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis* en un suelo ferralítico rojo de la Habana. *Cultivo Tropicales* 25: 83-88.
- Martínez, H. E.; J. P. Fuentes and E. Acevedo 2008. Soil organic Carbon and soil properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 8: 68-96.
- Martínez, R. M.; H. Chávez; A. Margiotta; A. Alarcón y R. S. Martínez. 2004. Producción de maíz en el Valle Inferior del río Negro: efecto de la distribución de semillas, la densidad de plantas y la fertilización nitrogenada. *Revista Pilquén. Sección agronomía. Año VI. N° 6: 7-13.*
- Masotta, H. 1970. Reconocimiento detallado de suelos con fines de riego en el área de influencia del canal secundario VII, Valle Inferior del río Negro. Viedma, Argentina. Estación Experimental IDEVI. Serie técnica N° 5. 98 pp.
- Mathews, B. W.; J. P. Tritschler; J. R. Carpenter and L. E. Sollenberger. 1999. Soil macronutrient distribution in rotationally stocked kikuyugrass paddocks with short and long grazing periods. *Soil Science and Plant Analysis* 30: 557-571.
- Mendoza Pedroza, S. I.; A. Hernández Garay; A. Pérez Pérez; A. R. Quero Carrillo; A. S. Escalante Estrada; J. L. Zaragoza Ramírez y O. Ramírez Reynoso. 2010. Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 1: 287-296.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1987. Chapter 8. Principles of plant nutrition: Azufre. Pp. 339-353. 4<sup>th</sup> Ed. International Potash Institute. Suiza. 696 pp.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1987. Chapter 9. Principles of plant nutrition: Fósforo. Pp. 355-375. 4<sup>th</sup> Ed. International Potash Institute. Suiza. 696 pp.
- Meyer, R. D.; D. B. Marcum; E. B. Orloff and J. J. Schmierer. 2008. Chapter 6. Alfalfa fertilization strategies. In: Summers, C. G. and D. H. Putman (eds.). *Irrigated alfalfa management for mediterranean and desert zones*. Publication 8292. Oakland: University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. 372 pp.
- Minoldo, G. V. 2010. Impacto de largo plazo de diferentes secuencias de cultivos del sudoeste bonaerense sobre algunas propiedades químicas del suelo y la productividad del trigo. Tesis para optar por el grado de Magister en Ciencias Agrarias. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. 152 pp.

- Minoldo, G.; J. A. Galantini; H. Kruger y S. Venanzi. 2008. Dinámica de las fracciones orgánicas de suelo bajo diferentes rotaciones en la región semiárida pampeana. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 13 al 16 de mayo de 2008 - Potrero de los Funes (SL), Argentina.
- Minoldo, G.; J. A. Galantini; R. Rosell; H. Kruger y S. Venanzi. 2008. Efecto de la fertilización sobre las fracciones orgánicas de suelo em diferentes rotaciones. En: J. A. Galantini. (ed.). Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Pp. 171-179. EDIUNS. 309 pp.
- Miñón, D. P.; J. M. Álvarez; J. J. Gallego; M. G. Garcilazo; R. A. Barbarossa y J. C. García Vincent. 2015. Recursos forrajeros para intensificar la producción de carnes en los valles regados patagónicos. Información técnica N° 36. Año 9, N° 18. EEA Valle Inferior-Convenio Pcia. de Río Negro-INTA. Ediciones INTA. 71 pp.
- Miñón, D. P.; R. A. Barbarossa y J. J. Gallego. 2013. Producción de forraje de gramíneas y sus variedades en valles regados de Patagonia Norte. Información técnica N° 34. Año 7-N° 16. EEA Valle Inferior-Convenio Pcia. de Río Negro-INTA. Ediciones INTA. 68 pp.
- Morón, A. 2000. Alfalfa: fertilidad de suelos y estado nutricional en sistemas agropecuarios de Uruguay. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. N° 8: 1-6.
- Mulvaney, R. L. 1996. Chapter 38. Nitrogen Inorganic forms. In: Sparks D. L.; A. L. Page; P. A. Helmke; R. H. Loeppert; P. N. Soltampour; M. A. Tabatabai; C. T. Johnston and M. E. Sumner (eds). Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Pp. 1123-1184. SSSA-ASA, Madison, Winsconsin, USA. 1309 pp.
- Nescier, I. de los M. y L. A. Dalle Fontana. 2003. Inoculación y fertilización fosfatada sobre el contenido proteico de alfalfa. Revista FAVE - Ciencias Agrarias 2: 79-85.
- Nieto, O. M.; J. Castro and E. Fernández Ondoño. 2012. Sustainable agricultural practices for Mediterranean olive groves. The effect of soil management on soil properties. Spanish Journal of Soil Science 2: 70-77.
- Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. In: D. Buxton (ed.). Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. Pp. 403-427. 2<sup>da</sup> ed. Soil Science Society of American, Madison, Wisconsin.

