



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

TESIS DE MAGISTER EN CIENCIAS AGRARIAS

Impacto de la fertilización con nitrógeno y azufre  
sobre el valor nutritivo del forraje y rendimiento de  
trigo doble propósito

Ing. Agr. Rodrigo D. BRAVO

Bahía Blanca, Argentina

2014

## 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 Febrero de 2009 y Agosto de 2014, bajo la dirección del Dr. Hugo E. Laborde.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el ....../...../....., mereciendo la  
calificación de ..... (.....)

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur por brindarme la infraestructura y materiales disponibles durante el desarrollo de la investigación.

A la Comisión de Investigaciones Científicas por el financiamiento brindado para la conducción de este estudio

Al Dr. Hugo E. Laborde por la confianza depositada en mí y constante mensaje de entusiasmo y dedicación para avanzar en mi camino sin importar las dificultades, manteniendo el profesionalismo y equilibrio.

A la Mg. M. de las Mercedes Ron por su valioso aporte intelectual en distintas instancias de este trabajo, así como también, por su constante predisposición.

Al Ing. Agr. Tomás Loewy por su predisposición, asesoramiento y gestión durante el inicio de esta experiencia.

Al equipo de trabajo junto al cual desempeño mis actividades diarias. Las cuales más allá de cumplir un rol trascendente dentro de nuestra unidad académica, su calidad humana y amistad brindada hacen de mi labor una actividad placentera.

A mi familia y amistades que son quienes le dan sentido a mi vida.

Rodrigo D. Bravo

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la fertilización con nitrógeno (N) y azufre (S) sobre el rendimiento y calidad nutricional en el forraje y grano de trigo doble propósito. El Experimento I, conducido a campo sobre parcelas experimentales bajo un diseño en bloques completos y aleatorizados ( $n=4$ ). Los niveles empleados en los tratamientos fueron 0 y 60 kg N ha<sup>-1</sup> y 0 y 20 kg S ha<sup>-1</sup> aplicados como UAN y tiosulfato de amonio. Fue sembrado trigo var. ACA 304 el 13/03/2009 y se realizaron dos cortes de forraje, el primero cuando el cultivo logró una altura de 30 cm (02/06/2009), y el último al alcanzar el estado de primer entrenudo hueco visible (28/07/2009). El forraje fue secado y procesado para: fibra detergente neutro y ácido (FDN, FDA), lignina detergente ácido (LDA), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), proteína bruta (PB) y azufre (S). El rendimiento del grano fue corregido al 12% de humedad. Además se registró el peso de 1000 granos y determinó el contenido de PB y S. Experimento II y III fueron conducidos en invernadero sobre macetas, utilizándose trigo variedad ACA 304, bajo un diseño completamente aleatorizado ( $n=4$ ). Los tratamientos emplearon los siguientes niveles: 0, 30, 60 y 90 kg N ha<sup>-1</sup> y 0, 15 y 30 kg S ha<sup>-1</sup>, aplicados en inicios de macollaje con UAN y sulfato de potasio como fuente nutritiva. Para el Experimento II la siembra se efectuó el 02/07/2009, registrándose cada 3 días altura de planta para posteriormente estimar la tasa de crecimiento del cultivo. El rendimiento de MS se determinó por corte al momento de aparición del primer entrenudo hueco visible (21/09/2009). En el Experimento III, la siembra fue el 25/03/2010 efectuándose un solo corte a inicios de la elongación del ápice caulinar (06/08/2010). Las muestras fueron secadas y procesadas para MS, digestibilidad *in vitro* (DIVMS), macro y micro-nutrientes: N, P, S, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Mo, y Zn. La totalidad de los datos fueron analizados por estadística descriptiva, ANOVA y correlaciones. Durante el Experimento I, la precipitación anual fue de 370 mm, correspondiendo el 57% al ciclo del cultivo. Esto afectó sensiblemente la respuesta del cultivo a la fertilización con N y S. El primer corte produjo 1447 kg MS ha<sup>-1</sup>, mientras que para el segundo el rendimiento

cayó un 73%. Aun los bajos niveles de producción los tratamientos que tuvieron aplicación de S incrementaron su producción un 11%. Por su parte, el forraje cosechado exportó alrededor de 70 kg N ha<sup>-1</sup> y 4 kg S ha<sup>-1</sup>. Sólo fue observado un efecto altamente significativo en el agregado de S sobre la concentración de S y DIVMS en el forraje, con un incremento de 10 y 6,6%, respectivamente, sobre los tratamientos sin adición de S. El rendimiento de grano no fue afectado por la fertilización. Sin embargo tuvo un incremento de 14% en aquellos tratamientos que recibieron S. El estrés hídrico afectó el llenado de grano, aumentando consecuentemente la proporción de PB en el grano. En el Experimento II el rendimiento de MS se incrementó con cada nivel de N aplicado, mientras que el S no mostró efectos significativos. La altura de planta y la tasa de crecimiento no fueron afectadas por la fertilización, sin embargo, los mayores niveles de N empleado mostraron los registros más altos. En el Experimento III la DIVMS mostró interacción NxS. Sólo se observó efecto significativo del N en aquellas macetas que no fueron fertilizadas con S. Rendimiento de MS y concentración de N respondieron positiva y significativamente a N. Sólo la concentración de S se incrementó con la adición del mismo elemento. MS osciló entre 1,55 y 3,61 g por maceta y exhibió una respuesta lineal hasta 50 kg N ha<sup>-1</sup>. El agregado de S redujo consistentemente la concentración Mo, atribuible a la competencia iónica por los sitios de absorción en el sistema radical. En forma análoga puede explicarse el decremento de K por su competencia con el anión sulfato. Las relaciones N:S y K/(Ca+Mg) fueron superiores en la mayoría de los casos a los valores críticos de 12 y 2,2, respectivamente. En este último caso, el forraje mantuvo un elevado riesgo de contraer tetania en animales a pastoreo. Los efectos opuestos de la fertilización N-S sobre la calidad del forraje ameritan ampliar el estudio en otros suelos de la zona. Aun en condiciones de baja respuesta a la fertilización se observó un impacto positivo, aunque no relevante, de N y S sobre la calidad del forraje de trigo. Esto sugiere que bajo situaciones de precipitación normal se obtendrían respuestas positivas tanto en el rendimiento como en la calidad del forraje y grano de trigo.

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of nitrogen (N) and sulfur (S) fertilization on the yield and nutritional value of the forage and grain of dual purpose wheat (*Triticum aestivum* L). Experiment I was conducted in experimental plots in a randomized complete blocks design (n = 4). The treatment levels used were 0 and 60 kg N ha<sup>-1</sup> and 0 and 20 kg S ha<sup>-1</sup> applied as UAN and ammonium thiosulfate. Wheat (cv. ACA 304) was sown on 13/03/2009. Two cuts were performed, the first one when the crop reached 30 cm height (02/06/2009), and the second one when the first hollow stem was observed (28/07/2009). Forage was dried and processed for: neutral and acid detergent fiber (NDF, ADF), acid detergent lignin (ADL), *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD), crude protein (CP) and sulfur (S) content. Grain yield was adjusted to 12% moisture. The weight of 1000 grains was recorded, and grains were also analyzed for CP and S content. Experiment II and III were conducted in a greenhouse. Wheat was planted in pots using the variety ACA 304 in a completely randomized design (n = 4). Fertilization levels assigned to treatments were: 0, 30, 60 and 90 kg N ha<sup>-1</sup> and 0, 15 and 30 kg S ha<sup>-1</sup>, applied as UAN and potassium sulfate at early tillering. For Experiment II sowing was on 02/07/2009, recording plant height every 3 days to estimate growth rate. At first hollow stem stage (21/09/2009), the DM yield was determined by clipping at surface level. Experiment III, wheat was planted on 25/03/2010. The whole biomass was cut at early elongation of the shoot apex (06/08/2010). The samples were dried and processed for DM, IVDMD, macro and microelement contents of N, P, S, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Mo, and Zn. All the data were analyzed by descriptive statistics, ANOVA and correlations. In Experiment I, the annual precipitation was 370 mm, 57% of that corresponding to the crop cycle. This fact appeared to have affected crop response to fertilization with N and S. The first cut was 1447 kg DM ha<sup>-1</sup>, while the second the yield decreased by 73%. Despite of overall low DM yield, S application increased production by 11%. Besides that, the harvested forage exported about 70 kg N ha<sup>-1</sup> and 4 kg S ha<sup>-1</sup>. It was only observed a highly significant effect of S addition on the S content

and forage IVDMD, with increases of 10 and 6.6% respectively, contrasted with treatments without S addition. Grain yield was not affected by the fertilization treatments. However, it increased 14% in those treatments receiving S. Water stress affected grain filling, thus increasing the proportion of CP in the grain. In Experiment II DM yield increased with each level of N applied, while the S showed no significant effect. Plant height and growth rate were not affected by fertilization. However, the highest levels of N applied showed also the highest growth rates. In Experiment III an interaction NxS in IVDMD was detected. Significant effects were only observed in those pots fertilized with N, but without S. A positive and significant response in DM yield and N concentration to N fertilization was detected. An increase in S concentration was detected only when this element was added. DM yield ranged between 1.55 and 3.61 g per pot and exhibited a linear response up to 50 kg N ha<sup>-1</sup>. The addition of S consistently reduced Mo concentration, probably due to ionic competition for absorption sites in the root system. By analogy, this would explain the decrease of K concentration due to its competence with the sulfate anion. Relations N:S and K / (Ca + Mg) were higher in most cases than the critical values of 12 and 2.2, respectively. In the latter case, the feed had an elevated risk of tetany in grazing animals. The variable effects of N and S fertilization on wheat forage quality justify expanding this study to other soil types of the area. Even the low general response to fertilization, it was observed, a positive although not significant N and S effect on forage quality of wheat pasture. This suggests that under better rainfall conditions positive responses in both yield and quality of forage and grain of wheat could be expected.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>PREFACIO</b> .....	i
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	ii
<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>CAPITULO I</b> .....	1
<b>Revisión de Literatura</b> .....	1
1.1. <i>El sistema agrícola – ganadero en el contexto mundial y local</i> .....	1
1.2. <i>Importancia del trigo como cultivo doble propósito</i> .....	3
1.3. <i>Nutrición mineral en trigo doble propósito</i> .....	6
1.4. <i>Impacto del agregado de nitrógeno al cultivo de trigo doble propósito</i> .	8
1.4.1. <i>Efecto sobre componentes de producción forrajera</i> .....	8
1.4.2. <i>Efecto sobre la composición química del forraje y grano</i> .....	9
1.5. <i>Impacto del agregado de azufre al cultivo de trigo doble propósito</i> ....	11
1.5.1. <i>Efecto sobre componentes de producción forrajera</i> .....	11
1.5.2. <i>Efectos sobre la composición química del forraje y del grano</i> .....	14
1.6. <i>Relación entre la composición química del forraje y la productividad animal</i> .....	16
Hipótesis de Trabajo .....	22
Objetivo General .....	22
Objetivos Específicos .....	22
<b>CAPITULO II</b> .....	23
<b>Materiales y Métodos</b> .....	23
2.1. <i>Experimento I. Ensayo a campo sobre parcelas experimentales</i> .....	23
2.1.1. <i>Sitio experimental y características edafo-climáticas</i> .....	23

2.1.2.	<i>Cultivo de trigo y desarrollo experimental</i> .....	23
2.1.3.	<i>Determinaciones en el forraje</i> .....	24
2.1.4.	<i>Determinaciones en el grano</i> .....	25
2.1.5.	<i>Análisis estadístico</i> .....	26
2.2.	<i>Experimento II. Respuesta morfo-fisiológica de trigo cultivado en invernadero</i> .....	27
2.2.1.	<i>Sitio y desarrollo del experimento</i> .....	27
2.2.2.	<i>Tratamientos y diseño experimental</i> .....	27
2.2.3.	<i>Determinaciones</i> .....	28
2.2.4.	<i>Análisis estadístico</i> .....	28
2.3.	<i>Experimento III. Rendimiento y composición química de biomasa de trigo cultivado en invernadero</i> .....	29
2.3.1.	<i>Sitio y desarrollo del experimento</i> .....	29
2.3.2.	<i>Tratamientos y diseño experimental</i> .....	29
2.3.3.	<i>Determinaciones</i> .....	29
2.3.4.	<i>Análisis estadístico</i> .....	30
CAPITULO III	.....	31
<b>Resultados</b>	.....	31
3.1.	<i>Experimento I. Ensayo a campo sobre parcelas experimentales</i> .....	31
3.1.1.	<i>Información climática durante el período de estudio</i> .....	31
3.1.2.	<i>Estudios sobre el forraje</i> .....	32
3.1.3.	<i>Determinaciones en el grano</i> .....	34
3.1.4.	<i>Relación N:S en forraje y grano</i> .....	35
3.2.	<i>Experimento II. Respuesta morfo-fisiológica de trigo cultivado en invernadero</i> .....	36
3.2.1.	<i>Rendimiento de materia seca total</i> .....	36
3.2.2.	<i>Altura de planta y tasa de crecimiento</i> .....	36

3.3. Experimento III. Rendimiento y composición química de trigo cultivado en invernadero .....	38
3.3.1. Rendimiento de materia seca total .....	38
3.3.2. Digestibilidad de la materia seca .....	38
3.3.3. Macronutrientes y Micronutrientes.....	39
3.3.4. Relación N:S en biomasa aérea .....	41
<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>42</b>
<b>Discusión General</b> .....	<b>42</b>
4.1. Ensayo a campo .....	42
4.1.1. Efecto de la fertilización sobre el rendimiento de forraje.....	42
4.1.2. Efecto de la fertilización sobre el valor nutritivo del forraje .....	43
4.1.3. Efecto de la fertilización sobre el grano .....	44
4.2. Ensayo en invernadero .....	46
4.2.1. Efecto de la fertilización sobre la evolución del forraje .....	46
4.2.2. Efecto de la fertilización sobre el valor nutritivo del forraje .....	48
<b>Conclusiones</b> .....	<b>53</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>54</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>71</b>
Tablas de ANVA.....	71
Trabajos presentados a congresos.....	78

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Requerimientos aproximados de elementos esenciales minerales en kg por tonelada de materia seca o grano cosechado	7
Tabla 1.2.	Composición química porcentual de diferentes verdes de invierno sobre base seca	18
Tabla 2.1.	Expresión y métodos de determinación de rendimiento de MS y composición química del forraje	25
Tabla 2.2.	Expresión de resultados y métodos de determinación de las variables estudiadas en granos	26
Tabla 2.3.	Expresión y métodos de determinación de las variables estudiadas en biomasa aérea	30
Tabla 3.1.	Contenido medio porcentual de proteína bruta, azufre total, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lignina detergente ácido y digestibilidad <i>in vitro</i> de la MS en forraje de trigo doble propósito fertilizado con N y S	34
Tabla 3.2.	Rendimiento de grano, Peso de 1000 granos y contenido de proteína bruta y azufre en grano	35
Tabla 3.4.	Contenido de macronutrientes (N, S, P, K, Ca y Mg) y micronutrientes (Cu, Mn, Mo y Zn) en biomasa aérea de trigo tratado con distintos niveles de N y S	40

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Estimación de la producción total y área sembrada de trigo en la República Argentina entre 1970 y 2012	4
Figura 1.2.	Producción de grano vs producción de carne	5
Figura 1.3.	Rendimiento de grano de trigo de acuerdo al momento de finalizar el pastoreo	5
Figura 3.1.	Precipitación media del año 2009 e histórica y número de días con temperaturas por debajo de los 0°C	31
Figura 3.2.	Producción de forraje en trigo doble propósito fertilizado con N y S	32
Figura 3.3.	Contenido de materia seca del forraje en cada corte	33
Figura 3.4.	Relación N:S presente en el forraje y grano de trigo doble propósito	35
Figura 3.5.	Rendimiento de materia seca total de plantas de trigo fertilizadas con nitrógeno y azufre	36
Figura 3.6.	Altura de planta y tasa de crecimiento de plantas de trigo en función del tiempo	37
Figura 3.7.	Rendimiento de materia seca total en respuesta a dosis crecientes de N y S	38
Figura 3.8.	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la biomasa forrajera en respuesta al agregado de N y S	39
Figura 3.9.	Relación N:S de la biomasa aérea de trigo cultivado en maceta y sometido a distintas dosis de fertilización nitroazufrada	41
Figura 4.1.	Relación entre rendimiento de materia seca y grano de trigo bajo distintos tratamientos de fertilización nitroazufrada	45

# CAPITULO I

## Revisión de Literatura

### 1.1. El sistema agrícola – ganadero en el contexto mundial y local

La utilización de sistemas mixtos agrícola – ganadero ha sido difundida globalmente a lo largo de miles de años (Smith, 1995). Diversos estudios sostienen que el sinergismo de ambas actividades, mejora no sólo la productividad general sino también, la sostenibilidad de los agro-ecosistemas (Arzadún et al., 2003; Ewing and Flugge, 2004; Francia et al., 2006; Franke et al., 2010; Liebig et al., 2007). Según Russelle et al. (2007), durante el último siglo en Estados Unidos, la especialización en prácticas tales como rotaciones maíz-soja, monocultivo de trigo o ganadería estrictamente intensiva ha conducido al deterioro en la estabilidad de los recursos.

La región pampeana, ha tenido una extensa tradición en el uso eficiente de sistemas mixtos. Estos se encuentran hoy aparentemente amenazados por el monocultivo de soja, o planteos estrictamente agrícolas en general. De modo que la integración entre la agricultura y la ganadería vuelve a retomar importancia.

Por otro lado, en aquellos ambientes donde las pasturas templadas constituyen la principal fuente de alimento de rumiantes, las mismas presentan oscilaciones en calidad y cantidad que frecuentemente no permiten un adecuado ajuste con la demanda de nutrientes del ganado de carne o leche, a lo largo del ciclo anual (Leaver, 1985; Elizalde y Santini, 1992). Como resultado de esto, son originadas bajas ganancias de peso en las estaciones de otoño e invierno. La estacionalidad en la producción de las pasturas templadas puede atenuarse mediante la utilización de cereales forrajeros (Arzadún et al., 2003) y

con el suministro de diferentes reservas forrajeras en la época crítica. Este tipo de prácticas permite aumentar la carga animal y así incrementar la eficiencia de los establecimientos (Phillips, 1988).

La estabilidad en los ingresos que percibe el productor con este manejo resulta mayor ya que dos productos, carne y cereal, se encuentran disponibles para su comercialización mejorando de este modo los retornos económicos en el establecimiento (Díaz et al., 1986; Redmon et al., 1995; Arroquy, 2000; Arzadún et al., 2003; Harrison et al., 2011; Radcliffe et al., 2012).

Siguiendo este enfoque, una estrategia que puede contribuir al mantenimiento de un sistema mixto es la utilización de cultivos con aptitud de doble propósito. Esta práctica disminuye la habitual competencia que se produce en cada establecimiento entre el área destinada a cultivos forrajeros y aquella que se destinará a cultivos de grano (Russelle et al., 2007, Arzadún et al., 2010).

Otra particularidad del cereal doble propósito se observa en el uso del agua. En efecto, Virgona et al. (2006) evaluaron la respuesta al pastoreo sobre la eficiencia de uso del agua, entre otros parámetros, en trigo doble propósito. Para ello introdujeron, dentro de un lote de trigo, jaulas móviles de clausura para ser sometidas a seis periodos diferentes de pastoreo con ovejas gestantes (0, 15, 25, 33, 41 y 51 días). Los resultados mostraron que aquellos sectores pastoreados utilizaron menos agua que los no pastoreados. Los autores atribuyen esto a una menor transpiración producto de la reducción en el área foliar, la cual resultó menor respecto del incremento de la evaporación de agua desde el suelo. El agua almacenada fue diferida hasta luego de la antesis para llenado de grano, momento en el que es máxima la eficiencia de uso de agua (Angus y van Herwaarden, 2001). De este trabajo se desprende entonces el interés despertado por el cultivo doble propósito bajo condiciones de escasez de precipitaciones.

## 1.2. Importancia del trigo como cultivo doble propósito

Los verdeos de invierno son un recurso forrajero de alto valor nutritivo, utilizado en gran parte de la región del sudoeste de la provincia de Buenos Aires para alimentar bovinos de altos requerimientos (Martínez et al., 2010). Sin embargo, también pueden constituir una opción como pastoreo complementario para animales de requerimientos de menor magnitud, tales como vacas de cría que consumen forrajes de baja calidad (Arelovich y Laborde, 2003). En este sentido, el trigo u otro cultivo productor de grano, puede además aportar forraje a modo de verdeo de invierno, constituyendo entonces un doble propósito.

Hernández (1969) informó que a mediados de la década del '60, el 28% de la superficie de trigo en la provincia de La Pampa se destinaba al pastoreo con ovinos. Posteriormente, transformaciones en el comercio internacional de granos, hicieron que la rentabilidad de los granos superase ampliamente a la aportada por la cría de ganado. Así, los programas de mejoramiento de cultivares de trigo, estuvieron orientados hacia mayores rendimientos, portes bajos y ciclos cortos (Virgona et al., 2006). El advenimiento de estos nuevos cultivares al país, junto con el incremento de la superficie destinada a la agricultura, hizo que cayera en desuso el pastoreo de cereales invernales.

Sin embargo, el pastoreo de trigo se ha mantenido vigente en países como Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda, España, Marruecos, Pakistán, Siria y Uruguay (García del Moral et al., 1995; Redmon et al., 1995; Pinchak et al., 1996; MacKown y Caver, 2005; Francia et al., 2006). Durante años, el Estado de Oklahoma, en Estados Unidos, ha destinado alrededor de 40 a 50% de su superficie sembrada de trigo a la práctica de doble propósito; 20 a 30% únicamente a pastoreo y la fracción restante a cosecha de grano (Hossain et al., 2004).

Según datos obtenidos por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP), la producción del cultivo de trigo en el país, ha tendido a incrementarse en los últimos 40 años (Figura 1.1).

Sin embargo, Argentina ha presentado recientemente dos eventos consecutivos de sequía, sumado a la intervención en el mercado granario por

parte del poder político, afectando sensiblemente la voluntad para cosecha de grano, reduciendo sustancialmente el área sembrada.

Por otro lado, la disponibilidad actual de herramientas tecnológicas (genética de alto potencial de rendimiento, siembras de labranza reducida), el elevado precio de *commodities* a nivel mundial, técnicamente podría suponerse que la superficie destinada a siembra podría incrementarse aun más, impactando directamente sobre la superficie ganadera.

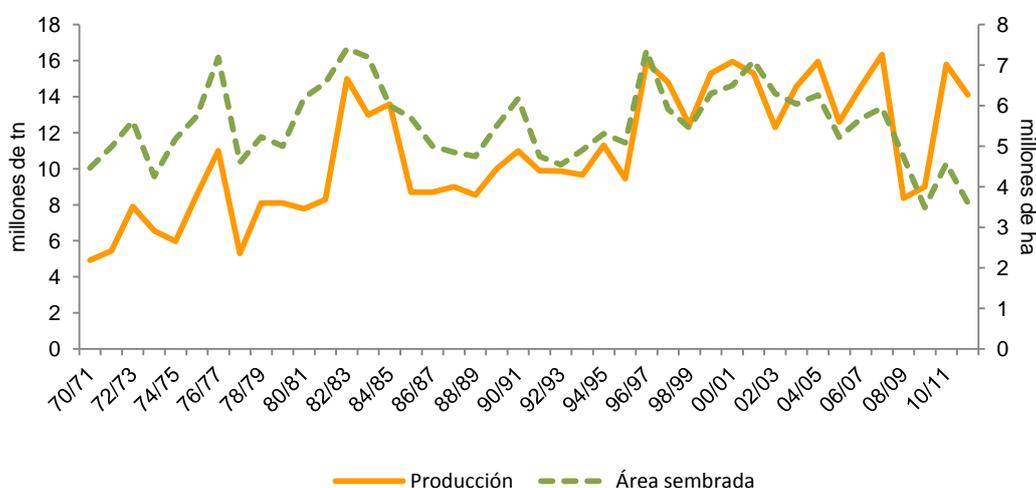


Figura 1.1. Estimación de la producción total y área sembrada de trigo en la República Argentina entre 1970 y 2012 (MAGyP, 2012).

Luego de una experiencia de 5 años, Hernández (1969) informó que el pastoreo temprano de trigo produjo 88 y 860 kg ha<sup>-1</sup> en la ganancia de peso y grano respectivamente. Mientras que, Arzadún et al. (2003) en un estudio de tres años obtuvieron una ganancia promedio anual de 283 kg ha<sup>-1</sup> de peso vivo y 955 kg ha<sup>-1</sup> de grano de trigo doble propósito, con alta presión de pastoreo. Información similar reportada por Horn et al. (1994) muestra una relación lineal inversa entre la producción de grano y ganancia de peso. Así, un incremento en el peso vivo de los animales, por unidad de área, asociada a un aumento en la carga animal, redujo en forma progresiva el rendimiento de grano (Figura 1.2).

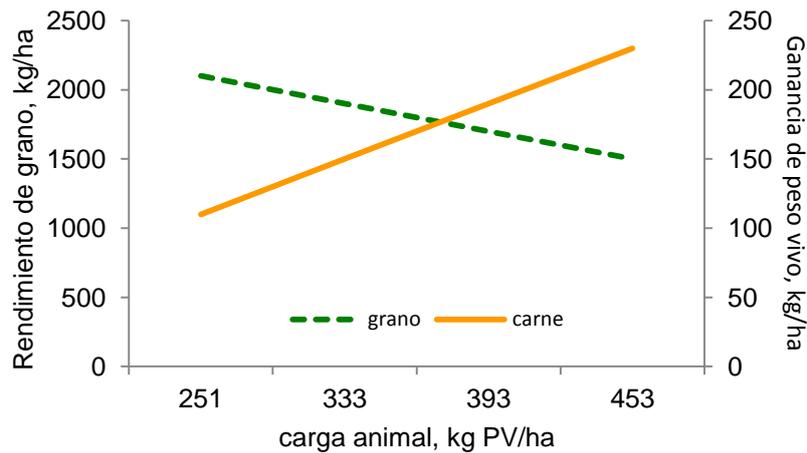


Figura 1.2. Producción de grano vs producción de carne (Horn et al., 1994).

Estudios realizados con pastoreo intenso (Redmon et al., 1996), muestran depresiones moderadas del rendimiento de grano, si el pastoreo finaliza antes que el cultivo alcance el estado de “primer entrenudo hueco visible”. Posteriormente, el consumo de futuras espigas puede deprimir el rendimiento en aproximadamente  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  por cada día de pastoreo (Figura 1.3).

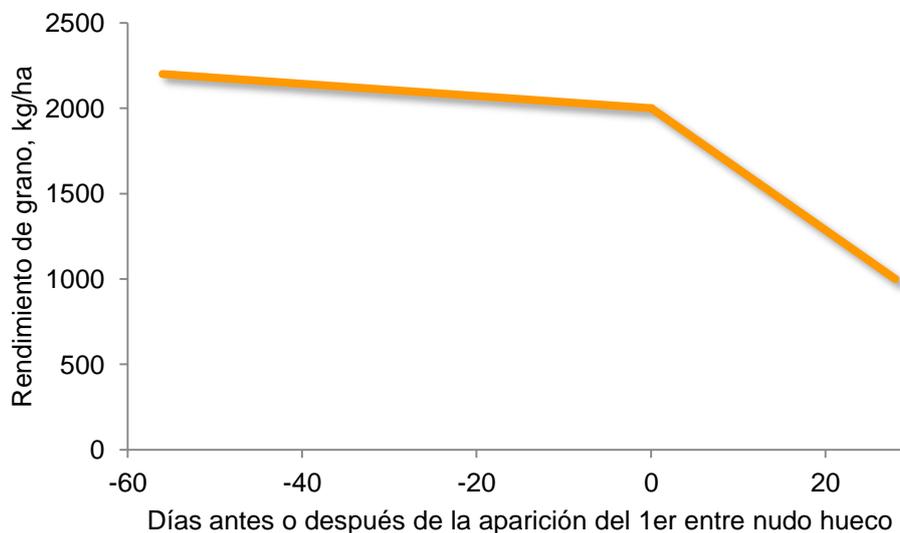


Figura 1.3. Rendimiento de grano de trigo de acuerdo al momento de finalizar el pastoreo (Redmon et al., 1996).

El aprovechamiento del cultivo como doble propósito puede influir positivamente en la rentabilidad del sistema de producción. Para ello, resulta crítico mantener un equilibrio en la intensidad y duración del pastoreo del trigo doble propósito como verdeo invernal, dado que estos aspectos pueden afectar la producción de grano. En este sentido, si el meristema apical de crecimiento es dañado, será afectado el rendimiento de grano (Dunphy et al., 1982; Redmon et al., 1995; Arzadún et al., 2003).

Existen otros aspectos tales como el cultivar de trigo utilizado y la fecha de siembra, que también inciden sobre el potencial de uso como trigo doble propósito (Redmon et al., 1995; Arroquy, 2000; Arzadún et al., 2006). Asimismo, la correcta nutrición de la planta que se destina a TDP resulta decisiva durante el desempeño del cultivo.

### **1.3. Nutrición mineral en trigo doble propósito**

En la medida que transcurre el tiempo, la fertilidad natural de los suelos agrícolas, disminuye en forma gradual y continua. Este fenómeno promueve la necesidad de mantener programas de reposición sistemática de nutrientes, a fin de asegurar la sustentabilidad del recurso suelo.

Existen diversas prácticas que permiten mantener la fertilidad química, biológica y física de un suelo. Entre ellas, se destaca la rotación de cultivos; empleo de fertilizantes (químicos y/o orgánicos) y tecnologías asociadas a su aplicación; monitoreo de fertilidad en tejidos vegetales y suelos; y seguimiento y evaluación de la eficiencia de uso del agua.

Por otro lado, el empleo de herramientas científico-tecnológicas tales como el uso masivo de fertilizantes nitrogenados y fosforados, cultivares con mayor potencial de rendimiento, y la expansión de sistemas de siembra mediante labranza cero, han conducido a hallar respuestas positivas en fertilizaciones con elementos minerales alternativos en diversos cultivos (Salvagiotti et al., 2004; Galantini et al., 2004; Reussi Calvo et al., 2006).

La generación de biomasa en un cultivo se encuentra estrechamente relacionada, por un lado a la disponibilidad de recursos (luz, agua y nutrientes), y por otro a la habilidad de éste para captarlos. Asimismo, la expresión de un rendimiento potencial en un ambiente dado, el tipo de metabolismo fotosintético y la composición química presente en los frutos, constituyen los instrumentos necesarios al momento de interpretar los requerimientos nutricionales de cada cultivo en particular (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Requerimientos aproximados de elementos esenciales en  $\text{kg.t}^{-1}$  de materia seca o grano cosechado (Ciampitti y García, 2007).

	Alfalfa	Colza	Girasol	Maíz	Maní	Soja	Trigo
<b>N</b>	27,0	60,2	40,0	22,0	69,0	75,0	30,0
<b>P</b>	2,5	15,0	11,0	4,0	7,0	7,0	5,0
<b>K</b>	21,0	65,0	29,0	19,0	35,0	39,0	19,0
<b>Ca</b>	12,0	33,0	18,0	3,0	18,7	16,0	3,0
<b>Mg</b>	3,0	10,0	11,0	3,0	s/d	9,0	4,0
<b>S</b>	3,5	11,7	5,0	4,0	4,0	4,5	5,0
<b>B</b>	0,030	s/d	0,165	0,020	s/d	0,025	0,025
<b>Cl</b>	s/d	s/d	s/d	0,444	s/d	0,237	s/d
<b>Cu</b>	0,007	s/d	0,019	0,013	s/d	0,025	0,010
<b>Fe</b>	0,040	s/d	0,261	0,125	s/d	0,300	0,137
<b>Mn</b>	0,025	s/d	0,055	0,189	s/d	0,150	0,070
<b>Mo</b>	0,000	s/d	0,029	0,001	s/d	0,005	s/d
<b>Zn</b>	0,015	s/d	0,099	0,053	s/d	0,060	0,052

s/d: sin dato

La remoción de biomasa durante el pastoreo, aumenta las demandas de nutrientes en trigo doble propósito, respecto al cultivo destinado únicamente a grano. Sin embargo, se sabe que los sistemas pastoriles son más eficientes en el uso del nitrógeno respecto a aquellos de producción de grano (Raun and Johnson, 1999; Zhu et al., 2006). Un estudio conducido por Harper et al. (1987) evaluó el comportamiento de la fertilización nitrogenada en trigo hallando grandes pérdidas de nitrógeno gaseoso luego de la floración. Los cultivos destinados sólo a pastoreo nunca alcanzan aquel estado fenológico, disponiendo entonces de mayor cantidad de nitrógeno para ser asimilado.

## **1.4. Impacto del agregado de nitrógeno al cultivo de trigo doble propósito**

### *1.4.1. Efecto sobre componentes de producción forrajera*

La importancia del nitrógeno en las plantas, está ligada a su presencia en moléculas esenciales tales como aminoácidos, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, clorofila, entre otras. La aplicación de N incide sobre el desarrollo del área foliar de la planta aumentando la cantidad de radiación interceptada (Marino et al., 1996). Esto promueve la utilización de los carbohidratos para la síntesis de proteínas y tejido vegetal y afecta la expansión foliar mediante el incremento de la división celular (MacAdam et al., 1989; Gastal y Nelson, 1994). Del mismo modo, se destaca la importancia de este elemento en otros procesos metabólicos como la biosíntesis y funcionamiento de la ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa/ oxigenasa (Rubisco). Esta, es una de las proteínas más abundantes en la biósfera y esencial en la fijación del CO<sub>2</sub> durante el ciclo de Calvin en la fotosíntesis. Por tal razón, el nitrógeno es requerido en mayor cantidad respecto a otros elementos, en gran parte de los cultivos (Tabla 1.1).

La disponibilidad de N afecta tanto la expansión foliar como la fotosíntesis de los cultivos. La deficiencia de N provoca una reducción en la intercepción de la radiación incidente, la eficiencia de conversión de radiación en biomasa y consecuentemente afecta en forma negativa la tasa de crecimiento del cultivo (Salvagiotti y Montanilla, 2008).

La pérdida de nitrógeno en el sistema productivo se produce debido a la exportación de nutrientes por los cultivos, o procesos naturales como emisión de nitrógeno en forma gaseosa por las plantas, desnitrificación, volatilización, escorrentía y lixiviación (Darwich, 1998; Raun and Johnson, 1999). Por tal motivo, es el elemento que presenta deficiencias más generalizadas en la región y en zonas donde la agricultura es una actividad trascendente (Loewy, 1990; FAO, 2002). Heffer (2010) en un reciente estudio sobre el impacto de los biocombustibles sobre futuras demandas de fertilizantes nitrogenados, muestra incrementos aproximados en la necesidad de estos insumos cercano al 70% para el 2019.

Sobre un ensayo de larga duración de dos localidades, Thomason et al. (2000) fertilizaron con  $90 \text{ kg N ha}^{-1}$  parcelas de trigo destinadas a pastoreo versus grano. Los autores, hallaron que las eficiencias en el uso de nitrógeno fueron tres veces superiores en las parcelas destinadas a producción de forraje respecto a aquellas destinadas a producción de grano.

Por su parte, diversos trabajos coinciden en que existe una respuesta lineal positiva entre el agregado de N al suelo y el aumento de rendimiento en biomasa y grano (Gastal et al., 1992; Arzadún et al., 2002; Ali, et al 2005; MacKown and Carver, 2005; López-Bellido et al., 2008; Denda, 2009). En un ensayo de dos años, en dos localidades y, fertilizando con urea (0, 40, 80, 120 y  $160 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), sobre cultivo de trigo, Denda (2009), reportó incrementos en el rendimiento de la materia seca desde un 30% hasta dos veces por encima del cultivo sin fertilizar.

La efectividad de la fertilización se encuentra sujeta a diversos factores. La temperatura ambiente y la disponibilidad hídrica en el perfil de suelo afectan la tasa de mineralización del N (Hatch et al., 1990). Maddonni et al. (1995), en un estudio comparativo sembraron trigo en condiciones de campo, invernadero y laboratorio, encontrando diferencias en la tasa de mineralización del N, siendo ésta mayor en ambientes controlados (laboratorio > invernadero > campo).

Mazzanti et al. (1997) aducen que las formas asimilables de nitrógeno sobre fines de invierno son insuficientes para satisfacer la demanda de nitrógeno en raigrás anual, limitando la producción de biomasa forrajera.

#### *1.4.2. Efecto sobre la composición química del forraje y grano*

La disponibilidad de N en el suelo produce cambios en la composición botánica de la planta (MacAdam et al., 1989; Martuscello et al., 2006). Estos cambios están asociados a una mayor relación hoja/tallo, cuando existe suficiente disponibilidad de N asimilable (en forma de  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$ ). MacAdam et al. (1989) observaron elevadas tasas de división celular en meristemas

intercalares de festuca alta (*Lolium arundinaceum* Schreb., Darbysh) con dosis elevadas de nitrógeno. Al mismo tiempo, estos cambios modificaron sensiblemente la calidad de la biomasa forrajera. La mayor proporción de hojas, presume una mayor actividad fotosintética en la planta, y en estadios tempranos, un alto valor nutricional por el elevado contenido de N y digestibilidad (Griffin and Jung, 1982; Van Soest, 1994).

Hafley et al. (1985) evaluaron el efecto de la fertilización con N y cortes (simulando defoliación), sobre el contenido de proteína bruta y la tasa de degradación de la proteína en raigrass (*Lolium multiflorum* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), avena (*Avena sativa* L.) y trébol (*Trifolium vesiculosum* Savi). Los autores observaron una tendencia a aumentar el nivel de proteína y su degradabilidad en la materia seca de estas especies, al ser sometidas a tratamientos de fertilización nitrogenada.

En otro estudio, donde fueron testeados niveles crecientes de nitrógeno (utilizando nitrato de amonio) sobre pasto bermuda (*Cynodon dactylon* L.), pasto bahía (*Paspalum notatum* L.), y pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* L.), se informaron incrementos en el rendimiento de materia seca de todas las especies, hasta los 78 kg N ha<sup>-1</sup> (Johnson et al., 2001). Estos autores también reportaron que la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica, respondió significativamente al agregado de nitrógeno, de forma lineal y cuadrática, en pasto estrella y bermuda, respectivamente. El contenido de N total en la materia seca, es superior en dosis altas y en estadios tempranos del cultivo, conforme a lo reportado por la literatura.