- Orloff, S. B. and H. L. Carlson. 1997. Intermountain Alfalfa Management. Publication 3366. University of California. Division of Agricultura and Natural Resources. 137 pp.
- Pacyna, S.; M. Schulz and H. W. Scherer. 2006. Influence of sulphur supply on glucose and ATP concentrations of inoculated broad beans (*Vicia faba minor* L.). *Biology and Fertility of Soils* 42: 324-329.
- Ponce, M. A. 2014. Producción de forraje. Estado de desarrollo de alfalfas con distintos grado de reposo. 64 pp.
- Quinteros C. E. y N. G. Boschetti 2005. Manejo del fósforo en pasturas. Proyecto fertilizar. EEA Pergamino. [www.producciónbovina.com.ar](http://www.producciónbovina.com.ar). Consulta: Diciembre de 2016.
- Quinteros, C. E.; N. G. Boschetti y N. A. Benavidez. 1997. Efecto residual y re-fertilización de pasturas implantadas en Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del Suelo* 15: 1-5.
- Quinteros, C. E.; N. G. Boschetti y N. A. Benavidez. 1995. Fertilización fosfatada de pasturas en implantación en suelos de Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del Suelo* 13: 60-65.
- Quiñonez, A.; L. Romero; L. A. Dalla Fontana; M. Longoni y S. Colombo. 2008. Fertilización fosforada y azufrada en alfalfa. *Revista FAVE – Ciencias Agrarias* 7: 75-80.
- Quiroga Garza, H. M. 2013. Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 503-516.
- Racca, R.; D. Collino; J. Dardanelli; D. Basigalup; N. González; E. Brenzoni; N. Hein y M. Balzarini. 2001. Contribución de la fijación biológica de nitrógeno a la nutrición nitrogenada de la alfalfa en la región pampeana. Publicación técnica. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. 56 pp.
- Racca, R. y N. González. 2007. Capítulo 4. Nutrición nitrogenada de la alfalfa e impacto de la fijación biológica del nitrógeno. En: D. H. Basigalup (ed.). *El cultivo de la alfalfa en la Argentina*. Pp: 67-79. E.E.A. Manfredi – INTA. Córdoba, Argentina. 475 pp.
- Rebuffo, M. 2000. Capítulo 1. Adopción de variedades en Uruguay. Variedades de alfalfa. En: Rebuffo M.; D. F. Risso y E. Restaino. (eds.). *Tecnología en alfalfa*. Pp. 3-26. Boletín de divulgación N° 69. INIA. 155 pp.