Evaluando la fertilización nitrogenada sobre la composición química del forraje de centeno (*Secale cereale* L.), en dos épocas de aprovechamiento (julio y septiembre), Ferri et al. (2000) indicaron incrementos de hasta el 60% en el contenido de proteína bruta, con agregado de nitrógeno al cultivo. Además, notaron una reducción de 35 y 15% en el nivel de carbohidratos no estructurales solubles (CNES) y materia seca, respectivamente. Este comportamiento es explicado por una demanda de carbohidratos por parte de la planta, durante la síntesis de aminoácidos y proteínas. Por consiguiente, un

incremento en el suministro de nitrógeno, reduce la disponibilidad de CNES, incrementando de este modo la relación PB/CNES (Van Soest, 1994).

El grano también presenta cambios en su composición química, cuando es sometido a diferentes niveles, fuentes, momentos y formas de aplicación de N como fertilizante (Wang et al., 2008). Así Fossati et al. (1993) y López-Bellido et al. (1998) hallaron incrementos en el contenido de proteína en el grano, en respuesta al agregado de nitrógeno como fertilizante. Por otro lado, la correcta provisión de nitrógeno en el cultivo, mejoraría las propiedades físicas en las masas en la panificación (López-Bellido et al., 1998).

Wang et al. (2008), sostienen que la fertilización nitrogenada cercana a la antesis produce incrementos pronunciados en el rendimiento y en el contenido de proteína de grano de trigo duro (*Triticum durum* L.). Por otro lado, estos autores desestiman las aplicaciones tardías (estado de bota en trigo), por producir ligeras respuestas en el rendimiento de grano.

## **1.5. Impacto del agregado de azufre al cultivo de trigo doble propósito**

### *1.5.1. Efecto sobre componentes de producción forrajera*

Las deficiencias nutricionales en la región pampeana argentina están dadas en general por nitrógeno y fósforo. En los últimos años, el creciente desarrollo agrícola ha sido acompañado con el uso de materiales genéticos de alto potencial de rendimiento, la implementación de sistemas de labranza conservacionista como la labranza cero (siembra directa) y, el empleo de fertilizantes no azufrados. Estas prácticas, generaron recientemente respuestas favorables al agregado de azufre en diversos cultivos como colza, soja, trébol, trigo y cebada (Galantini et al., 2004; Echeverría, 2005; Reussi Calvo et al., 2006; Zhao et al., 2006).

El azufre es un nutriente esencial requerido por todos los organismos vivos. Se encuentra presente en aminoácidos como cisteína y metionina, coenzimas como biotina, coenzima A, difosfato de tiamina y ácido lipoico. También se encuentra presente en sulfolípidos y todas aquellas proteínas que contengan metionina y cisteína. Al mismo tiempo, el azufre forma parte de las

tioredoxinas y de los puentes disulfuro, jugando un rol trascendente en reacciones redox y en la estabilización de la estructura de ciertas proteínas, respectivamente (Lehninger, 2005).

El azufre ingresa a la planta principalmente por las raíces desde la solución del suelo, en forma de ión sulfato (Katz, 1949; Bukovac and Wittwer, 1957). Si bien una pequeña parte se reduce hasta cisteína, la mayor fracción se transporta hacia los tejidos fotosintéticamente más activos, produciéndose la reducción en los cloroplastos (Zhao et al., 1999a). Este proceso de reducción se encuentra gobernado por complejas vías metabólicas (Zhao et al., 1999a).

Existe una estrecha relación entre el metabolismo del azufre y el del nitrógeno. Las plantas tienden a mantener constante la relación entre N orgánico y S orgánico en sus tejidos vegetativos, aunque la relación N total y S total, puede variar ampliamente en función del suministro de cada uno de estos nutrientes en la solución del suelo (Dijkshoorn and van Wijk, 1967; Zhao et al., 1999a).

En el suelo, el azufre, se encuentra mayoritariamente (más del 95 %) en forma orgánica (Echeverría, 2005). Por lo tanto, al igual que el nitrógeno, esta fracción, debe ser sometida al ataque microbiano, para así quedar disponible en la solución del suelo. Los factores que afectan las tasas de mineralización del azufre, son los mismos que para el nitrógeno: humedad, temperatura, aireación y pH (Echeverría, 2005).

Por su parte, otras formas de oxidación del azufre son a partir de sulfuros o azufre elemental. Si bien, la oxidación de ciertos sulfitos ( $\text{SO}_3^-$ ) y sulfuros ( $\text{S}^-$ ) puede ocurrir en forma química, la mayor parte de las oxidaciones ocurren a partir de reacciones bioquímicas con intervención de microorganismos (Darwich, 1998).

Por otro lado, el azufre puede ser inmovilizado por la materia orgánica del suelo, dejando de estar disponible para las plantas. Chapman (1997) en un ensayo de incubación en laboratorio, encontró que cuando se adicionan al suelo residuos con alto contenido de carbono, el azufre queda inmovilizado en la fracción orgánica. El crecimiento microbiano se vería estimulado por una alta

fuerza de energía, incorporando el azufre a su estructura interna quedando entonces no disponible.

En suelos ácidos, con capacidad de intercambio aniónico, los iones sulfatos quedan fuertemente adheridos a los coloides del suelo, quedando escasamente disponibles para las plantas (Echeverría, 2005).

Otras posibles pérdidas de azufre en el sistema son el lavado de sulfatos y, la descomposición microbiana de la materia orgánica. Esta última, puede dar origen a gases que contienen azufre ( $H_2S$ ,  $CS_2$ ,  $COS$ ,  $CH_3SH$ ), los cuales escapan a la atmósfera (Echeverría, 2005).

Los síntomas de deficiencias en azufre en trigo, como en otros cultivos, se encuentran caracterizados por una clorosis en las primeras hojas jóvenes, mientras que las hojas más viejas permanecen verdes (Echeverría, 2005). El déficit de azufre en trigo produce mayores mermas en el contenido de clorofila y en la tasa de asimilación del  $CO_2$  en las hojas jóvenes, respecto de las más viejas (Gilbert et al., 1997).

Muchos estudios avalan el incremento en el rendimiento de materia seca en cultivos forrajeros cuando son sometidos a fertilización azufrada (Jones, 1964; Lancaster et al., 1971; Lamond et al., 1995). Jones (1964) observó incrementos más significativos a la adición de S en tréboles (*Trifolium hirsutum* All., *T. subterranean* L., y *T. incarnatum* L.) que en gramíneas como cebadilla (*Bromus mollis* L.) y falaris (*Phalaris tuberosa* L.).

En un ensayo con macetas, Lancaster et al. (1971) estudiaron el efecto del agregado de una solución fertilizante base azufre sobre cinco especies forrajeras. La producción de materia seca fue incrementada en la totalidad de las especies. Al mismo tiempo, observaron condiciones de clorosis en plantas no fertilizadas. Sin embargo, las dosis utilizadas (10, 20 y 40  $mg.kg^{-1}$ ) no mostraron diferencias estadísticamente significativas.

Por su parte, Lamond et al. (1995) encontraron que los máximos rendimientos en cebadilla de Hungría (*Bromus inermis* Leyss.) fueron alcanzados con dosis de 17  $kg S ha^{-1}$ . Por encima de este nivel, no se lograron incrementos significativos en el rendimiento de materia seca. Los mismos

autores, observaron que los aumentos en el rendimiento de materia seca, producto de la adición de azufre, fueron acompañados con relaciones N:S iguales o menores de 20:1.

Salvagiotti y Miralles (2007), encontraron respuestas positivas sobre la tasa de macollaje y de aparición de hojas, cuando se suministraron niveles diferentes de N y S en trigo. Sin embargo, no hallaron cambios de importancia agronómica en la duración de los estados fenológicos, tales como son citados por otros autores (Fischer, 1993; Arisnabarreta y Miralles, 2004). Sin embargo, Griffiths et al. (1995), destacaron que la senescencia foliar se vio retrasada hacia final de llenado del grano, con la aplicación de S al cultivo de trigo en la hoja bandera.

#### *1.5.2. Efectos sobre la composición química del forraje y del grano.*

Varios estudios en cultivos agrícolas y especies forrajeras han mostrado que las respuestas a la fertilización nitrogenada, frecuentemente han sido limitadas por deficiencias en azufre (Lancaster et al., 1971; Goh y Kee, 1978 y Reussi Calvo et al., 2006).

En un ensayo de fertilización con 5 dosis de N y 4 de S, Goh y Kee (1978), utilizando dos suelos como sustratos y raigrás perenne (*Lolium perenne* L.) como cultivo, hallaron que la adición de azufre en todos los niveles de nitrógeno aplicado, resultaron en un consistente incremento en la concentración de S total en forraje. Por su parte, el contenido de N en los tejidos vegetales aumentó, con cada incremento en la dosis de N aplicado, particularmente en los tratamientos en que el S estaba ausente en la formulación. Estos autores, asimismo observaron aumentos substanciales en la concentración de nitrógeno no proteico (principalmente en la forma de nitrógeno orgánico soluble) luego de suministrarse N adicional. Bolton et al. (1976) y Rendig et al. (1976) indican que esta fracción soluble se encuentra representada en su mayoría por amidas, principalmente asparagina. Cuando la provisión de N es elevada, este mecanismo de acumulación afecta la síntesis

de proteína, dado que se encuentra limitada por bajas cantidades de metionina y cisteína.

La glutamina también ha sido considerada, en muchos casos, como un compuesto de almacenamiento reversible de amoníaco no tóxico en la planta. A diferencia de la asparagina, la glutamina tiende a predominar cuando las plantas se encuentran bien provistas de S incluso con dosis altas de fertilizantes nitrogenados (Goh y Kee, 1978).

Por su parte, Isuwan et al. (2007) estudiaron el cambio en la composición química de *Digitaria eriantha* Steudel, con tres niveles de sulfato de amonio. Los resultados mostraron incrementos de 68% en el contenido de PB y duplicaron la concentración de S en la biomasa aérea luego de 6 meses de implantado el cultivo. Sin embargo, estos investigadores descartaron alteraciones relevantes en el contenido de fibra (FDN y FDA).

En un estudio más exhaustivo, Chestnut et al. (1986) observaron que la fracción fibrosa de una pastura de festuca (*Lolium arundinaceum* Schreb., Darbysh) y pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) no fue afectada al ser fertilizada con  $\text{CaSO}_4$ . Sin embargo, al conducir con estos substratos un estudio de digestibilidad *in vivo* con novillos Hereford en jaulas de metabolismo, notaron que las digestibilidades de FDN y FDA del heno de pasto ovilla fertilizado con azufre, fue superior al tratamiento control (sin fertilización,  $p < 0,01$ ). A fin de comprobar si la mayor digestibilidad del pasto ovilla fertilizado se debió a la deficiencia de S en el tratamiento control, y consecuentemente una deficiente fermentación microbiana (Lancaster et al., 1971; Akin et al., 1983), estos autores determinaron la digestibilidad *in vitro* (a los mismos substratos) agregando o no, S suplementario (0,15% de  $\text{NaSO}_4$  y  $\text{S}^0$  en mezcla). La digestibilidad de FDN y FDA siguió siendo superior para el tratamiento con fertilización azufrada, mientras que, el agregado de S suplementario no alteró la digestibilidad de la fibra. Estos resultados indican que las mayores digestibilidades logradas con heno de pasto ovilla fertilizado con S durante su estación de crecimiento, no serían debidas a una deficiencia de S dietario. Puede en cambio esperarse un cambio en la calidad de ese forraje hacia una mayor digestibilidad por el S aportado.

La concentración de S en grano de trigo, no depende exclusivamente del aporte de este nutriente sino también del suministro de N (Randall et al., 1981; Jones et al., 1982). Así, son reportados rangos de concentración de S en forraje que van de 0,01 a 0,40% (Goh y Kee, 1978; Jones et al., 1982; Isuwan et al., 2007; Balbarrey, 2009). Jones et al. (1982) estudiando el efecto del agregado de azufre a una pradera de trébol subterráneo (*T. subterranean* L.) y otra de raigrás anual (*Lolium multiflorum* L.) reportaron contenidos de S en trébol en el rango de 0,13 a 0,24%, mientras que para raigrás anual 0,09 a 0,22%.

A partir de la estrecha relación que poseen el N y el S, es común utilizar como indicador de requerimientos la relación N:S. Goh y Kee (1978) presentaron relaciones N:S total que oscilaron de 4,5 a 52.

Respecto a la producción de grano de trigo, han sido halladas respuestas a la fertilización azufrada, cuando la concentración de este nutriente en grano fue menor a 0,12 % y/o mantenía una relación N:S total mayor a 17/1 (Randall et al., 1981).

Se ha verificado que cebadas con adecuada provisión de S tienen respuestas sobre su rendimiento y aptitud de malteado, incrementando la actividad de las enzimas hidrolíticas (Zhao et al., 2006). En trigo, ha sido manifiesta la importancia de balancear la fertilización con N y S a fin de asegurar la estabilidad en la calidad de las harinas, principalmente cuando existen altas dosis de N (Zhao et al., 1999 a, b; Flæte et al., 2005). La adición de S cambiaría la proporción de proteínas del gluten mejorando la propiedades físicas de las masas (Flæte et al., 2005).

#### **1.6. Relación entre la composición química del forraje y la productividad animal**

El consumo voluntario, puede ser definido como la cantidad de materia seca consumida cada día cuando se les ofrece a los animales alimento en exceso (Minson, 1990). El mantenimiento y la productividad en un animal está

sujeta en gran medida al consumo de alimentos (Bondi, 1988), siendo a su vez, dependiente del apetito del animal, su edad y sus diferentes estados fisiológicos. Algunos de los factores que controlan la productividad en los rumiantes son la composición del alimento y la cantidad de alimento consumido.

Factores tales como la disponibilidad de nutrientes en el suelo, clima, cultivar y estado fenológico, entre otros, son responsables de la variabilidad presente en la composición química de un forraje (Tabla 1.2) y consecuentemente afectan la eficiencia de utilización del mismo.

En los primeros estadios vegetativos, los verdes invernales se caracterizan por su alto contenido de proteína soluble y baja concentración de MS y CNES. Elizalde y Santini (1992) sostienen que las bajas ganancias de peso otoñales son el resultado de la inadecuada proporción de estas fracciones nutricionales en ese momento. Asimismo, Ferri y Stritzler (1993) sugieren que concentraciones de MS en verdes por debajo del 15% han sido relacionados con trastornos digestivos y metabólicos, particularmente diarrea, desbalance electrolítico, deshidratación, depresión del consumo y bajas ganancias de peso vivo.

Una herramienta que permitiría compensar la variabilidad mencionada anteriormente, y así mejorar la productividad animal, es la suplementación energética y la utilización de fuentes de proteína de baja degradabilidad ruminal (Arelovich et al., 2003, 2004).

De esta manera, Arzadún et al. (2003) suministrando un concentrado energético en bovinos a pastoreo sobre verdes invernales, registraron ganancias de hasta 1200 g diarios versus 900 g, correspondientes al tratamiento control (sin suplementación).

Tabla 1.2. Composición química porcentual de diferentes verdes de invierno sobre base seca. Datos provistos por el laboratorio de Nutrición Animal, Departamento de Agronomía, UNS, 2012.

	MS	PB	CNE	FDN	FDA	DIVMS
Trigo	47,4 [67,1-27,5]	24,2 [30,4-15,2]	14,9 [20,0-7,0]	43,2 [51,6-25,5]	18,4 [23,3-10,3]	77,6 [90,1-60,5]
Avena	33,3 [44,7-22,1]	23,5 [36,5-12,0]	12,6 [34,1-3,5]	40,2 [47,9-29,6]	16,6 [21,5-9,6]	74,6 [86,2-60,1]
Centeno	31,8 [45,9-21,9]	25,6 [33,4-17,0]	s/d	41,8 [53,0-25,9]	18,6 [26,1-8,5]	s/d
Raigrás	39,1 [43,0-25,7]	26,9 [35,5-18,5]	10,9 [31,8-5,0]	40,5 [49,4-25,2]	16,6 [20,8-8,8]	73,2 [82,3-50,3]

Valores medios [Máximos-Mínimos]; s/d: sin dato; MS: materia seca; PB: proteína bruta; CNE: carbohidratos no estructurales; FDN y FDA: fibra detergente neutro y ácido; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

Las determinaciones de MS, PB y CNE siguieron los protocolos de AOAC (1990); FDN y FDA según método secuencial de detergentes (Van Soest et al., 1991); DIVMS según Tilley y Terry (1963) y metodología Ankom por modificación del protocolo original utilizando equipo incubador Daisy (Ankom 200/20)

Cuando existe mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo, y adicionalmente adecuadas condiciones físico-químicas (capacidad de intercambio, pH, profundidad efectiva, humedad, entre otros), se favorece su absorción por la planta (Darwich, 1998). Por su parte, la asimilación de estos nutrientes en la planta, requiere de una fuente de energía (Chapin et al., 1985; Bloom et al., 1992).

Cuando la relación PB/CNE aumenta, el nitrógeno es almacenado en la planta con la misma estructura química en que fue absorbido. En ciertos casos, la acumulación de estos compuestos en el órgano vegetal, tal como son captados, pueden conducir a cambios en el desempeño de los animales (*ver más adelante*). Es esperable pensar entonces, que la adición de N y S como fertilizantes en los verdes, provoquen cambios en su composición química que podrán afectar luego la eficiencia productiva en el animal.

Jones et al. (1982) estudiando el comportamiento de corderos alimentados con trébol (*Trifolium subterraneum* L.) y raigrás (*Lolium multiflorum* L.) luego de recibir S como yeso (CaSO<sub>4</sub>) durante su estación de crecimiento, observaron que las ganancias diarias de peso fueron superiores en ambos

forrajes. Asimismo, la conversión alimenticia ( $\text{kg MS.kg}^{-1}$  ganancia de peso) se vio mejorada al caer un 18 y 60,5% cuando los corderos fueron alimentados con trébol y raigrás respectivamente. Según estos autores el forraje fertilizado con S cubrió los requerimientos necesarios de corderos en crecimiento, mientras que la pastura sin fertilizar presentó un nivel proteico y de S total por debajo al requerido.

Como se mencionó anteriormente, la absorción desequilibrada de nutrientes en el suelo, puede ser origen de diversos trastornos metabólicos en los animales si el manejo empleado para la utilización de estos forrajes no es el adecuado.

Se sabe que a determinadas concentraciones el nitrógeno como nitrato o nitrito ( $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{N-NO}_2^-$ ) dentro del plasma sanguíneo es tóxico para el organismo animal. En situaciones severas dan origen a metahemoglobina, un compuesto incapaz de transportar y liberar eficientemente oxígeno a los tejidos animales, pudiendo llegar a provocar la anoxia (Manual Merck, 2007). Cuando los niveles plasmáticos de nitratos y nitritos superan los 20 y  $0,5 \mu\text{g.mL}^{-1}$  respectivamente en cualquier fluido biológico dentro del organismo, es usualmente indicador de exposición excesiva de nitratos y nitritos en la mayoría de las especies domésticas (Manual Merck, 2007). Los niveles de nitratos que causan toxicidad en rumiantes varían dependiendo de la tasa de consumo, la dieta y, estado nutricional, entre otros factores. Como regla general, cuando el forraje contiene entre 0,5 y 1%  $\text{N-NO}_3^-$  (base seca) es considerado como potencialmente tóxico si proviene de un único alimento (Whittler, 2011).

En este sentido, cuando se incrementa la relación PB/CNES, aumenta la probabilidad de acumulación de nitrógeno no proteico, principalmente en la forma de nitratos y nitritos en sangre conduciendo a desordenes en la salud animal (Raun y Westerman, 1991; Elizalde y Santini, 1992). Goh y Kee (1978), manifiestan que dosis altas de  $\text{N-NO}_3^-$  en forrajes pueden causar envenenamiento por nitratos e hipomagnesemia en vacas lecheras, debido a una inadecuada absorción de Mg y probablemente éste sea un evento asociado con una alta producción de amoníaco ruminal ( $\text{NH}_3$ ).

Por lo tanto, fertilizaciones nitrogenadas en otoño aumentan los riesgos de intoxicación con nitratos, a menos que el manejo de la alimentación sea corregido (MacKown, 2005; Whittler, 2011).

Así también, excesivas cantidades de S dietario, por encima de 0,3 a 0,4% de sulfatos o S elemental (base seca), pueden causar efectos tóxicos y en casos extremos llegar a ser fatal en rumiantes (Kandyliis, 1984a). Gould et al. (2002) reconocen dos mecanismos por los cuales el exceso de S puede afectar la salud y el comportamiento productivo en los animales. Por un lado, el ambiente reductor del rumen produce complejos intermediarios con cobre y posiblemente otros minerales, reduciendo sensiblemente su biodisponibilidad. Por otro lado, el sulfato y otras formas no tóxicas del S son reducidas por los microorganismos ruminales a sulfuro de hidrógeno y sus formas iónicas, interfiriendo en la respiración celular.

Otro de los alcances del N y/o del S es mediante su accionar sobre los microorganismos del rumen. Lancaster et al. (1971) observaron que la actividad microbiana ruminal se ve correlacionada positivamente con el incremento en el contenido de S en el forraje.

Akin et al. (1983) condujeron un ensayo donde compararon el comportamiento de una población microbiana ruminal de ovejas alimentadas con *Digitaria pentzii* fertilizada con S y sin fertilizar. Aunque no lograron identificar los microorganismos específicos que fueron estimulados por la presencia de S, los autores observaron mejorías en la digestibilidad de la fracción lignocelulósica. A su vez, mediante la utilización de microscopía electrónica, pudieron notar una marcada colonización de ciertos microorganismos fúngicos, en aquellas muestras que fueron tratadas con S.

De modo tal, que resulta importante establecer aquellos umbrales a partir de los cuales pueden hallarse cambios de manera directa o indirecta sobre la eficiencia productiva en el organismo animal. Una revisión elaborada por Kandyliis (1984b), sugiere a fin de maximizar la eficiencia de utilización del nitrógeno por parte de los microorganismos del rumen, que la relación N:S óptima para ovinos oscile entre 10,0 y 13,5 mientras que para bovinos entre 13,5 y 15,0. Sin embargo, esta relación no refleja necesariamente la de la dieta,

ya que la utilización de ambos nutrientes en el rumen puede diferir por efecto del reciclado ruminal (Spears et al., 1985) y la interacción con otros minerales (Hardt et al., 1991).

## **Hipótesis de Trabajo**

1. El elevado requerimiento de nitrógeno en trigo doble propósito presume también una mayor demanda de azufre para la obtención de altos rendimientos de forraje y de grano.
2. Los cambios de la composición del forraje generados a partir de la adición de azufre modifican el valor nutritivo del forraje debido a una fuente de nutrientes diferencial en la síntesis proteica.

## **Objetivo General**

Estudiar el cambio provocado a partir de la provisión de N y S a un cultivo de trigo doble propósito sobre la producción de forraje y grano, y los efectos que estos nutrientes tienen sobre la composición química del forraje.

## **Objetivos Específicos**

A partir de la aplicación de N y S en superficie se propone cumplir con los siguientes objetivos:

- Determinar el efecto producido sobre el rendimiento de materia seca en forraje y el rendimiento de grano
- Evaluar los cambios en la composición química del forraje y el grano
- Comparar los efectos producidos sobre la calidad nutritiva del forraje al variar la relación N:S
- Comparar las tasas de crecimiento en los diferentes tratamientos
- Estudiar la correlación entre variables en estudio a fin de determinar el grado de asociación entre las mismas a partir de los tratamientos efectuados

### **Materiales y Métodos**

#### **2.1. Experimento I. Ensayo a campo sobre parcelas experimentales.**

##### *2.1.1. Sitio experimental y características edafo-climáticas*

El experimento fue conducido durante el año 2009 en el Criadero de Variedades de Trigo de la Asociación de Cooperativas Argentinas (A.C.A.) ubicado sobre la ruta nacional N° 51, a 15 km de la localidad de Cabildo y 32 km de la ciudad de Bahía Blanca (38°25' LS y 61°42' LO).

El suelo es de textura franco-arenosa, con buena capacidad de retención hídrica, buen drenaje, de reacción neutra y susceptible a erosión eólica e hídrica. Según la clasificación por capacidad de uso del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Soil Survey Staff, 2003) el suelo es clasificado como: Clase IIe, con pocas limitaciones, pudiendo ser usado en cultivos de labranza y pasturas.

Los suelos de este establecimiento han sido utilizados para la comparación entre variedades experimentales (de trigo o de otros cereales). En la actualidad los programas de mejoramiento genético requieren que los nuevos materiales dispongan de niveles óptimos de fertilidad, siendo corregidos en ocasiones con el uso de fertilizantes.

Climáticamente, la región se caracteriza por ser sub-húmeda, con una precipitación media anual de  $643 \pm 160$  mm (1958-2008). La temperatura media anual es de 15,5°C.

##### *2.1.2. Cultivo de trigo y desarrollo experimental*

###### Preparación del suelo

La siembra se realizó el 13/03/2009, luego de preparada la cama de siembra, y utilizando una sembradora de conos, con zapatas y distanciamiento

entre hileras de 20 cm. Se utilizó la variedad de trigo ACA 304, con aptitud para doble propósito debido a su importante producción de forraje y grano en la zona de influencia a la localidad de Cabildo (Bainotti et al., 2008). La densidad empleada fue de 250 plantas.m<sup>-2</sup>. No hubo fertilización de base.

#### Tratamientos y diseño experimental

Las unidades experimentales consistieron en parcelas de 7,7 m<sup>2</sup> (1,4 x 5,5 m). El diseño de los tratamientos fue un factorial NxS (2<sup>2</sup>): N0S0 (Testigo), N1S0 (60 kg N ha<sup>-1</sup>: 0 kg S ha<sup>-1</sup>), N0S1 (0 kg N ha<sup>-1</sup>: 20 kg S ha<sup>-1</sup>), y N1S1 (60 kg N ha<sup>-1</sup>: 20 kg S ha<sup>-1</sup>). El diseño experimental resultó en bloques completos y aleatorizados con 4 réplicas.

Las fuentes utilizadas de N y S fueron UAN (32%) y tiosulfato de amonio (12% N y 26% S; TSA), aplicados con mochila, en solución acuosa, en forma chorreada entre hileras a inicios del macollaje. Dado que al aplicar 20 kg S ha<sup>-1</sup>, como TSA, el N tiene una participación de 9,21 kg ha<sup>-1</sup>, se decidió aplicar esa cantidad en forma de UAN en el tratamiento control (N0S0).

#### 2.1.3. Determinaciones en el forraje

Se evaluó la producción de forraje en los 3 m<sup>2</sup> centrales de cada parcela, utilizando una motosegadora regulada con altura de corte a 7 cm. Se efectuaron dos cortes, el primero al alcanzar 30±5 cm de altura (02/06/2009), y el último al estado de primer entrenudo hueco visible (28/07/2009; Redmon et al., 1996).

El cálculo de producción de biomasa forrajera, se efectuó pesando en fresco la muestra cosechada en cada parcela y extrapolando el valor a la superficie de 1 ha. Submuestras de cada parcela en cada corte, fueron pesadas en fresco y seguidamente secadas en estufa de aire forzado a 60°C hasta peso constante. Posteriormente, el valor de rendimiento fue expresado en kg de materia seca/ha (kg MS ha<sup>-1</sup>).

Las muestras secas fueron molidas con molino Wiley (malla de 2 mm), y posteriormente analizadas para variables de calidad nutricional descritas en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Expresión y métodos de determinación de rendimiento de MS y composición química del forraje.

Variable	Notación	Unidad	Método de determinación
Rendimiento de materia seca		kg MS ha <sup>-1</sup>	Cálculo a partir de % MS y rendimiento en kg materia fresca por ha.
Materia seca	MS	%	Secado en estufa a 60°C con ventilación forzada durante 48 hs (AOAC, 1990).
Fibra detergente neutro	FDN	%	Método secuencial de detergentes (Van Soest et al., 1991), por tecnología ANKOM
Fibra detergente ácido	FDA	%	Método secuencial de detergentes (Van Soest et al., 1991), por tecnología ANKOM
Lignina detergente ácido	LDA	%	Método secuencial de detergentes (Van Soest et al., 1991), por tecnología ANKOM
Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca	DIVMS	%	Metodología Ankom según técnica modificada de Tilley y Terry, 1963. Equipo incubador Daisy (Ankom 200/20)
Proteína bruta	PB	%	Nitrógeno total por Kjeldhal (AOAC, 1990), equipo Kjeltec 2300 (semi - micro). Factor de corrección: 6,25.
Azufre	S	%	Digestión ácida y cuantificación por espectrometría de emisión atómica por plasma inducido (Johnson y Ulrich, 1959). Equipo Shimadzu. Mod. ICPS.1000III.
Relación N:S	N:S	-	Cociente entre % N / % S

*Todos los valores expresados sobre base seca*

#### 2.1.4. Determinaciones en el grano

Al alcanzar el grano el estado de madurez fisiológica, se cosecharon en forma manual, las espigas en los 3 m<sup>2</sup> centrales en todas las parcelas. Posteriormente se utilizó una trilladora estacionaria (marca Wintersteiger) para la limpieza del grano. Los granos fueron secados y su peso fue corregido al

12% de humedad de cosecha. Las variables estudiadas estimadas en grano son reportadas en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Expresión de resultados y métodos de determinación de las variables estudiadas en granos.

<b>Variable</b>	<b>Notación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método de determinación</b>
Rendimiento en grano		kg granos ha <sup>-1</sup>	Estimado a partir de muestreo dentro de parcela y corrección de humedad
Peso de 1000 granos	P1000	g	Según normas ISTA (1999)
Proteína bruta	PB	% <sup>1</sup>	Nitrógeno total por Kjeldhal (AOAC, 1990), equipo Kjeltec 2300 (semi - micro). Factor de corrección: 5,75.
Azufre	S	% <sup>1</sup>	Digestión ácida y cuantificación por espectrometría de emisión atómica por plasma inducido (Johnson y Ulrich, 1959). Equipo Shimadzu. Mod. ICPS.1000III.
Relación N:S	N:S	-	Cociente entre % N / % S

<sup>1</sup> valores expresados sobre base seca

#### 2.1.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico incluyó medidas descriptivas, ANVA y correlaciones entre variables de interés. Cuando fueron halladas diferencias entre las medias de los tratamientos se utilizó el test de diferencias mínimas significativas (DMS) para su comparación. Para el análisis se utilizó el paquete estadístico Infostat (Di Renzo et al., 2008).

## **2.2. Experimento II. Respuesta morfo-fisiológica de trigo cultivado en invernadero**

### *2.2.1. Sitio y desarrollo del experimento*

El ensayo se llevó adelante en el invernadero perteneciente al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur. Se utilizaron macetas de polietileno de 1,4 dm<sup>3</sup>, dispuestas en mesadas sobre-elevadas. El suelo utilizado para el llenado de las mismas se obtuvo de un campo localizado a 30 km de Bahía Blanca, a una profundidad aproximada de 0,30 m. Posteriormente fue homogeneizado y se le retiró todo el material extraño presente (ramas, hojas, etc). El análisis químico efectuado determinó la siguientes características: pH = 8,07; P<sub>Bray</sub> = 17,1 mg.kg<sup>-1</sup>; S<sub>disp</sub> = 25,0 mg.kg<sup>-1</sup>; N<sub>disp</sub> = 8,0 mg.kg<sup>-1</sup>.

La siembra se realizó el 02/07/2009, utilizando 5 semillas por maceta de trigo variedad ACA 304. Luego de germinadas se realizó un raleo de plántulas dejando solo 3 por maceta a fin de homogeneizar el stand de plantas en las unidades experimentales (UE).

Para la provisión de agua se utilizó un sistema de riego por aspersión automatizado. Los riegos fueron realizados diariamente por la mañana. Se ajustó el equipo de modo tal que permitiese mantener el suelo en capacidad de campo.

A fin de poder contar con un stand de plantas homogéneas para las mediciones de altura de planta y número de macollos, el 20/08/2009 se cortó a una altura de 5 cm la totalidad de las UE. Inmediatamente después del corte, se aplicó una solución de 20 mL con la fuente nutritiva correspondiente al tratamiento para cada UE.

### *2.2.2. Tratamientos y diseño experimental*

El ensayo siguió un diseño completamente aleatorizado y 3 repeticiones. El diseño de los tratamientos respondió a un factorial 4 x 3, donde cuatro niveles de N (0, 30, 60 y 90 kg ha<sup>-1</sup>) fueron combinados con tres niveles de S

(0, 15 y 30 kg ha<sup>-1</sup>). Las fuentes de N y S fueron UAN (32% N) y sulfato de potasio (18,4% S).

### *2.2.3. Determinaciones*

A intervalos regulares de 3 días, se registró la altura en cada planta (3), de cada maceta, promediando estos valores para obtener un único dato por UE. Posteriormente se estimó la tasa de crecimiento del cultivo durante el periodo en estudio.

Finalmente, cuando se notó la presencia del primer entrenudo hueco (21/09/2009), se decidió cortar la biomasa aérea de la totalidad de las unidades experimentales para su estimación de rendimiento de MS total (corte a nivel del suelo).

### *2.2.4. Análisis estadístico*

Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva y ANVA. Cuando el ANVA fue significativo, las medias fueron comparadas con test DMS. Para el análisis se utilizó el paquete estadístico Infostat (Di Renzo et al., 2008).

## **2.3. Experimento III. Rendimiento y composición química de biomasa de trigo cultivado en invernadero**

### *2.3.1. Sitio y desarrollo del experimento*

En este ensayo se reprodujo la metodología adoptada en el Experimento II. Se emplearon macetas de 1,4 dm<sup>3</sup> y suelo remanente del experimento II. Trigo variedad ACA 304 fue sembrado el 25/03/2010, con 5 semillas por maceta. Al finalizar la emergencia de plántulas se efectuó un raleo dejando solo 3 plantas por maceta siendo ésta última la unidad experimental (UE). A inicios del macollaje (30/05/2010), se aplicó una solución de 20 mL con el fertilizante correspondiente a cada tratamiento.

### *2.3.2. Tratamientos y diseño experimental*

El diseño experimental fue completamente aleatorizado, respondiendo el diseño de los tratamientos a un factorial 4 x 3, donde cuatro niveles de N (0, 30, 60 y 90 kg ha<sup>-1</sup>) fueron combinados con tres niveles de S (0, 15 y 30 kg ha<sup>-1</sup>). Las fuentes de N y S fueron UAN y sulfato de potasio. Para esta experiencia fueron utilizadas 4 repeticiones por tratamiento.

### *2.3.3. Determinaciones*

La biomasa aérea fue cortada en su totalidad al inicio de la elongación del ápice caulinar (a 2 cm del suelo). Las muestras fueron identificadas, pesadas en fresco y llevadas a estufa a 60°C con ventilación forzada hasta peso constante. Posteriormente, fueron molidas a 2 mm en un molino Wiley para la evaluación química correspondiente, según tabla 2.3.

Tabla 2.3. Expresión y métodos de determinación de las variables estudiadas en biomasa aérea.

Variable	Notación	Unidad	Método de determinación
Rendimiento de materia seca		g MS.maceta <sup>-1</sup>	Estimado a partir de corte total dentro de cada maceta y corrección por % MS
Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca	DIVMS	%	Metodología Ankom según técnica modificada de Tilley y Terry, 1963. Equipo incubador Daisy (Ankom 200/20)
Macro y Micro elementos	N, P, S, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Mo y Zn	% <sup>1</sup>	Digestión ácida y cuantificación por espectrometría de emisión atómica por plasma inducido (Johnson y Ulrich, 1959). Equipo Shimadzu. Mod. ICPS.1000III.
Relación N:S	N:S	-	Cociente entre % N / % S

<sup>1</sup> valores expresados sobre base seca

#### 2.3.4. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de medidas descriptivas, ANVA y regresiones en las variables de interés. Para el análisis se utilizó el paquete estadístico Infostat (Di Renzo et al., 2008).

**Resultados**

**3.1. Experimento I. Ensayo a campo sobre parcelas experimentales.**

*3.1.1. Información climática durante el período de estudio*

En la Figura 3.1, se reportan el número de días con heladas correspondientes al año 2009, así como también, la precipitación registrada durante el mismo año y la distribución histórica de la misma para la zona de estudio. Durante el 2009 se registró una pluviometría 52% inferior al valor medio histórico, durante la estación de crecimiento del cultivo.

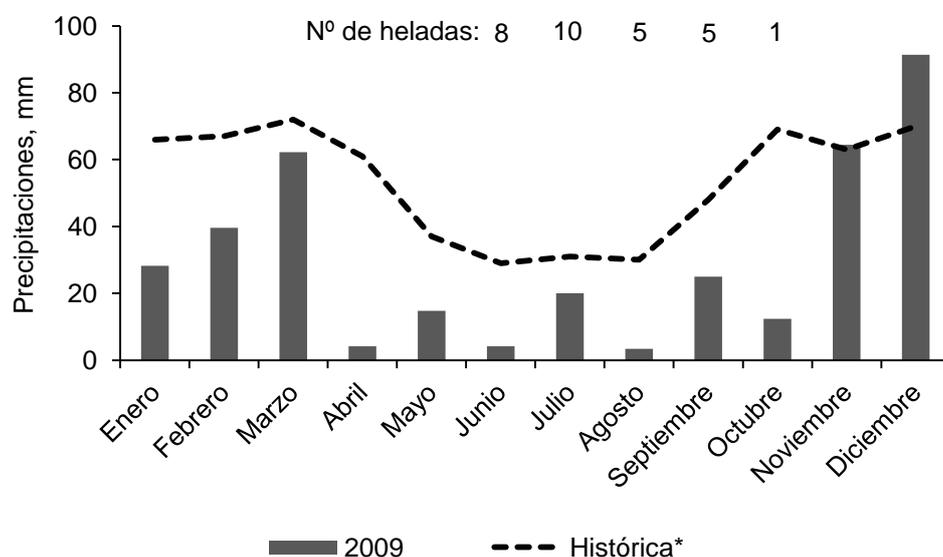


Figura 3.1. Precipitación media del año 2009 e histórica y número de días con temperaturas por debajo de los 0°C. \*Estación meteorológica localidad de Cabildo 1958-2008.

### 3.1.2. Estudios sobre el forraje

#### **Rendimiento de biomasa forrajera**

En la figura 3.2 se muestra el comportamiento del cultivo en función de la fertilización para cada corte y el acumulado de los dos cortes realizados. No se encontró efecto de interacción entre N y S ( $p > 0,25$ ) tanto entre cortes como en el acumulado de los mismos. El rendimiento de forraje tampoco fue afectado por la fertilización con nitrógeno y azufre ( $p = 0,7021$  y  $p = 0,3273$ ). Sin embargo, el rendimiento entre cortes difirió significativamente ( $p < 0,0001$ ). El primer corte rindió en promedio 3,7 veces más que el segundo (1447 vs 390 kg MS ha<sup>-1</sup>).