- Reetz, H. 1980. Phosphorus function in plants. Chapter 2: 5-8. In: Phosphorus in agriculture. Ed. Potash & Phosphate Institute.
- Reeves, D. W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil & Tillage Research*. 43: 131-137.
- Reinoso, L. G. 2014. Rendimiento de maíz en el Valle Inferior del río Negro: Evaluación de la frecuencia de riego y la fertilización nitrogenada. Tesis para optar por el grado de Magister en Ciencias Agrarias. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. 97 pp.
- Ribet, J. and J. J. Drevot. 1995. Increase in permeability to oxygen and in oxygen uptake of soybean nodules under limiting phosphorus nutrition. *Physiology Plant* 94: 298-304.
- Robson, A. D. 1983. Mineral nutrition. In: W. J. Broughton. (ed.) Nitrogen fixation. Pp. 36-55. Volume 3: Legumes. Oxford: Oxford University Press. 348 pp.
- Rodríguez, R.; A. Sosa y Y. Rodríguez. 2007. La síntesis de proteína microbiana en el rúmen y su importancia para los rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 41: 303-311.
- Rosell, R. A.; J. C. Gasparoni and J. A. Galantini. 2001. Chapter 21. Soil organic matter evaluation. In: R. Lal; J. M. Kimble; R. F. Follett and B.A. Stewart. (eds.). *Assessment Methods for soil Carbon*. Pp. 311-322. Serie Advances in Soil Science. 669 pp.
- Ruiz, I.; G. Chahin, y C. Pedraza. 1994. Variación de la composición química y digestibilidad de algunos forrajes durante su temporada de uso en dos lecherías de la región metropolitana. *Agricultura Técnica* 54: 160-168.
- Sardiña, M. C. y M. Barraco. 2013. Fertilización de pasturas de alfalfa en producción. Memoria técnica anual 2011-2012. EEA Gral. Villegas. Pp. 166-169.
- Sawyer, J.; B. Lang and D. Barker. 2011. Sulfur emerges as a nutritional issue in Iowa alfalfa production. *Better Crops* 95 (2): 6-7.
- Sevilla, G.; A. Pasinato y J. M. Garcia. 1995. Producción de forraje de alfalfa según momento de corte y agua suministrada. *Revista Argentina de Producción Animal* 15, N°1. Memorias: XIVº reunión latinoamericana de producción animal. 19º congreso de producción animal. Mar del Plata, Buenos Aires.
- Scherer, H. W.; S. Pacyna; K. Spoth and M. Schulz. 2008. Low levels of ferredoxin, ATP and leghemoglobin contribute to limited N<sub>2</sub> fixation of peas (*Pisum*

- sativus L.*) and alfalfa (*Medicago Sativa L.*) under S deficiency conditions. *Biology and Fertility of Soils* 44: 909-916.
- Sharratt, B. S.; D. G. Baker and C. C. Sheaffer. 1987. Climatic effect on alfalfa dry matter production. Part II. Summer harvest. *Agricultural and Forest Meteorology* 39: 121-129.
- Sharratt, B. S.; D. G. Baker and C. C. Sheaffer. 1986. Climatic effect on alfalfa dry matter production. Part I. Spring harvest. *Agricultural and Forest Meteorology* 37: 123-131.
- Soil Conservation Service. 1972. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soils samples, Soil Surv. Report. USDA, Washington (USA).
- Sommers, L. E. and D. W. Nelson, 1972. Determination of total phosphorus in soils: a rapid perchloric and digestion procedure. *Soil Science Society of American Proceedings* 36: 902-907.
- Soto, P. and E. Jahn. 1993. Use of irrigated lucerne in different growth stages. Evaluation under cutting. Pp: 869-870. *Proceeding of the XVIII International Grassland Congress, Palmerston North, New Zealand, Hamilton, New Zealand, Lincoln, New Zealand, Rockhampton, Australia. 8-21 February 1993.* New Zealand Grassland Association, Palmerston North, New Zealand.
- Spada, M. del C. 2015. *Avances en alfalfa. Año 25. N° 25.* EEA Manfredi-INTA. Córdoba, Argentina. 76 pp.
- Spada, M. del C. 2014. *Avances en alfalfa. Año 24. N° 24.* EEA Manfredi-INTA. Córdoba, Argentina. 98 pp.
- Spada, M. del C. 2013. *Avances en alfalfa. Año 23. N° 23.* EEA Manfredi-INTA. Córdoba, Argentina. 74 pp.
- Spada, M. del C. 2012. *Avances en alfalfa. Año 22. N° 22.* EEA Manfredi-INTA. Córdoba, Argentina. 97 pp.
- Spada, M. del C. 2011. *Avances en alfalfa. Año 21. N° 21.* EEA Manfredi-INTA. Córdoba, Argentina. 77 pp.
- Sunmer, M. E. and M. P. W. Farina. 1986. Phosphorus interactions with other nutrients and lime in field cropping systems. *Advances in Soil Science* 5. Springer – Verlag New York, Inc. Pp. 201.236.
- Tagliani, P; M. Villegas Nigra; Y. Di Nardo; O. Lascano; F. La Rosa; D. J. Miñón y A. Tellería Marlott. 2012. Valor agregado del sector primario en el Valle Inferior del Río Negro. Año 2011. Editorial EDUCO. Viedma (Río Negro). 48 pp.

- Tan, Z.; R. Lal; L. Owens and R. C. Izaurralde, 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil & Tillage Research*. 92: 53-59.
- Thompson, B. 2006. *Foundations of behavioral statistics: An insight-based approach*. New York: Guilford. 457 pp.
- Thorthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38: 55-94.
- Tiessen, H.; J. W. B. Stewart and A. Oberson. 1994. Innovative soil phosphorus availability indices: assessing organic phosphorus. In: *Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations*. SSSA Special Publication 40. Madison WI, USA. Pp. 143-162.
- Till, A. R. 2010. *Sulphur and sustainable agriculture*. International Fertilizer Industry Association. Primera edición. Paris, Francia. ISBN: 978-2-9523139-6-4. 68 pp.
- Toledo, D. M.; J. A. Galantini; E. Ferreccio; S. Arzuaga; L. Giménez y S. Vázquez. 2013. Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas natuarles y cultivados. *Ciencia del Suelo* 31: 27-33.
- Undersander, D.; N. Martin; D. Cosgrove; K. Kelling; M. Schmitt; J. Wedberg; R. Becker; C. Grau and J. Doll. 1991. *Alfalfa management guide*. American society of agronomy – University of Wisconsin. Madison, WI, EUA. 41 pp.
- Urbano, D. y C. Dávila. 2003. Evaluación del rendimiento y composición química de once variedades de alfalfa (*Medicago sativa*) bajo corte en la zona alta del estado Mérida, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 20: 97-107.
- Varin, S.; J. B. Cliquet; E. Personeni; J. C. Avice and S. Lemauviel-Lavenant. 2010. How does sulphur availability modify N acquisition of white clover (*Trifolium repens L.*)? *Journal of Experimental Botany* 61: 225-234.
- Vázquez Vázquez, C.; J. L. García Hernández; E. Salazar Sosa; B. Murillo Amador; I. Orona Castillo; R. Zuñiga Tarango; E. O. Rueda Puente y P. Preciado Rangel. 2010. Rendimiento y valor nutritivo del forraje de alfalfa (*Medicago sativa L.*) con diferentes dosis de estiércol bovino. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4: 363-372.
- Villegas Nigra, M.; P. R. Tagliani; F. La Rosa; D. J. Miñón; G. Jócana; G. Caruso; A. Bozal y M. G. Farroni. 2014. La cadena del heno de alfalfa en el Valle Inferior

- del Río Negro (República Argentina). Revista Pilquén. Sección agronomía. Año XVI, N° 14: 1-14.
- Vivas, H. 2006. Estrategias para la fertilización azufrada de alfalfa en un suelo del centro de Santa Fe. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. N° 30: 12-15.
- Vivas, H. S.; N. Vera Candioti y O. Quaino. 2010. Fósforo, azufre y calcio y sus relaciones para aumentar la producción de alfalfa. Revista Fertilizar - Año V - N° 14: 4-8.
- Wall, L. G. and G. Favelukes. 1991. Early recognition in the rhizobium meliloti-alfalfa symbiosis: root exudate factor stimulates root adsorption of homologous rhizobia. Journal of Bacteriology 11: 3492-3499.
- Whitbread, A. M.; J. G. Blair and D. B. V. Lefroy. 2000. Managing legume leys, residues and fertilizers to enhance the sustainability of wheat cropping systems in Australia. 2. Soil physical fertility and carbon. Soil & Tillage Research 54: 77-89.
- Zabala, R. 1997. Sección 2. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosforada en un alfalfar sometido a cortes durante cuatro años. En: G. Becker, G. Siffredi y G. Bonvissuto. (eds.). Intercambio de experiencias de pastoreo y conservación de forraje. Pp. 57-58. Seminario Argentino-Chileno. III<sup>a</sup> Reunión, Grupo regional patagónico de ecosistemas de pastoreo. INTA-FAO-INIA. 121 pp.
- Zabala, R. 1997. Producción de forraje de alfalfa en el Valle Inferior. Información técnica N° 12. EEA Valle Inferior-Convenio Pcia. de Río Negro-INTA. Ediciones INTA. 36 pp.
- Zalba, P.; O. Bravo; N. M. Amiotti y N. Peinemann. 2002. Métodos alternativos para determinar las disponibilidades de fósforo en suelos agrícolas. Ciencia del suelo 20 50:53.