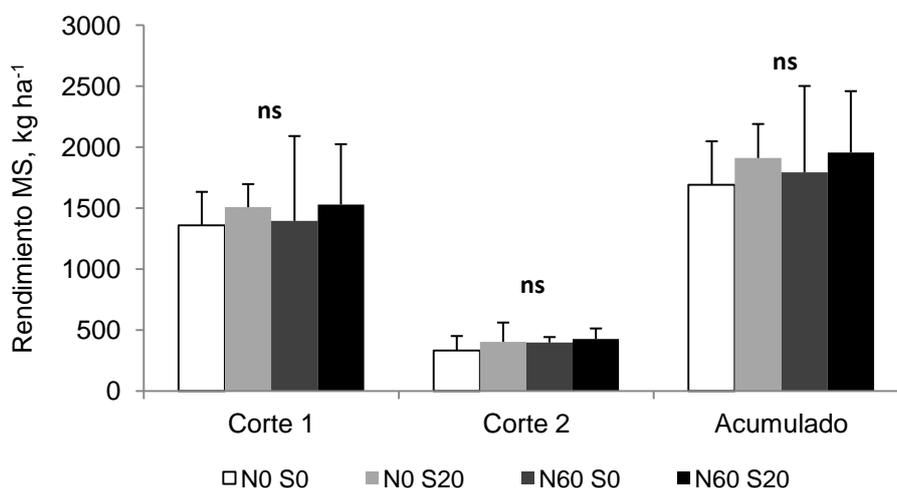


Figura 3.2. Producción de forraje en trigo doble propósito fertilizado con N y S. Las barras indican desvío estándar; ns= diferencias no significativas ( $p > 0,25$ )

#### **Contenido de materia seca**

La figura 3.3 muestra la ausencia de respuesta al tratamiento de fertilización sobre el valor porcentual de MS ( $p > 0,25$ ). Sin embargo, el corte alteró en forma altamente significativa ( $p < 0,0001$ ) el contenido de la misma.

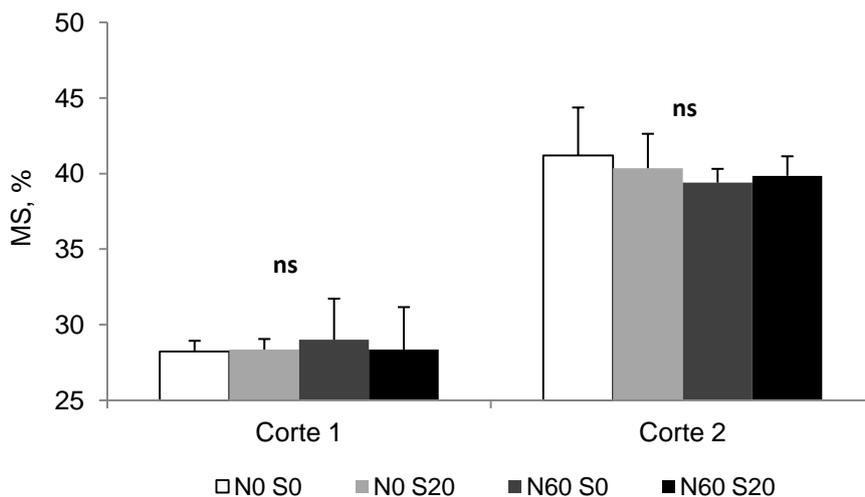


Figura 3.3. Contenido de materia seca del forraje en cada corte. Las barras indican desvío estándar; ns= diferencias no significativas ( $p>0,25$ )

### Determinaciones analíticas

La escasa humedad en el perfil al momento de la siembra, sumado a las bajas precipitaciones registradas durante todo el ciclo del cultivo (211 mm durante la estación de crecimiento) derivó en un bajo nivel de producción de MS y atenuadas tasas de crecimiento (11 y 16 kg MS ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> en cada corte respectivamente). Esta situación condujo a utilizar una muestra compuesta de forraje para todas las determinaciones analíticas.

No se detectaron efectos significativos de interacción, ni de los tratamientos tanto en PB como fracciones de la pared celular. Los valores promedios para estas variables fueron para PB= 23,4 ± 1,1%; FDN= 51,2 ± 1,9%; FDA= 25,6 ± 2,4% y LDA= 1,8 ± 0,3%. Por su parte, el azufre presentó un efecto simple sobre el contenido de S, con un incremento de 9,7 puntos sobre los tratamientos sin adición de azufre.

Por su parte, se observó un efecto simple de azufre, altamente significativo sobre la DIVMS, con un incremento promedio de 4,2 puntos de porcentaje sobre los tratamientos sin S (DIVMS= 63,8%).

Tabla 3.1. Contenido medio porcentual de proteína bruta, azufre total, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lignina detergente ácido y digestibilidad *in vitro* de la MS en forraje de trigo doble propósito fertilizado con N y S.

	PB	S	FDN	FDA	LDA	DIVMS
Efecto del N						
N0	23,16±1,27	0,21±0,02	51,39±2,11	26,05±2,76	1,71±0,35	65,75±2,88
N60	23,61±0,78	0,21±0,01	51,08±1,70	25,15±2,15	1,89±0,11	65,89±2,65
Efecto del S						
S0	22,93±1,15	0,20±0,01	51,60±1,72	25,63±2,32	1,89±0,17	63,70±1,51
S20	23,84±0,74	0,22±0,01	50,86±2,04	25,58±2,71	1,71±0,32	67,94±1,66
N	0,4320	0,6053	0,7116	0,4250	0,2218	0,8786
S	0,1330	0,0092	0,3913	0,9640	0,2218	0,0009
N x S	0,8516	0,2758	0,3067	0,2259	0,4724	0,8568

Valores medios  $\pm$  un desvío estándar. Proteína bruta (PB), azufre total (S), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA) y digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS).

### 3.1.3. Determinaciones en el grano

El bajo registro pluviométrico también afectó sensiblemente el rendimiento de grano, no permitiendo así hallar diferencias entre los tratamientos propuestos ( $p > 0,25$ ). El peso de 1000 granos también fue inalterado por los tratamientos utilizados ( $p > 0,25$ ). Sin embargo, aunque no significativo el agregado de S al suelo permitió un ligero incremento en la producción de grano cercano al 14% (Tabla 3.2).

No se hallaron evidencias que demuestren un efecto de la fertilización sobre PB y S ( $p > 0,25$ ). Por su parte, el nivel de proteína reportado resultó elevado respecto a rangos normales en granos con características similares. No obstante, se observa una tendencia lineal no significativa ( $p = 0,0963$ ) al agregado de fertilizante nitrogenado.

Tabla 3.2. Rendimiento de grano, Peso de 1000 granos y contenido de proteína bruta y azufre en grano.

	Grano, kg ha <sup>-1</sup>	P1000, g	PB, %	S, %
Efecto del N				
N0	493 ± 130	35,5 ± 1,6	15,4 ± 1,0	0,18 ± 0,01
N60	487 ± 119	35,4 ± 1,3	16,1 ± 0,3	0,19 ± 0,02
Efecto del S				
S0	458 ± 139	35,5 ± 1,1	15,6 ± 0,9	0,18 ± 0,01
S20	522 ± 97	35,4 ± 1,8	15,9 ± 0,7	0,19 ± 0,02
N	0,9274	0,8270	0,0963	0,5668
S	0,3771	0,9418	0,4523	0,1323
N x S	0,6420	0,9129	0,6784	0,3999

Valores medios ± un desvío estándar.

### 3.1.4. Relación N:S en forraje y grano

La Figura 3.4 muestra las relaciones N:S halladas para cada tratamiento en forraje y grano. No se hallaron efectos de interacción N x S ni de tratamientos sobre la variable en cuestión.

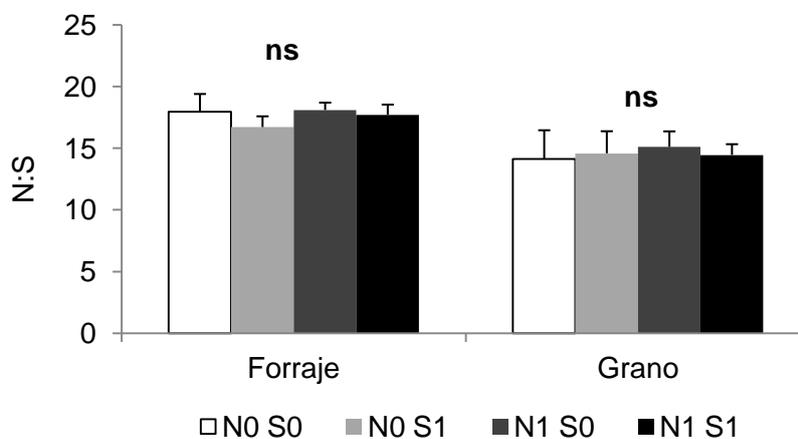


Figura 3.4. Relación N:S presente en el forraje y grano de trigo doble propósito. Las barras indican desvío estándar; ns= diferencias no significativas ( $p > 0,25$ )

## 3.2. Experimento II. Respuesta morfo-fisiológica de trigo cultivado en invernadero

### 3.2.1. Rendimiento de materia seca total

La acumulación de materia seca en la biomasa aérea no presentó efectos de interacción entre las fuentes de fertilización utilizadas ( $p = 0,8337$ ). Hubo un efecto positivo y altamente significativo con cada nivel de N aplicado ( $p = 0,0023$ ), mientras que el agregado de S no mostró cambios significativos en esta variable ( $p = 0,5431$ ). Sin embargo, la adición de 15 y 30 kg S ha<sup>-1</sup> resultó un 8% superior respecto del control (figura 3.5).

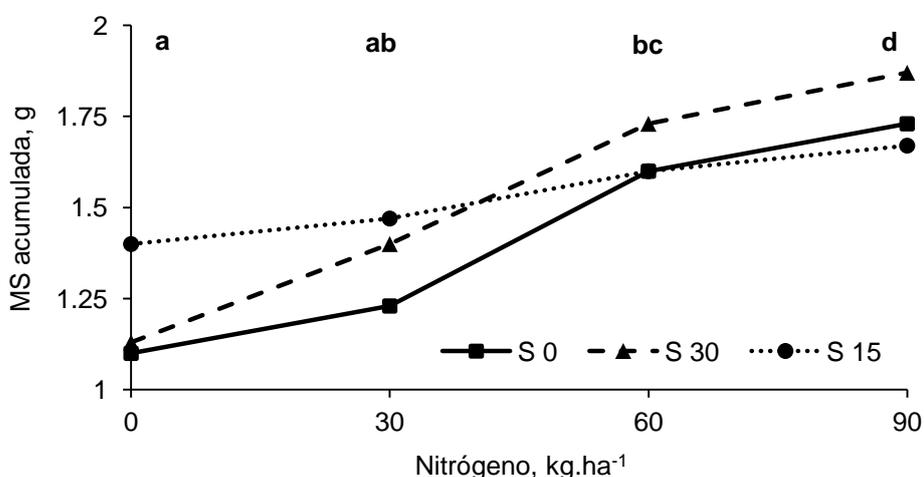


Figura 3.5. Rendimiento de materia seca total de plantas de trigo fertilizadas con nitrógeno y azufre.

### 3.2.2. Altura de planta y tasa de crecimiento

La figura 3.6 ilustra la dinámica de crecimiento de las plantas de trigo sometidas a diferentes niveles de N y S. Ni la altura de plantas ni la tasa de crecimiento de las mismas fueron afectadas por la adición de N y S. Sin embargo con dosis intermedias y altas de N se obtuvieron los mayores registros.

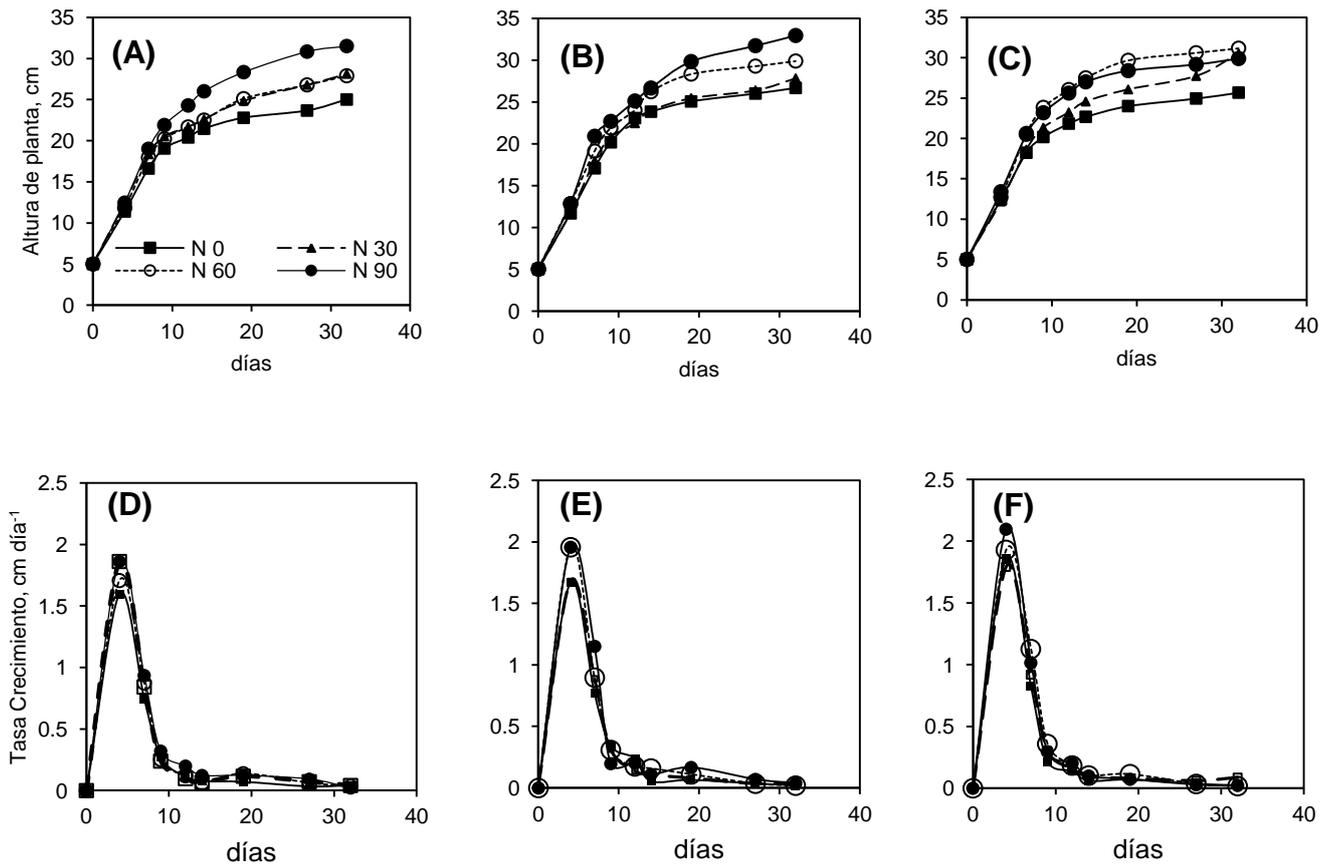


Figura 3.6. Altura de planta y tasa de crecimiento de plantas de trigo en función del tiempo. A y D corresponden a tratamientos sin adición de S (S 0); B y E corresponden a tratamientos S 15; C y F corresponden a tratamientos S 30.

### 3.3. Experimento III. Rendimiento y composición química de trigo cultivado en invernadero

#### 3.3.1. Rendimiento de materia seca total

La figura 3.7 muestra la respuesta de la biomasa aérea al agregado de fuentes de nitrógeno y azufre. No se halló interacción entre los tratamientos, mientras que la acumulación de MS aérea se incrementó significativamente ( $p=0,0007$ ) con el agregado de dosis crecientes de N. Del mismo modo, la adición de S mostró una fuerte tendencia positiva aunque no significativa ( $p=0,0843$ ).

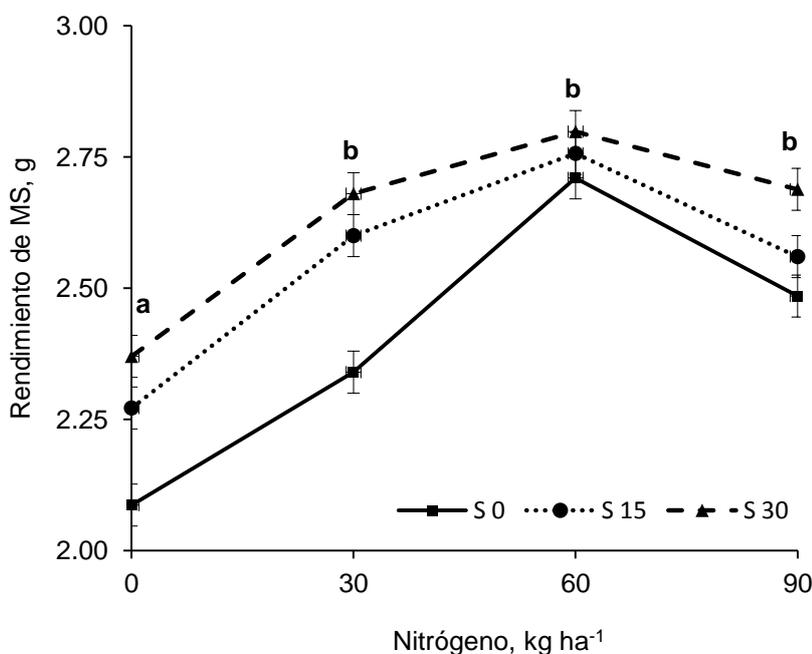


Figura 3.7. Rendimiento de materia seca total en respuesta a dosis crecientes de N y S.

Letras desiguales indican diferencias significativas ( $p<0,05$ ) por efecto de la adición de N; Las barras indican error estándar de la media; N,  $p=0,0007$ ; S,  $p=0,0843$ ; N x S,  $p=0,9612$

#### 3.3.2. Digestibilidad de la materia seca

La DIVMS fue la única variable que se incrementó con N y S exhibiendo una interacción NxS. Por tal motivo, se realizó un ANVA para cada nivel de S, evidenciando un efecto simple y altamente significativo del N ( $p<0,0001$ ) con

dosis cero de S. En tanto, el resto de los niveles de S, solo mostraron tendencias crecientes no significativas ( $p > 0,1$ ).

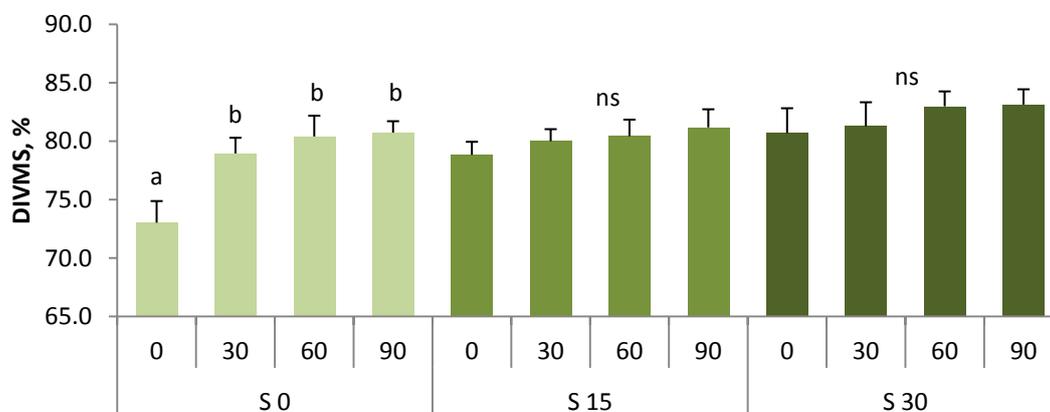


Figura 3.8. Digestibilidad *in vitro* de la biomasa forrajera en respuesta al agregado de N y S.

Las barras indican desvío estándar; letras desiguales indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

### 3.3.3. Macronutrientes y Micronutrientes

El estudio de macro y micronutrientes en biomasa de trigo mostró un efecto simple y positivo en la concentración de N en el forraje con agregado de UAN ( $p < 0,0001$ ), así como también un incremento en la concentración de S con la adición de fertilizante azufrado ( $p = 0,0089$ ).

El K tuvo un comportamiento similar que N (N:  $p = 0,0378$ ; S:  $p = 0,2375$ ). Sin embargo, el P, Ca y Mg no mostraron respuestas a los tratamientos propuestos.

Por su parte, el agregado de S redujo sensiblemente la concentración de Mo en un 60% cuando se comparó S30 vs S0. El Zn y Mn mostraron un comportamiento similar aunque no significativo quizás por la mayor variabilidad encontrada.

Tabla 3.4. Contenido de macronutrientes (Nt, St, P, K, Ca y Mg) y micronutrientes (Cu, Mn, Mo y Zn) en biomasa aérea de trigo tratado con distintos niveles de N y S.

kg N ha <sup>-1</sup>		N	Nt	St	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Mo	Zn
0	12	3,06	0,23	0,22	3,23	0,41	0,1	0,11	7,14	31,3	3,5	32,18
30	12	3,35	0,24	0,21	3,8	0,48	0,11	0,11	6,62	32,54	3,78	28,37
60	12	3,9	0,24	0,21	3,2	0,45	0,1	0,1	6,05	31,17	4,08	28,68
90	12	3,96	0,24	0,23	2,93	0,45	0,11	0,11	6,68	31,92	2,54	34,69
<b>DMS, 5%</b>		0,17	0,01	0,03	0,58	0,06	0,01	0,01	0,94	5,15	1,3	6,96
kg S ha <sup>-1</sup>		N	Nt	St	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Mo	Zn
0	16	3,56	0,23	0,23	3,22	0,44	0,11	0,11	6,73	33,77	5,06	35,07
15	16	3,56	0,25	0,21	3,12	0,46	0,1	0,1	6,28	30,65	3,34	29,25
30	16	3,58	0,25	0,21	3,53	0,45	0,1	0,1	6,86	30,78	2,02	28,61
<b>DMS, 5%</b>		0,15	0,01	0,03	0,5	0,05	0,01	0,01	0,82	4,46	1,12	6,02
N	<0,001	0,17	0,41	0,038	0,242	0,816	0,175	0,948	0,129	0,219		
S	0,968	0,009	0,423	0,238	0,651	0,803	0,375	0,292	<0,001	0,07		
N x S	0,338	0,409	0,929	0,49	0,944	0,622	0,749	0,85	0,458	0,423		

<sup>1</sup>DMS= Diferencia mínima significativa al 5%; Nt= N total; St= S total

Unidades: Nt, St, P, K, Ca y Mg en g/100 g; Cu, Mn, Mo y Zn en mg/kg

### 3.3.4. Relación N:S en biomasa aérea

La relación N:S respondió en forma positiva y altamente significativa ( $p < 0,0001$ ) con la adición de N. El agregado de S disminuyó esta relación ( $p = 0,042$ ) mostrando las mayores diferencias en dosis bajas o nulas de N.

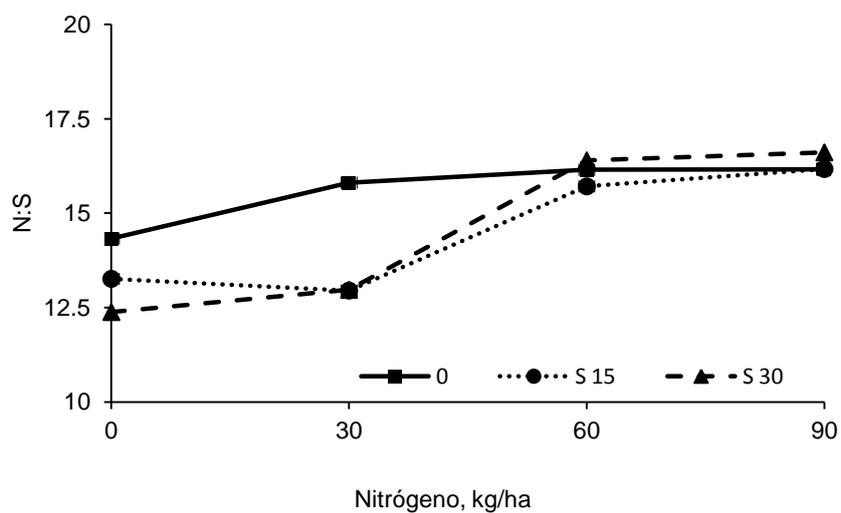


Figura 3.9. Relación N:S de la biomasa aérea de trigo cultivado en maceta y sometido a distintas dosis de fertilización nitro-azufrada.

### Discusión General

#### 4.1. Ensayo a campo

##### 4.1.1. Efecto de la fertilización sobre el rendimiento de forraje

Quiroga et al. (1999) mostraron que existe una gran variabilidad en la producción de MS de cereales invernales asociada directamente con la disponibilidad de agua y de N en el suelo. La producción de forraje o grano entonces, puede estimarse como el producto de la cantidad de recursos (agua, nutrientes y radiación) capturados y la eficiencia con que estos son convertidos en producto final (Caviglia et al., 2001).

En el presente trabajo el registro pluviométrico para el año en estudio fue 58% inferior al propuesto por Quiroga et al. (1999) como requerimiento para verdeos de invierno (240 mm desde marzo a agosto). Este evento climático, explicaría en gran medida la escasa producción de MS y falta de respuesta encontrada a la fertilización nitro-azufrada. Según Mc Donald et al. (2010) el nivel de consumo en bovinos se encuentra limitado con disponibilidades inferiores a los 1500 kg MS ha<sup>-1</sup>. En este sentido, salvo el primer corte, la escasa producción de MS presente en el segundo corte afectaría sensiblemente la normal tasa de ingestión de los animales a pastoreo.

Si bien no se hallaron evidencias que muestren diferencias significativas producto de la aplicación de N y S, los tratamientos que tuvieron aplicación de S incrementaron su producción un 11% (1741 vs 1933 kg MS ha<sup>-1</sup>).

Cabe destacar también, que el forraje cosechado exportó alrededor de 70 kg N ha<sup>-1</sup> y 4 kg S ha<sup>-1</sup> reafirmando la primera hipótesis planteada en este trabajo, aun con baja producción de MS. Malhi et al. (2004) reportaron extracciones similares del orden de 77 y 18 kg de N y S por ha, en

fertilizaciones N-S (124 y 20 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) sobre *Phleum pratense* (L).

Por su parte, Gierus et al. (2005) evaluando el efecto de la fertilización nitro-azufrada sobre *Dactylis glomerata* y *Lolium perenne*, reportaron que la fertilización con azufre podría ser omitida con suministros de nitrógeno por debajo de los 300 kg ha<sup>-1</sup>.

#### **4.1.2. Efecto de la fertilización sobre el valor nutritivo del forraje**

A pesar del escaso efecto de los tratamientos en este ensayo, las variables de calidad nutricional mantuvieron las relaciones esperadas. La PB correlacionó positivamente con S y DIVMS y de manera negativa con FDN, FDA y LDA ( $p < 0,05$ ; Van Soest, 1994).

El contenido medio de PB se situó dentro de valores normales para un verdeo de estas características, sin ser afectado por ninguno de los tratamientos propuestos. Del mismo modo, Puoli et al. (1991) y Gierus et al. (2005) tampoco hallaron respuesta a la fertilización nitro-azufrada sobre el contenido de PB en forraje de *Panicum virgatum*, *Lolium perenne*, y *Dactylis glomerata*. Por otro lado, Habtegebrial y Singh (2006) trabajando con *Eragrostis tef* sí obtuvieron un efecto positivo en la concentración de N en forraje el cual alcanzó el 43% con dosis de 105 y 32 kg ha<sup>-1</sup> de N y S respectivamente.

Por otro lado, la fertilización azufrada mejoró ligeramente la concentración de S y DIVMS del forraje en este estudio. Wang et al. (2002) trabajando sobre verdeo de avena también encontraron un efecto positivo del N y S aplicado sobre el contenido de ambos elementos en el tejido vegetal y sobre la DIVMS. Previamente, Puoli et al. (1991) evaluando la influencia del N y S fertilizado sobre forrajes estivales conjuntamente con su adición como suplemento en dieta de novillos, reportaron incrementos importantes en el contenido de S en forraje y digestibilidad de la MS y FDN.

El incremento en DIVMS observado en este experimento podría ser explicado por una mayor provisión de S en planta, el cual contribuiría a mejorar la provisión de aminoácidos azufrados a la población bacteriana del rumen (Church, 1993; Van Soest, 1994).

El aumento en los parámetros medidos de pared celular (FDN, FDA y LDA) es producido con el avance en la madurez de los cultivos (Van Soest, 1994). En el presente trabajo el contenido de pared celular no fue alterado por los tratamientos de fertilización. Resultados coincidentes han sido informados en gran parte de la bibliografía consultada con dosis que van entre 20 a 300 y 10 a 130 kg ha<sup>-1</sup> de N y S, respectivamente (Lancaster et al., 1971; Akin et al., 1983; Chestnut et al., 1986; Puoli et al., 1991; Isuwan et al., 2007; Denda, 2009).

Denda (2009) reportó un incremento significativo sobre el contenido de FDN en trigo fertilizado con N respecto del tratamiento control. Sin embargo, la magnitud de respuesta no afectaría el consumo voluntario de MS. Por su parte, Johnson et al. (2001) también reportaron una disminución de la FDN con dosis crecientes de N sobre *Cynodon dactylon*, *Cynodon nlemfuensis* y *Paspalum notatum*.

#### **4.1.3. Efecto de la fertilización sobre el grano**

Tal como fue mencionado anteriormente, la producción de grano se encuentra determinada por el ambiente (provisión de nutrientes, humedad y radiación). La escasa pluviometría registrada durante el ciclo del cultivo, determinó un rendimiento en grano promedio entre tratamientos de tan sólo 490 kg ha<sup>-1</sup>, además de ausencia en la respuesta a la fertilización nitro-azufrada.

Como era de esperar y en coincidencia con varios autores (Habtegebrail y Singh, 2006; Denda, 2009; Martínez, 2010; Bustos et al., 2013), el incremento

en la producción de biomasa forrajera también fue acompañado por un aumento en la producción de grano (Figura 4.1).

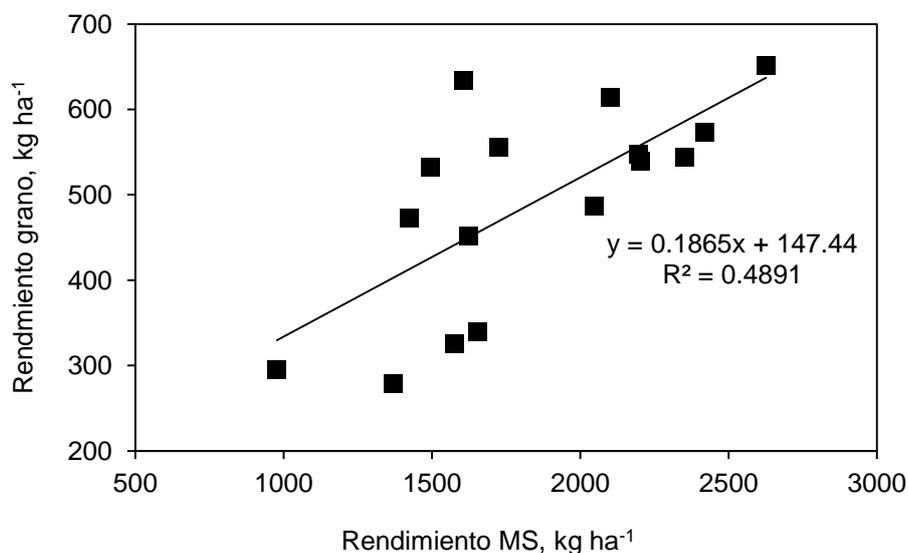


Figura 4.1. Relación entre rendimiento de materia seca y grano de trigo bajo distintas tratamientos de fertilización nitroazufrada.

Si bien, el P1000 fue inferior a los informados por Esmailpour-Jahromi et al. (2012) y Bustos et al. (2013) en trigos sin fertilizar, nuestro resultado se presenta dentro del rango propuesto en la región pampeana para el cultivar utilizado (Piatti y Ferreyra, 2012; Villar y Cencig, 2012).

La fertilización no afectó el P1000 granos, alcanzando en promedio de todos los tratamientos  $35,5 \pm 1,6$  g. Ghfar Mahgoub y Ibrahim (2012) evaluando el efecto de la dosis de fertilización nitrofosforada en trigo sobre los componentes de rendimiento del cultivo, tampoco hallaron respuesta de la fertilización en el P1000 granos.

Por otro lado, el contenido de PB y S tampoco han sido afectados por la fertilización nitroazufrada, seguramente debido al estrés hídrico ocurrido durante todo el ciclo del cultivo.

Según Yang et al. (2000) la sequía puede promover la removilización de nutrientes desde hojas y cañas e incrementar la velocidad de llenado de los

granos. Adicionalmente, este fenómeno disminuye el tamaño de los granos acortando la duración del llenado de los mismos (Altenbach et al., 2003).

Una revisión elaborada por Dupont y Altenbach (2003), indica que la máxima cantidad de almidón y proteína que puede acumularse en cada grano, depende del número de células del endosperma, determinado a inicios del llenado del grano y también, del tamaño final de las células. Este último factor, influenciado por el consumo de agua, la extensibilidad de la pared celular y la duración del llenado del grano. Esto podría explicar los elevados contenidos de PB para nuestro ensayo.

Kimball et al. (2001) condujeron un estudio para evaluar la calidad del grano de trigo situando al cultivo de trigo en un ambiente enriquecido con CO<sub>2</sub> y en un amplio rango de disponibilidad de agua y N. Estos autores observaron un ligero incremento en el contenido de N bajo situaciones de estrés hídrico. Por otro lado, cuando la disponibilidad de N era nula, la calidad de los granos decayó drásticamente.

El azufre presente en grano fue en promedio de los tratamientos de 0,185% ubicándose dentro del rango propuesto por la bibliografía analizada (Randall et al., 1981; Zhao et al., 1999a, b, 2006; Kimball et al., 2001; Flæte et al., 2005, Steinfurth et al., 2012).

Zhao et al. (1999b) evaluaron el efecto de la fertilización nitroazufrada sobre la calidad del grano de trigo, en siete experimentos de campo. Los autores no hallaron una respuesta directa del azufre sobre el contenido de proteína de los granos, aunque sí un incremento en la extensibilidad de las masas.

## **4.2. Ensayo en invernadero**

### **4.2.1. Efecto de la fertilización sobre la evolución del forraje**

Los valores hallados en términos de MS acumulada para los años 2009 y 2010, muestran una respuesta altamente positiva al agregado de N, en cultivos sin déficit de humedad, tal como lo reporta la extensa bibliografía consultada (Marino et al., 1996; MacAdam et al., 1989; Gastal et al., 1992; Ferri et al., 2000; Johnson et al., 2001; Arzadún et al., 2002; Ali et al., 2005; Denda, 2009).

A diferencia del N, la respuesta al agregado de S suele ser mayormente variable en la literatura científica. Según Torres Duggan et al. (2010) al menos en Argentina, la respuesta a S suele ser observada en las siguientes condiciones: bajo contenido de materia orgánica en los suelos; campos con un largo historial de agricultura; sistemas de siembra directa; altas respuesta a fertilizantes con N y P. En nuestro caso, el agregado de S no produjo diferencias en rendimiento en 2009, aunque se observó una tendencia no significativa a aumentar su contenido en 2010. Sin embargo, en ninguna de las dos situaciones la magnitud de respuesta (por debajo del 10%) fue lo suficientemente trascendente para generar un cambio nutricional significativo en bovinos. Quizás sí en ovinos, producto de la mayor demanda de aminoácidos azufrados para la producción de lana (Underwood y Suttle, 1999)

Salvagiotti y Miralles (2007) no detectaron ningún cambio en la duración de los distintos estados fenológicos o el valor de filocrono en trigo cuando fueron suministrados distintos niveles de N y S.

Tal como era de esperar, la altura de planta correlacionó positivamente con la biomasa acumulada, en todos los tratamientos. La tasa de crecimiento fue máxima con  $90 \text{ kg N ha}^{-1}$ , independientemente del nivel de S empleado. Sin embargo, el agregado de S mejoraría la tasa de crecimiento del cultivo aun con dosis bajas de N. De modo que, la provisión suplementaria de nutrientes al suelo modifica el desarrollo en un cultivo. Prystupa et al. (2003) hallaron una reducción en la tasa de aparición de hojas y macollos con agregado de fertilizantes nitrofosforados. La aparición de macollos por su parte fue más susceptible a las deficiencias de N y P que la aparición de hojas.

#### 4.2.2. Efecto de la fertilización sobre el valor nutritivo del forraje

En general la fertilización nitroazufrada tendió a incrementar la DIVMS. Una mayor actividad microbiana producto de una mayor disponibilidad de N y S en el forraje, podría explicar el aumento en la digestibilidad de la MS. Sin embargo, sólo se registró un aumento substancial en la DIVMS con agregado de N y no de S. Goh y Kee (1978) trabajando sobre *Lolium perenne* (L.) informaron respuesta a la DIVMS únicamente con N. Aquí el agregado de S tampoco afectó la DIVMS. Adicionalmente, Panditharatne et al. (1986) encontraron interacción NxS para DIVMS tal como fue observado en el presente estudio.

De modo similar, Wang et al. (2002) encontraron mayor respuesta en DIVMS con agregado de N que con S (10 vs 4% de incremento). Estos resultados también son coincidentes con los informados por Puoli et al. (1991) y Ahmad et al. (1995).

La inclusión de 60 kg N ha<sup>-1</sup> permitió incrementar el contenido de N total en el forraje un 27%. Mayores aportes parecerían no afectar de manera substancial la respuesta al mismo. Por su parte, el agregado de 15 kg S ha<sup>-1</sup> también permitió incrementar su concentración en el forraje un 9%. Estos efectos simples observados también han sido reportados en la bibliografía (Panditharatne et al., 1986; Puoli et al., 1991; Ahmad et al., 1995).

Lamond et al. (1995) trabajando con *Bromus inermis* (Leyss) hallaron respuestas positivas al agregado de S sobre los niveles de proteína y concentración de S en el forraje un mes antes de cosecha. Sin embargo, estos efectos se vieron diluidos al momento de cosecha. A partir de esto, los autores sugieren la aplicación de esta estrategia si el forraje será destinado a pastoreo directo y no así si es esperado para la confección de henos.

El N presente en planta y proveniente de proteína verdadera presenta una eficiencia de utilización mayor por parte de los rumiantes, respecto del nitrógeno no proteico (Church, 1993). La síntesis proteica en plantas y

animales se encuentra restringida cuando el S es deficitario, principalmente cuando la disponibilidad de aminoácidos azufrados es reducida (Jones et al., 1982). En el presente experimento, la concentración de S en el forraje fue 0,25% en los tratamientos que recibieron fertilización azufrada. Según NRC (1985 y 1996) los requerimientos de S en dietas para ovinos es del rango de 0,14 a 0,26% mientras que para bovinos de carne 0,15%. Ambas especies, presentan un límite superior de tolerancia en la dieta de 0,4%, por encima de este nivel comienza a resentirse el consumo voluntario y la motilidad ruminal.