## ANEXO

**Tabla 17.** Producción de forraje por corte para los ciclos 1 al 4, (Mg MS ha<sup>-1</sup>).

Tratamientos	Ciclo 1						Ciclo 2						Ciclo 3					Ciclo 4						
	Mg MS ha <sup>-1</sup>																							
Corte	1°	2°	3°	4°	5°	6°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	1°	2°	3°	4°	5°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
P0	S0	4,8	4,2	4,2	4,4	2,8	1,8	3,3	4,5	4,6	3,3	2,4	1,3	2,8	3,2	4,2	1,6	0,9	2,8	3,6	3,3	3,9	3,5	1,9
	S24	4,9	4,6	4,5	4,2	3,0	1,7	3,5	<b>5,0 *</b>	4,6	3,5	<b>2,9 *</b>	1,6	3,0	3,5	4,0	2,0	0,8	3,0	2,6	2,8	3,5	2,7	1,7
P20	S0	5,0	4,2	4,2	4,0	2,7	1,9	3,9	4,5	5,3	3,7	2,6	1,3	3,1	3,1	4,4	1,8	0,7	3,1	3,1	3,2	3,5	4,4	2,3
	S24	4,6	4,2	4,1	4,5	3,0	1,8	3,8	4,9	4,5	3,7	2,4	1,4	3,3	3,5	4,5	<b>2,1 *</b>	0,9	3,3	3,8	3,8	4,8	3,9	<b>2,7 *</b>
P40	S0	4,9	4,0	4,3	4,1	3,1	1,8	3,7	<b>5,5 *</b>	4,8	2,9	2,7	1,5	3,2	3,0	4,2	1,8	0,9	3,2	2,5	3,1	4,0	3,7	1,5
	S24	4,8	4,3	4,1	4,6	2,8	2,0	3,1	<b>5,2 *</b>	4,8	3,6	2,8	1,5	3,0	2,9	4,1	1,8	0,7	3,0	2,8	3,3	4,2	3,7	1,8
P80	S0	4,9	4,2	4,6	4,0	3,1	<b>2,1 *</b>	3,3	4,8	4,5	3,4	2,6	1,6	<b>3,5 *</b>	3,4	4,1	<b>2,0 *</b>	0,9	<b>3,5 *</b>	3,0	3,3	3,9	3,2	2,0
	S24	4,7	<b>4,7 *</b>	4,3	3,9	<b>3,1 *</b>	1,8	<b>4,0 *</b>	4,7	5,0	3,5	<b>3,1 *</b>	<b>1,7 *</b>	3,4	3,2	4,4	1,9	1,0	3,4	3,0	3,2	<b>5,1 *</b>	4,3	2,2
P160	S0	4,8	4,3	4,0	4,3	3,1	2,0	3,4	<b>5,2 *</b>	5,2	3,4	<b>2,9 *</b>	<b>1,8 *</b>	<b>3,7 *</b>	<b>3,9 *</b>	4,5	<b>2,4 *</b>	1,0	<b>3,7 *</b>	3,2	4,1	4,7	4,4	2,2
	S24	4,4	4,3	4,5	4,4	2,9	2,0	<b>4,2 *</b>	4,7	4,3	3,4	2,7	<b>1,9 *</b>	<b>3,9 *</b>	3,7	<b>5,6 *</b>	<b>2,1 *</b>	0,9	<b>3,9 *</b>	3,8	4,1	<b>5,0 *</b>	3,9	2,5

(\*) En cada columna indica diferencia significativa entre tratamientos ( $p < 0,05$ ) respecto al testigo, Test de Dunnett.

**Tabla 18.** Producción de forraje acumulado para los ciclos 1 al 4, (Mg MS ha<sup>-1</sup>).

Tratamientos		Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4
		kg ha <sup>-1</sup>			
P0	S0	22,4	19,4	12,7	19,5
	S24	22,9	21,1	13,4	16,4
P20	S0	21,9	21,2	13,2	19,6
	S24	22,4	20,7	14,4	22,5
P40	S0	22,3	21,2	13,1	18,1
	S24	22,6	21,0	12,4	18,9
P80	S0	23,0	20,2	13,9	19,1
	S24	22,7	22,1	13,9	21,3
P160	S0	22,6	21,9	15,5	22,4
	S24	22,6	21,2	16,3	23,4
Media		22,5	21,0	13,9	20,1

**Tabla 19.** Efecto de P y S sobre el contenido (kg ha<sup>-1</sup>) de N, S y B en el forraje de alfalfa para el ciclo 1 y 2.

Tratamientos		Ciclo 1			Ciclo 2		
		N	S	B	N	S	B
		kg ha <sup>-1</sup>					
P0	S0	707	27	2,1	578	41	2,5
	S24	771	27	2,1	563	42	2,4
P20	S0	773	29	2,1	597	40	2,5
	S24	745	33	2,2	555	30	2,3
P40	S0	698	32	2,3	605	32	2,3
	S24	705	28	2,1	617	33	2,3
P80	S0	728	31	2,3	612	32	2,3
	S24	764	33	2,4	644	42	2,3
P160	S0	754	30	2,2	623	42	2,4
	S24	725	29	2,0	547	39	2,3
Media		737	30	2,2	594	37	2,4

**Tabla 20.** Efecto de la fertilización con P y S sobre el contenido de COT, COP, Pt y St de la fracción particulada en la profundidad 0-5; 5-10 y 10-20 cm. Ciclo 2.

Profundidad (cm)		COT			COP			Pt			St		
		0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Tratamientos		Mg ha <sup>-1</sup>						kg ha <sup>-1</sup>					
P0	S0	15,9	16,5	32,4	2,9	2,1	2,6	22,1	16,5	22,7	32,7	20,3	35,8
	S24	16,5	16,2	25,9	3,1	2,3	1,6	26,4	24,8	19,8	33,0	28,7	27,7
P20	S0	16,9	15,3	30,3	2,8	1,6	2,5	24,5	25,1	30,0	37,5	25,0	43,4
	S24	16,3	17,5	27,5	2,7	2,7	2,0	21,4	23,7	22,7	28,7	32,4	28,1
P40	S0	17,3	15,8	29,5	3,4	1,9	2,5	20,0	16,8	17,0	23,8	18,8	31,5
	S24	15,7	16,1	28,0	2,9	2,1	1,9	26,5	20,7	16,6	37,2	32,4	28,2
P80	S0	16,4	16,6	31,2	2,8	2,1	3,1	25,0	16,2	26,1	24,4	21,6	38,5
	S24	17,2	16,4	28,9	2,8	1,9	1,9	27,8	20,4	21,9	30,7	30,9	22,7
P160	S0	16,2	14,3	28,0	2,4	1,8	1,7	28,2	25,9	21,2	33,7	31,1	25,8
	S24	17,9	15,2	28,3	2,6	1,7	2,1	22,8	15,6	27,4	47,2	45,8	31,1

**Tabla 21.** Efecto de P y S sobre la concentración (%) de N, P, K, Ca, S y B en el forraje de alfalfa para los cortes 1, 2 y 3. Ciclo 1 y 2.