Es conocido que los minerales juegan un rol trascendente para el crecimiento microbiano, la síntesis proteica y en la degradación de fibra. Dependiendo si el suministro de los elementos minerales es directo desde la dieta o indirectamente a partir de la fertilización en los cultivos, la brecha de respuesta animal podría ser diferente (Rees et al., 1974).

En el presente trabajo, no se observaron efectos de interacción en ninguno de los macro y microelementos en estudio.

La concentración de K tendió a reducirse con el aumento en la fertilización nitrogenada, tendencia totalmente opuesta a la observada por Denda (2009). No obstante, esta tendencia podría ser asociada a una competencia iónica por un mismo sitio de absorción en la planta entre  $K^+$  y  $NH_4^+$  (Hoopen et al., 2010). Un incremento en la dosis de N, principalmente en la forma de  $NH_4^+$ , podría reducir el ingreso de K y su consecuente asimilación por parte de las plantas.

Según NRC (1996), el contenido de K en verdeos, al igual que otros forrajes, supera los requerimientos nutricionales de bovinos para carne. De este modo, resulta más común encontrar problemas nutricionales por exceso que por deficiencia de K.

En rumiantes, el Mg es absorbido con facilidad por el epitelio ruminal mediante dos mecanismos de transporte activo contra un gradiente electroquímico (Greene et al., 1983). Sin embargo, un aumento en la concentración de K puede alterar la diferencia de potencial entre el plasma sanguíneo y el licor ruminal, afectando en forma negativa la absorción de Mg.

Este hecho aumenta el riesgo de tetania por hipomagnesemia comúnmente presente en vacas de cría (Underwood y Suttle, 1999).

Un índice que permite inferir sobre un potencial riesgo de tetania en animales vulnerables es la relación  $K/(Ca+Mg)$ , el cual tiene un nivel crítico situado en 2,2 (Kemp y 't Hart, 1957). Para nuestro estudio, todos los tratamientos superaron ampliamente ese nivel crítico. Esto sugiere, un elevado riesgo en aquellos animales que pastoreen este forraje pudiendo contraer hipomagnesemia o hipocalcemia. Datos semejantes fueron reportados por Arelovich et al. (2004) utilizando verdeo de avena en las localidades de Argerich y Pasma. Brizuela y Cseh (2003) en un estudio conducido en Balcarce, utilizando distintos cultivares de centeno, avena y raigrás anual, analizaron el potencial tetanizante en distintas fechas de siembra. Estos autores concluyen que independientemente de la especie o momento de siembra, los mayores riesgos tetanizantes se presentan en la primera etapa de crecimiento del cultivo, donde los niveles de K tienden a ser muy elevados.

Por otro lado, se sabe que un incremento en el contenido de PB en los forrajes, representa en un aumento de  $NH_4^+$  a nivel ruminal, el cual ha sido señalado como un factor que también puede disminuir, aunque transitoriamente, la absorción de Mg a través del epitelio (Underwood y Suttle, 1999).

En similitud con Denda (2009) la concentración de P, Ca, Mg no fue afectada por la fertilización. No obstante, los valores medios hallados en verdeo de trigo satisfacen los requerimientos de bovinos en crecimiento (NRC, 1996).

En base a los resultados hallados no es posible obtener conclusiones claras acerca del efecto de la fertilización nitroazufrada sobre la concentración de Cu y Mn. No obstante, los niveles reportados en todos los casos, no cubren los requerimientos de animales en crecimiento para Cu, mientras que, Mn lo supera en más de un 50% (NRC, 1996).

Se cree que el Cu reacciona con tiomolibdatos en rumen para formar complejos insolubles los cuales serán deficitariamente absorbidos. Por ello, el aumento en la concentración de Mo y S en forrajes, repercutirá directamente en los requerimientos de Cu, aumentándolos (Minson, 1990; Underwood y Suttle,

1999). En nuestra experiencia, si bien, la concentración de S fue incrementada mediante la fertilización, la magnitud de incremento no parecería ser tan marcada como para afectar la normal absorción del Cu (NRC, 1996).

Por otro lado, el agregado de S redujo consistentemente la concentración Mo ( $P < 0,001$ ). Al igual que lo hallado con el K, atribuible posiblemente a la competencia iónica por los sitios de absorción con  $\text{SO}_4^-$ . Kaiser et al. (2005) han mostrado que el suministro de  $\text{SO}_4^-$  influencia el consumo de Mo. El mecanismo que controla el transporte de Mo en organismos superiores aun es desconocido. Por la similitud en tamaño de los aniones  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{MoO}_4^-$ , se sospecha su movimiento sea compartido (Kaiser et al., 2005). De modo que existe un antagonismo entre estos aniones el cual puede ser observado en la interface raíz-suelo y dentro de la planta, cuando un incremento en el suministro de S, resulta en menores concentraciones de Mo en los tejidos vegetales (Singh y Kumar, 1979).

La importancia del Mo radica en su función como cofactor de distintas enzimas en los organismos vivos. Sin embargo, según el NRC (1996) los requerimientos de Mo para bovinos aun no están establecidos. No hay evidencias de ocurrencia de deficiencias de Mo en ganado bovino bajo condiciones pastoriles. Sin embargo, la adición de este elemento en dietas con alta proporción de fibra parece incrementar la degradabilidad en vacunos (Shariff et al., 1990).

El Zn, por su parte, mostró una tendencia no significativa ( $P < 0,07$ ) a disminuir con el agregado de N y S, aunque dichas variaciones fueron numéricamente muy pequeñas. El requerimiento de Zn recomendado por el NRC (1996) para bovinos en crecimiento es de  $30 \text{ mg kg}^{-1}$ . Salvo en los tratamientos sin fertilización, la concentración de Zn se ubicó por debajo de lo recomendado para esta especie animal y categoría.

Dada la trascendencia del N y el S en la síntesis proteica, tanto la absorción como la asimilación de estos nutrientes en la planta está estrechamente relacionada (Jamal et al., 2010). Fazili et al. (2008) reportaron que la falta de S limita la eficiencia de uso del N aplicado. De alguna manera

entonces, la adición de S se convierte en necesaria para mejorar la recuperación del nitrógeno fertilizado.

La relación N:S se comportó según lo esperado, aumentando y reduciéndose con dosis crecientes de N y S respectivamente (Figura 3.9). En todos los casos del presente estudio, la relación N:S fue superior a los valores críticos inferiores de 10 a 12 recomendados para ovinos y bovinos (Underwood y Suttle, 1999).

Aunque el S es mucho menos abundante que el N en los tejidos de la planta un adecuado suministro de S es crítico para el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a su rol en la regulación del metabolismo del N (Schmidt et al 2013).

Por su parte, se sabe que los requerimientos proteicos en un rumiante pueden ser satisfechos casi en su totalidad a partir de proteína microbiana. Sin embargo, en animales de altos rendimientos, como vacas lecheras, su respuesta productiva se encuentra limitada entre otros factores por el suministro adecuado de aminoácidos a nivel duodenal (Edmunds et al., 2013). Algunos sistemas de evaluación proteica, asumen que el perfil de aminoácidos provenientes de la proteína no degradable en rumen es constante. Sin embargo, una multiplicidad de estudios demuestra que la composición de aminoácidos en la proteína no degradable es consecuente a la fuente de aminoácidos presente en la dieta. En este sentido, un conocimiento más preciso de la provisión de ciertos aminoácidos o microelementos en la dieta de animales de alto rendimiento, permitiría ajustar programas de formulación a fin de satisfacer la demanda real de nutrientes por parte del animal.

Tal como fuese expresado en el capítulo introductorio, el empleo de trigo u otro cereal invernal con destino a doble propósito resulta una herramienta útil, destinada a sistemas que conjugan la actividad ganadera con la agrícola. Sin embargo, su éxito es posible si el cultivo cuenta con un suministro apropiado de recursos que le permitan aumentar su eficiencia productiva. Esto se traducirá en una mayor eficiencia productiva en los animales y al mismo tiempo, un mayor uso del espacio productivo.

## Conclusiones

Para las condiciones ensayadas a campo la producción de forraje y el rendimiento de grano se vieron sensiblemente afectados por el estrés hídrico.

El suministro adecuado de agua (ensayos en maceta) permitió revelar los efectos de los tratamientos sobre la producción de MS. De modo que, bajo situaciones de precipitación normal sería esperable observar efectos numéricamente superiores a los hallados a campo.

El suministro de S incrementó la digestibilidad en el experimento de campo, aunque se vio atenuado su efecto en macetas.

La variación en la dosis N y S empleada no afectó el contenido de PB a campo aunque fueron observados efectos simples en ensayos en maceta.

El K redujo su concentración en el forraje con el agregado de N. Sin embargo, su alto contenido mantuvo la probabilidad de generar hipomagnesemia en animales bajo pastoreo directo.

La fertilización alteró el contenido de minerales como Mo y Zn, sin embargo, su disponibilidad en el forraje no parecería afectar la demanda mínima de estos elementos requerida por bovinos a pastoreo.

## Bibliografía

- Ahmad, M.R., Allen, V.G., Fontenot, J.P., y Hawkins, W.G.** 1995. Effect of sulfur fertilization on chemical composition, ensiling characteristics, and utilization by lambs of sorghum silage. *Journal of Animal Science*, 73:1803-1810.
- Akin, D. E., G. L. Gordon, y J. P. Hogan.** 1983. Rumen bacterial and fungal degradation of *Digitaria pentzii* without sulfur. *Applied and Environmental Microbiology*, 46 (3): 738 – 748.
- Ali, H., Ahmad, S., Ali, H., y Sohail Hassan, F.** 2005. Impact nitrogen application on growth and productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agriculture & Social Science*, 1 (3): 216-218.
- Altenbach, S.B., Dupont, F.M., Kothari, K.M., Chan, R., Johnson, E.L., y Lieu, D.** 2003. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. *Journal of Cereal Science* 37: 9-20
- Angus J.F., y van Herwaarden A.F.** 2001. Increasing water use and water use efficiency in dryland wheat. *Agronomy Journal*, 93 (2): 290-298.
- A.O.A.C.** 1990. Official Methods of Analysis. *Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C. (15th edition).*
- Arelovich, H.M., y Laborde, H.E.** 2003. Desarrollo y evaluación de estrategias de alimentación bovina de aplicación regional. *Actas de la II Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense, 6-8 de junio de 2002, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, EdiUNS, tomo III; 55-69.*
- Arelovich, HM, Arzadún, MJ, Laborde HE y Vasquez, MG.** 2003. Performance of beef cattle grazing oats supplemented with energy, escape protein or high quality hay. *Animal Feed Science and Technology*, 105: 29-42.

- Arelovich, H.M., Laborde, H.E., Arzadún, M.J., y Vasquez, M.G.** 2004. Influence of hay quality and pasture location on performance of beef cattle grazing oats. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2 (1): 53-61.
- Arelovich, H.M., Denda, S.S., Arzadún, M., Laborde, H.E., y Torrea, M.B.** 2004. Concentración de minerales esenciales en un verdeo de trigo en respuesta a la fertilización nitrogenada. *27° Congreso Argentino de Producción Animal, Rev. Arg. Prod. Anim*, 24 (1): 84-85
- Arisnabarreta S., y Miralles, D.J.** 2004. The influence of fertiliser nitrogen application on development and number of reproductive primordia in field-grown two and six rowed barleys. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55: 357-366.
- Arroquy, J.I. 2000.** Producción de forraje y grano de trigo (*Triticum aestivum* L.): efecto de la fecha de siembra, la intensidad de defoliación y la variedad. *Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur*. 113 p.
- Arzadún, M.J., Laborde, H.E., Canelo, S., y Continanza, G.** 2002. Fertilización nitrogenada en trigo doble propósito y eficiencia de uso de la tierra. *Revista Argentina de Producción Animal*, 22 (1): 222-223.
- Arzadún, M.J., Arroquy, J.I., Laborde, H.E., y Brevedan R.E.** 2003. Grazing pressure on beef and grain production of dual-purpose wheat in Argentina. *Agronomy Journal*, 95 (5): 1157-1162.
- Arzadún, M.J., Arroquy, J.I., Laborde, H.E., y Brevedan R.E.** 2006. Effect of Planting Date Clipping Height, and Cultivar on Forage and Grane Yield of Winter Wheat in Argentinean Pampas. *Agronomy Journal*, 98 (5): 1274-1279.
- Arzadún, M.J., Zamora, M., Domenech, M., Bravo, R.D., Bolletta, A., y Laborde, H.E.** 2010. Comparación de especies invernales de uso como doble propósito. *33° Congreso Argentino de Producción Animal, Viedma, RN, octubre de 2010. Revista Argentina de Producción Animal*, 30 (1): 203-431.

- Bainotti, C., Arzadun, M., Lázaro, L., Laborde, H., Bandera, R., López, J.R., Bolleta, A., Grassi, E., Masiero, B., y Ghida Daza, C.** 2008. Evaluación de cultivares de trigo doble propósito durante la campaña 2006-2007. *Información para extensión N° 118, INTA EEA Marcos Juárez. 10 p. ISSN 0327-697X.*
- Balbarrey, G.P.** 2009. Fertilización nitroazufrada en verdeos invernales puros y consociados con vicias y efectos sobre el suelo. *Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur. 143 p.*
- Bloom, A.J., Sukrapanna, S.S., y Warner R.L.** 1992. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. *Plant Physiology, 99 (4): 1294–1301.*
- Bolton, J., Tadeusz Z., y Nowakowski, W.L.** 1976. Sulphur–nitrogen interaction effects on the yield and composition of the protein-N, non-protein-N and soluble carbohydrates in perennial ryegrass. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 27 (6): 553–560. Abstract*
- Bondi, A.A.** 1988. *Nutrición Animal. Editorial Acribia, Zaragoza (España). ISBN: 84-200-0662-9. 546 p.*
- Brizuela, M.A., y Cseh, S.B.** 2003. Composición mineral y potencial tetanizante en verdeos de invierno sembrados en diferentes fechas. *Revista Argentina de Producción Animal, 23(2): 91-101*
- Bukovac, M.J. y Wittwer, S.H.** 1957. Absorption and Mobility of Foliar Applied Nutrients. *Plant Physiol., 32(5): 428–435.*
- Bustos, D.V., Hasan, A.K., Reynolds, M.P., y Calderini, D.F.** 2013. Combining high grain number and weight through a DH-population to improve grain yield potential of wheat in high-yielding environments. *Field Crops Research 145 (2013) 106–115*
- Caviglia, O.P. y Sadras, V.O.** 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation- use efficiency of wheat. *Field Crops Research. 69 (3): 259-266.*

- Chapin, F.S., Bloom, A.J., Field, C.B., y Waring R.H.** 1987. Plant responses to multiple environmental factors. *Bioscience*, 37 (1): 49-57.
- Chapman, S.J.** 1997. Barley straw decomposition and S immobilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 29 (2): 109-114.
- Chestnut, A.B., Fahey, G.C., Berger, L.L., y Spears, J.W.** 1986. Effects of sulfur fertilization on composition and digestion of phenolic compounds in tall fescue and orchardgrass. *Journal of Animal Science*, 63:1926-1934
- Church, D.C.**, Editor. 1993. *The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition*. Ed. Waveland Pr Inc. ISBN-13: 978-0881337402. 564p.
- Ciampitti, IA y García, F.O.** 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y Extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios.I. Cereales, oleaginosas e industriales. *Archivo Agronómico* 11: 13-16.
- Coria, M.L.** 2010. Efecto del aporte de ensilaje de sorgo a la dieta de vaquillonas que pastorean verdeo de trigo. *Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur*. 77 p.
- Darwich, N.A.** 1998. Manual de fertilidad de los suelos y uso de fertilizantes. *Talleres gráficos de Mar del Plata, Argentina*. 182p.
- Denda, S.S.** 2009. Trigo doble propósito. Impacto de la fertilización nitrogenada sobre la producción y composición química del forraje. *Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur*. 87 p.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C.W.** 2008. InfoStat, versión 2008. *Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*.
- Díaz, M. J.; Roberto, Z. E. y Viglizzo, E. F.** 1986. Diversificación productiva y estabilidad económica de sistemas con distintas relaciones agroganaderas. *Revista Argentina de Producción Animal*, 6: 603-608.
- Dijkshoorn, W., y van Winjk, A.L.** 1967. The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur-nitrogen ratio in the organic matter. *Plant and Soil*, 26 (1): 129-157.

- Dunphy, D.J., Mc Daniel, M.E., y Holt, E.C.** 1982. Effect of forage utilization on wheat grain yield. *Crop Science*, 22: 106-109.
- Dupont, F.M., y Altenbach, S.B.** 2003. Review: Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science* 38: 133-146
- Echeverría, H.E.** 2005. Azufre. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. Pág. 139-160.
- Edmunds, B., Südekum, K.H., Bennett, R., Schröder, A., Spiekens, H., Schwarz, F.J.** 2013. The amino acid composition of rumen-undegradable protein: A comparison between forages. *Journal of Dairy Science*, 96 (7): 4568-4577
- Elizalde, J. C. y Santini, F. J.** 1992. Factores nutricionales que limitan las ganancias de peso en bovinos en el período otoño-invierno. *Bol. Téc. Nº104*. INTA, CERBAS, EEA Balcarce. Bs. As. Argentina. 27 p.
- Esmailpour-Jahromi, M., Ahmadi, A., Lunn, J.E., Abbasi, A., Poustini, K., y Joudi, M.** 2012. Variation in grain weight among Iranian wheat cultivars: the importance of stem carbohydrate reserves in determining final grain weight under source limited conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 6 (11): 1508-1515
- Ewing, M.A., y Flugge, F.** 2004. The benefits and challenges of crop–livestock integration in Australian agriculture. In T. Fisher et al. (ed.) *New directions for a diverse planet. Proc. 4th Int. Crop Sci. Congr., 26 Sept. to 1 Oct 2004, Brisbane, Australia*. Sitio web: [www.cropscience.org.au/icsc2004/symposia/6/3/2005\\_ewingma.htm](http://www.cropscience.org.au/icsc2004/symposia/6/3/2005_ewingma.htm) (Acceso: 05-sep-2010). *The Regional Institute, Gosford, NSW, Australia*.
- FAO** (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) **y IFA** (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes). 2002. Los fertilizantes y su uso. *Cuarta edición, revisada*, FAO e IFA, Roma, 2002. ISBN 92-5-304414-4; 87p.