Cortes	Tratamientos	Ciclo 1						Ciclo 2							
		N	P	K	Ca	S	B	N	P	K	Ca	S	B		
		%													
1°	P0	S0	3,49	0,11	1,34	1,55	0,1	92	3,56	0,36	2,24	1,55	0,24	116	
		S24	3,55	0,09	1,23	1,57	0,11	101	3,12	0,32	2,39	1,76	0,22	112	
	P20	S0	3,76*	0,12*	1,41	1,82*	0,11	132*	3,16	0,35	2,53	1,86	0,24	117	
		S24	3,54	0,12	1,45	1,52	0,11	121*	2,88	0,35	2,21	1,64	0,22	117	
	P40	S0	3,3	0,11	1,25	1,79	0,12	130*	3,03	0,34	1,91	1,34	0,23	114	
		S24	3,08	0,11	1,31	1,61	0,12	132*	3,13	0,38	2,13	1,56	0,25	107	
	P80	S0	3,43	0,11	1,35	1,71	0,13*	126*	3,2	0,39	2,31	1,69	0,24	111	
		S24	3,46	0,13*	1,4	1,81	0,14*	139*	3,44	0,42	2,27	1,64	0,27	113	
	P160	S0	3,67*	0,12	1,07	1,43	0,1	88	3,29	0,41	2,34	1,77	0,28	109	
		S24	3,21	0,1	0,99	1,28	0,11	106	3,27	0,35	2,05	1,94	0,32*	123	
	2°	P0	S0	2,91	0,11	1,42	1,42	0,14	99	2,64	0,26	2,23	1,64	0,25	108
			S24	3,24*	0,1	1,12	1,22	0,13	95	2,83	0,24	1,88	2,14	0,32	129
P20		S0	3,57*	0,1	0,82	1,14	0,13	85	2,72	0,26	1,74	1,81	0,29	126	
		S24	3,00*	0,13*	2,26*	1,78*	0,17*	116*	2,8	0,16	1,57	0,98	0,18	111	
P40		S0	2,86	0,12	1,5	1,51	0,15	111	2,89	0,16	1,12	1,08	0,16	133	
		S24	2,9	0,11	1,26	1,21	0,11	104	2,77	0,14	0,91	0,79	0,14	119	
P80		S0	3,15*	0,14*	2,30*	1,55	0,16*	112	3,2	0,21	1,27	1,31	0,17	153*	
		S24	3,31*	0,13*	2,39*	1,64*	0,16*	128*	3,16	0,21	1,02	1,35	0,19	126	
P160		S0	3,44*	0,13*	1,35	1,59	0,16*	141*	2,74	0,28	1,94	1,87	0,25	138	
		S24	3,40*	0,14*	1,32	1,66*	0,17*	95	2,59	0,26	1,85	1,59	0,22	138	
3°		P0	S0	2,99	0,11	1,69	1,41	0,13	113	2,62	0,17	1,24	1,02	0,15	130
			S24	3,25*	0,12	1,4	1,44	0,13	116	2,64	0,11	0,52	0,69	0,14	105
	P20	S0	3,57*	0,1	0,82	1,14	0,13	85	2,27	0,2	1,29	1,43	0,21	131	
		S24	3,32*	0,12	1,69	1,51	0,13	83	2,32	0,18	1,57	0,91	0,11	126	
	P40	S0	2,87	0,1	1,19	1,60*	0,14	92	2,69	0,09	0,36	0,37	0,02	89	
		S24	2,91	0,1	1,21	1,37	0,11	68	2,38	0,15	1,03	0,91	0,13	117	
	P80	S0	2,95	0,09	0,8	1,23	0,09	67	2,54	0,19	1,46	1,06	0,17	134	
		S24	3,21*	0,12*	1,29	1,56	0,12	84	2,75	0,15	0,95	0,78	0,1	115	
	P160	S0	3,19*	0,12*	1,3	1,42	0,12	78	2,86	0,18	1,15	1,0	0,16	105	
		S24	2,85	0,1	0,92	1,25	0,09	62	2,63	0,18	1,61	1,09	0,18	129	

(\*) En cada columna indica diferencia significativa entre tratamientos ( $p < 0,05$ ) respecto al testigo, test de Dunnett.

**Tabla 22.** Efecto de P y S sobre la concentración (%) de N, P, K, Ca, S y B en el forraje de alfalfa para los cortes 4, 5 y 6. Ciclo 1 y 2.

Cortes	Tratamientos	Ciclo 1						Ciclo 2							
		N	P	K	Ca	S	B	N	P	K	Ca	S	B		
%															
4°	P0	S0	2,87	0,1	1,47	1,37	0,12	80	2,65	0,22	1,9	1,1	0,21	134	
		S24	2,95	0,11	1,44*	1,24	0,12	65	2,71	0,16	1,61	0,94	0,16	115	
	P20	S0	3,02	0,11	1,10*	1,45	0,15*	79	3,1	0,13	0,95	0,61	0,09	96	
		S24	3,06	0,12	1,17*	1,61*	0,16*	79	2,93	0,18	0,97	0,86	0,15	133	
	P40	S0	2,88	0,1	1,29*	1,58*	0,16*	83	3,31	0,16	0,61	1,06	0,18	147	
		S24	3,16*	0,09	0,79	1,3	0,12	60	3,16	0,2	0,55	1,25	0,22	149	
	P80	S0	2,47	0,12	1,28*	1,56*	0,16*	80	2,69	0,14	0,37	0,62	0,1	132	
		S24	2,85	0,12	1,26*	1,55*	0,15*	79	2,85	0,22	0,29	1,29	0,21	153	
	P160	S0	2,75	0,12	1,40*	1,52*	0,13	87	2,98	0,27	0,41	1,39	0,26	159	
		S24	2,9	0,09	0,86	1,2	0,11	62	3,19	0,2	0,32	1,39	0,23	154	
	5°	P0	S0	3,15	0,11	0,84	1,58	0,11	83	2,83	0,13	0,45	1,02	0,14	140
			S24	3,45*	0,12*	1,31*	1,62	0,13*	82	2,4	0,1	0,31	1,12	0,17	131
P20		S0	3,24	0,12*	1,44*	1,77	0,13*	101	2,26	0,12	0,06	1,19	0,13	118	
		S24	3,46*	0,12*	1,53*	1,90*	0,15*	102	2,46	0,13	0,38	1,22	0,12	114	
P40		S0	3,18	0,11	1,51*	1,58	0,14*	100	2,46	0,08	0,61	0,91	0,11	88	
		S24	3,08	0,11	1,36*	1,57	0,12	93	2,7	0,08	0,42	1,08	0,11	48	
P80		S0	3,25	0,12*	1,37*	1,76	0,13*	103*	2,39	0,08	0,58	1,11	0,06	12	
		S24	3,63*	0,13*	1,38*	1,72	0,13*	84	2,36	0,07	0,49	1,2	0,03	4	
P160		S0	3,08	0,14*	1,35*	1,90*	0,15*	88	2,08	0,09	0,34	0,72	0,08	29	
		S24	3,15	0,13*	1,33*	1,79	0,14*	103*	2,4	0,08	0,57	0,29	0,09	51	
6°		P0	S0	4,01	0,14	1,68	1,33	0,15	83	2,66	0,05	0,51	0,21	0,11	66
			S24	4,37*	0,17*	1,7	1,55*	0,17*	93	2,59	0,05	0,44	0,27	0,21*	75
	P20	S0	4,28*	0,17*	1,57	1,52*	0,17*	89	2,53	0,06	0,41	0,19	0,12	57	
		S24	4,04	0,15	1,96*	1,54*	0,17*	101*	2,59	0,08	0,4	0,31	0,12	58	
	P40	S0	4,37*	0,16*	1,79	1,60*	0,19*	109*	3,56*	0,08	0,39	0,41	0,16	76	
		S24	4,04	0,16*	1,27	1,62*	0,18*	115*	3,90*	0,06	0,45	0,49	0,16	64	
	P80	S0	4,21*	0,16*	1,19	1,57*	0,16*	97*	3,60*	0,08	0,37	0,69*	0,1	61	
		S24	4,27*	0,17*	1,38	1,67*	0,19*	117*	3,50*	0,10*	0,41	0,77*	0,1	65	
	P160	S0	4,35*	0,18*	1,49	1,64*	0,18*	115*	3,82*	0,09	0,55	0,69*	0,12	42	
		S24	4,40*	0,19*	1,63	1,85*	0,20*	110*	3,83*	0,09	0,3	0,84*	0,11	42	

(\*) En cada columna indica diferencia significativa entre tratamientos ( $p < 0,05$ ) respecto al testigo, Test de Dunnett.

**Tabla 23.** Coeficientes de variación de la concentración de nutrientes en el forraje para los cortes del ciclo 1 y 2.

Cortes	Ciclo 1						Ciclo 2					
	N	P	K	Ca	S	B	N	P	K	Ca	S	B
	%											
1°	6	10	12	11	11	16	6	9	8	10	12	4
2°	8	13	35	15	13	15	7	23	29	30	27	11
3°	8	11	26	11	15	21	7	22	37	30	38	12
4°	7	11	19	10	14	12	8	23	70	28	31	14
5°	6	8	14	7	9	9	9	24	39	29	39	69
6°	4	9	15	8	9	12	18	24	17	50	27	19