- Fazili IS, Jamal A, Ahmad S, Masoodi M, Khan JS, y Abdin MZ.** 2008. Interactive effect of sulphur and nitrogen on nitrogen accumulation and harvest in oilseed crops differing in nitrogen assimilation potential. *Journal of Plant Nutrition* 31: 1203-1220
- Ferri, C.M., Stritzler, N.P., y Pagella, J.H.** 2000. Fertilización nitrogenada en verdes invernales: composición química, consumo voluntario, digestibilidad *in vivo* y degradación ruminal. *XVI Reunión Latinoamericana de Producción Animal, Montevideo, Uruguay.*
- Fischer, R.A.** 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. *Field Crops Research*, 33: 57-80.
- Flætea N. E. S., K. Hollungb, L. Ruudc, T. Sogna, E. M. Færgestadb, H. J. Skarpeidb, E. M. Magnusb y A.K. Uhlen.** 2005. Combined nitrogen and sulphur fertilisation and its effect on wheat quality and protein composition measured by SE-FPLC and proteomics. *Journal of Cereal Science*, 41 (3): 357-369.
- Francia, E., Pecchioni, N., Li Destri Nicosia, O., Paoletta, G., Taibi, L., Franco, V., Odoardi, M., Stanca, A.M., y Delogu, G.** 2006. Dual-purpose barley and oat in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 99: 158-166.
- Franke, A.C, Berkhout, E.D., Iwuafor, E.N.O., Nziguheba, G., Dercon, G., Vandeplass, I., y Diels, J.** 2010. Does crop-livestock integration lead to improved crop production in the savanna of west Africa?. *Experimental Agriculture*, 46 (4): 439-455. *Abstract.*
- Fossati, D., Fossati, A., y Feil, B.** 1993. Relationship between grain yield and grain nitrogen concentration in winter triticale. *Euphytica*, 71: 115-123.
- Galantini, J., Fernández, R., Minoldo, G., Landriscini, M.R., Kiessling, R., y Rosell, R.** 2004. Fertilización del trigo con N y S en suelos bajo siembra directa del S y SO bonaerense. *VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cultivos de Siembra Otoño-Invernal. Dto. Agronomía, UNS, Bahía Blanca, 141-142.*

- Garcia del Moral, L.F., Buojenja, A., Yañez, J.A., y Ramos, J.M.** 1995. Forage production, grain yield, and protein content in dual-purpose triticale grown for both grain and forage. *Agronomy Journal*, 87 (5): 902-908.
- Gastal, F., Belanger, G., y Lemaire, G.** 1992. A model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. *Annals of Botany*, 70: 437-442.
- Gastal, F., y Nelson, C.J.** 1994. Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. *Plant Physiology*, 105: 191-197.
- Ghfar Mahgoub, S.A., y Ibrahim, Y.M.** 2012. Performance of wheat yield under different fertilizer types, application and doses at Northern Sudan State. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 3 (3):125-130
- Gierus, M., Jahns, U., Wulfes, R., Wiermann, C., y Taube, F.** 2005. Forage quality and yield increments of intensive managed grassland in response to combined sulphur-nitrogen fertilization. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 55: 264-274
- Gilbert S.M., Clarkson, D.T., Cambridge, M., Lambers, H., y Hawkesford, M.J.** 1997.  $\text{SO}_4^{2-}$  Deprivation has an early effect on the content of Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and photosynthesis in young leaves of wheat. *Plant Physiology*, 115: 1231-1239.
- Gould, D.H., Dargatz, D.A., Garry, F.B., y Hamar, D.W.** 2002. Potentially hazardous sulfur conditions on beef cattle ranches in the United States. *Journal of American Veterinary Medical Associations*, 221(5): 673-677.
- Greene, L.W.; Webbe, K.E. Jr., y Fontenot, J.P.** 1983. Effect of potassium level on site of absorption of magnesium and other macroelements in sheep. *J. Anim. Sci.* 56:1214-1221
- Griffin, J.L., y Jung, G.A.** 1982. Leaf and stem forage quality of big bluestem and switchgrass. *Agronomy Journal*, 75 (5): 723-726.
- Griffiths M. W., Kettlewell P. S., y Hocking T. J.** 1995. Effects of foliar-applied sulphur and nitrogen on grain growth, grain sulphur and nitrogen concentrations and yield of winter wheat. *The Journal of Agricultural Science*, 125: 331-339.

- Goering, H.K., y Van Soest P.J.** 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagent, procedures and some applications). *Agricultural Handbook*, 379. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Goh, K.M., y Kee, K.K.** 1978. Effects of nitrogen and sulphur fertilization on the digestibility and chemical composition of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Plant and Soil*, 50: 161-177.
- Habtegebrial K., y Singh B.R.** 2006. Effects of timing of nitrogen and sulphur fertilizers on yield, nitrogen, and sulphur contents of Tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 75: 213-222
- Hafley, J., Nipper, W.A., Craiq, W.M., Adkinson, R.W., y Achacoso, A.S.** 1987. Effect of growth stage and fertilization on crude protein and in vitro protein degradation of cool-season annual forages. *Journal of Dairy Science*, 70 (12): 2550-2559.
- Hardt, P.F., Ocumpaugh, W.R., y Greene, L.W.** 1991. Forage mineral concentration, animal performance, and mineral status of heifers grazing cereal pastures fertilized with sulfur. *Journal of Animal Science*, 69: 2310-2320.
- Harrison, M., Evans, J., Dove, H., y Moore A.** 2011. Dual-purpose cereals: can the relative influences of management and environment on crop recovery and grain yield be dissected?. *Crop & Pasture Science*, 62: 930-946.
- Harper, L.A., Sharpe, R.R., Langdale, G.W., y Giddens, J.E.** 1987. Nitrogen cycling in a wheat crop: soil, plant and aerial nitrogen transport. *Agronomy Journal*, 79 (6): 965-973.
- Hatch, D.J., Jarvis, S.C., y Phillips, L.** 1990. Field measurements of nitrogen mineralization using soil core incubation and acetylene inhibition of nitrification. *Plant and Soil*, 124 (1): 97-107.
- Heffer, P., International Fertilizer Industry Association.** 2010. Impact of biofuel production on world nitrogen fertilizer demand: current situation and outlook. 5<sup>th</sup> International Nitrogen Conference, 3-7 December 2010, New Delhi, India. Sitio web: [www.fertilizer.org](http://www.fertilizer.org) (Acceso: 02-feb-2011).

- Hernández, O.A.** 1969. Efecto de la época y la intensidad del pastoreo sobre el rendimiento en grano de trigo de doble propósito. *Revista de investigaciones agropecuarias (RIA-INTA). Serie 2. Vol.: VI, Nº9, 135-164.*
- Hoopen, F.t., Cuin, TA., Pedas, P., Hegelund, JN., Shabala, S., Schjoerring, JK., y Jahn, TP.** 2010. Competition between uptake of ammonium and potassium in barley and Arabidopsis roots: molecular mechanisms and physiological consequences. *Journal of Experimental Botany, 61 (9): 2303–2315*
- Hossain, I., Epplin, F., Horn, G., y Krenzer, E.** 2004. Wheat production and management practices used by Oklahoma grain and livestock producers. *Oklahoma Agricultural Experiment Station, B-818, 44p. OSU.*
- Horn., G., Redmon, L., Bernardo, D., Krenzer, G., y Andrae, J.** 1994. Grazing trial evaluation of wheat varieties in the wheat grain/stocker cattle enterprise. *Animal Research Report, September 1994. Oklahoma State University, 151-157.*
- International Seed Testing Association (ISTA).** 1999. International rules for seed testing. *Seed Sci. Tech. 27 (suppl): 333 p.*
- Isuwan, A., Saelim, J., y Poathong, S.** 2007. Effects of levels of sulfur fertilizer on growth of *Digitaria eriantha* grass. *Silpakorn University Science & Technology Journal, 1 (2): 13-19.*
- Jamal, A., Moon, Y.S., y Abdin, M.Z.** 2010. Sulphur: a general overview and interaction with nitrogen. Review article. *Australian Journal of Crop Science, 4(7): 523-529*
- Jones, M. B.** 1964. Effect of applied sulfur on yield and sulfur uptake of various California dryland pasture species. *Agronomy Journal, 56 (2): 235-237.*
- Jones, M. B., Rending, V.V., Torell, D.T., y Inouye, T.S.** 1982. Forage quality for sheep and chemical composition associated with sulfur fertilization on a sulfur deficient site. *Agronomy Journal, 74 (5): 775-780.*
- Johnson, C.R., Reiling, B.A., Mislevy, P., y Hall, M.B.** 2001. Effects of nitrogen fertilization and harvest date on yield, digestibility, fiber, and

protein fractions on tropical grasses. *Journal of Animal Science*, 79: 2439-2448.

**Kaiser, BN., Grindley, KL., Ngaire Brady, J., Phillips, T., y Tyerman, SD.**

2005. A Review: The Role of Molybdenum in Agricultural Plant Production. *Annals of Botany* 96: 745–754

**Kandyilis, K.** 1984a. Toxicology of sulfur in ruminants: review. *Journal of Dairy Science*, 67: 2179-2187.

**Kandyilis, K.** 1984b. The role of sulphur in ruminant nutrition: A review. *Livestock Production Science*, 11: 611-624.

**Katz, M.** 1949. Sulfur dioxide in atmosphere and its relation to plant life. *Ind. Eng. Chem.*, 41 (11): 2450–2465.

**Kemp, A., y 't Hart, M.L.** 1957. Grass tetany in grazing milking cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 5: 4-17

**Kimball, B.A., Morris, C.F., Pinter, P.J., Wall, G.W., Hunsaker, D.J., Adamsen, F.J., LaMorte, R.L., Leavitt, S.W., Thompson, T.L., Matthias, A.D., y Brooks, T.J.** 2001. Elevated CO<sub>2</sub>, drought and soil nitrogen effects on wheat grain quality. *New Phytologist*, 150: 295-303

**Lamond, R. E., Whitney D. A., y Marsh B. H.** 1995. Sulfur Fertilization of Smooth Bromegrass in Kansas. *Agronomy Journal*, 87 (1): 13-16.

**Lancaster. D. L., M. B. Jones, J. H. Oh y J. E. Ruckman.** 1971. Effect of sulfur fertilization of forage species on yield, chemical composition, and *in vitro* rumen microbial activity of sheep. *Agronomy Journal*, 63 (4): 621-623.

**Leaver, J. D.** 1985. Milk production from grazed temperate grasslands. *Journal of Dairy Research*, 52 (2): 313-344.

**Lehninger, A.L., Nelson, D.L., y Cox, M.M.** 2005. Principles of biochemistry. Ed. W. H. Freeman; Fourth Edition (April, 2004). 1119 p.

**Liebig, M.A., Tanaka, D.L., Krupinsky, J.M., Merrill, S.D., y Hanson, J.D.** 2007. Dynamic cropping systems: contributions to improve agroecosystem sustainability. *Agronomy Journal*, 99 (4): 899-903.

- Loewy, T.** 1990. Fertilización nitrogenada del trigo en el sudoeste bonaerense. I. Respuesta física y diagnóstico. *Ciencia del Suelo*, 8 (1): 47-56.
- Loewy, T., Salomón N., y Ron M.M.** 2007. Fertilización nitro-azufrada de trigo pan en el SO bonaerense. In *Simposio Fertilidad 2007: bases para el manejo de la nutrición de los cultivos y los suelos (compilado por I A Ciapitti y F, García) 1 ed. Acassuso: Potash and Phosphate Institute of Canada, pp 119-122.*
- López-Bellido, L., Fuentes, M., Castillo, J.E., y López-Garrido, F.J.** 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 57: 265-276.
- MacAdam, J.W., Volenec, J.J., y Curtis, N.J.** 1989. Effects of nitrogen on mesophyll cell division and epidermal cell elongation in tall fescue leaf blades. *Plant Physiology*, 89: 549-556.
- Mackown, C.T., y Carver B.F.** 2005. Fall forage biomass and nitrogen composition of winter wheat population selected from grain-only and dual purpose environments. *Crop Science* 45: 322-328.
- Maddonni, G.A., Marban, L., y Gonzalez Montaner, J.H.** 1995. Mineralización del nitrógeno del suelo en el cultivo de trigo: comparaciones entre métodos de campo, laboratorio e invernáculo. *Ciencia del Suelo*, 13 (2): 52-59.
- Malhi, S.S., Loepky, H., Coulman, B., Gill, K.S., Curry, P., y Plews, T.** 2004. Fertilizer nitrogen, phosphorus, potassium, and sulphur effects on forage yield and quality of timothy hay in the Parkland region of Saskatchewan, Canada. *Journal of Plant Nutrition*, 27 (8): 1341-1360
- Manual Merck de Veterinaria.** 2007. Cynthia M. Kahn (Editor). *Publicado por Merck & Co. 6º Edición (en español). Whitehouse Station, NJ, USA. ISBN: 978-84-7841-079-8. 2736 p.*
- Marino, M.A., Mazzanti, A., Echeverría, H.E., y Andrade, F.** 1996. Fertilización nitrogenada de cultivos forrajeros invernales. 1. Acumulación de forraje. *20º Congreso Argentino de Producción Animal, Termas de Río*

Hondo, Santiago del Estero, junio de 1996. *Revista Argentina de Producción Animal*, 16 (1): 248-249.

**Martínez, M.F.** 2010. Efecto del genotipo sobre la productividad y composición química de la biomasa forrajera y grano en avena (*Avena sativa* L.). *Tesis de Doctorado en Agronomía, Universidad Nacional del Sur*. 142 p.

**Martínez, M.F., Arelovich, H.M., y Wehrhahne, L.N.** 2010. Grain yield, nutrient content and lipid profile of oat genotypes grown in a semiarid environment. *Field Crops Research*, 116: 92–100.

**Martuscello, J.A., Miranda da Fonseca, D., do Nascimento Jr., D., Menezes Santos, P., Noronha Figueiredo V.C., D., y Melo Moreira, L.** 2006. Características morfogênicas e estruturais de capim-massai submetido a adubação nitrogenada e desfolhação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35 (3): 665-671.

**Mazzanti, A., Wade, M.H., y García, S.C.** 1997. Efecto de la fertilización nitrogenada en invierno sobre el crecimiento y la composición química del forraje de raigrás anual. *Revista Argentina de Producción Animal*, 17 (1): 25-32.

**McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A., y Wilkinson, R.G.** 2010. *Animal Nutrition*. 7th Edition. *Pearson Ed.* ISBN-13: 978-1408204238. 692p.

**Méndez, D.G., y Davies, P.** 2003. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la productividad secundaria de verdes de invierno. *26° Congreso Argentino de Producción Animal, Rev. Arg. Prod. Anim*, 23 (1): 195-196.

**Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) de la Nación Argentina.** 2012. Estimaciones y estadísticas. En: Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Sitio web: <http://www.siiia.gov.ar> (Acceso: 26-nov-2012).

**Minson, D.J.** 1990. *Forage in Ruminant Nutrition*. *Academic Press, Inc. San Diego, CA*. ISBN 0-12-498310-3

- National Research Council (NRC).** 1985. Nutrient Requirements of Sheep. National Academy of Sciences. *Seventh Revised Edition. Washington, D. C. 99p.*
- National Research Council (NRC).** 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. *National Academy of Sciences. Seventh Revised Edition. Washington, D. C. 242p.*
- Panditharatne, S., Allen, V.G., Fontenot, J.P., y McClure, W.H.** 1986. Yield, chemical composition and digestibility by sheep of orchardgrass fertilized with different rates of nitrogen and sulphur or associated red clover. *Journal of Animal Science, 62: 813-821*
- Phillips, C.J.C.** 1988. The use of conserved forages as a supplement for grazing dairy cows. *Grass and Forage Science. 43: 215-230.*
- Piatti, F.D., y Ferreyra, L.** 2012. Evaluación agronómica de cultivares de trigo en Manfredi. Campaña 2011. Estación Experimental Agropecuaria Manfredi. *Cartilla Digital Manfredi. ISSN On line 1851-7994. 11p*
- Pinchak, W.E., Worrall, W.D., Caldwell, S.P., Hunt, L.J., Worrall, N.J., y Conoly, M.** 1996. Inter-relationships of forage and steer growth dynamics on wheat pasture. *Journal of Range Management, 49: 126-130.*
- Puoli, J.R., Jung, G.A., y Reid, R.L.** 1991. Effects of nitrogen and sulfur on digestion and nutritive quality of warm-season grass hays for cattle and sheep. *Journal of Animal Science, 69: 843-852*
- Quiroga, A., Ormeño, O., Fernandez, D., y Vallejos, A.** 1999. Verdeos de invierno: necesidad de reconocer y manejar limitantes de su productividad en suelos de la región semiárida pampeana. INTA Anguil. Bol. Téc 61: 1-19.
- Radcliffe, J.C., Dove, H., McGrath, D., Martin, P., y Wolfe, E.C.** 2012. Review of the use and potential for dual purpose crops. Grain Research & Development Corporation, 79 p.
- Randall, P.J., Spencer, K., y Freney, J.R.** 1981. Sulfur and nitrogen fertilizer effects on wheat. I concentrations of sulfur and nitrogen and the nitrogen

to sulfur ratio in grain, in relation to the yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, 32 (2): 203-212.

**Raun, W.R., y Westerman, R.L. 1991.** Nitrate-N and phosphate-P concentration in winter wheat at varying growth stages. *Journal of Plant Nutrition*, 14 (3): 267-281. *Abstract*

**Raun, W.R. y Johnson, G. 1999.** Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 91 (3): 357-363.

**Redmon, L.A., Horn, G.W., Krenzer, E.G. y Bernardo, D.J. 1995.** A review of livestock grazing and wheat grain yield: Boom or bust? *Agronomy Journal*, 87 (2): 137-147.

**Redmon, L.A., Krenzer, E.G., Bernardo, D.J. y Horn, G.W. 1996.** Effect of wheat morphological stage at grazing termination on economic return. *Agronomy Journal*, 88 (1): 94-97.

**Rees, M.C., Minson D.J., y Smith, F.W. 1974.** The effect of supplementary and fertilizer sulfur on voluntary intake, digestibility, retention time in the rumen and site of digestion of pangola grass in sheep. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 82:419

**Rendig, V.V., Oputa, C y McComb, E.A. 1976.** Effects of sulfur deficiency on non-protein nitrogen, soluble sugars, and N/S ratios in young corn (*Zea mays* L.) plants. *Plant and Soil*, 44 (2): 423-437.

**Reussi Calvo, N.I., Echeverría, H.E., y Sainz Rozas, H. 2006.** Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 24 (1): 77-87.

**Russelle, M.P., Entz, M.H., y Franzluebbers, A.J. 2007.** Reconsidering integrated crop–livestock systems in North America. *Agronomy Journal*, 99 (2): 325-334.

**Salvagiotti, F., y Miralles D. J. 2007.** Wheat development as affected by nitrogen and sulfur nutrition. *Australian Journal of Agricultural Research* 58 (1): 39-45.

- Salvagiotti, F., y Miralles D. J.** 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *European Journal of Agronomy* 28: 282–290.
- Schmidt, F., De Bona, F.D., y Monteiro, F.A.** 2013. Sulfur limitation increases nitrate and amino acid pools in tropical forages. *Crop & Pasture Science*, 64: 51-60
- Shariff, M.A., Boila, R.J., y Wittenberg, K.M.** 1990. Effect of dietary molybdenum on rumen dry matter disappearance in cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 70:319–323
- Singh, M., y Kumar, V.** 1979. Sulfur, phosphorus, and molybdenum interactions on the concentration and uptake of molybdenum in soybean plants. *Soil Science*, 127, 307-312
- Smith, B.C.** 1995. The emergence of agriculture. *Scientific American Library*, New York, 231 p.
- Spears, J.W.; Burns, J.C. y Hatch, P.A.** 1985. Sulfur fertilization of cool season grasses and effect on utilization of minerals, nitrogen, and fiber by steers. *Journal of Dairy Science*, 68 (2): 347-355.
- Steinfurth, D., Zörb, C., Braukmann, F., y Hermann Mühling, K.** 2012. Time-dependent distribution of sulphur, sulphate and glutathione in wheat tissues and grain as affected by three sulphur fertilization levels and late S fertilization. *Journal of Plant Physiology* 169: 72– 77
- Thomason, W.E., Raun, W.R., y Johnson, G.V.** 2000. Winter wheat fertilizer nitrogen use efficiency in grain and forage production systems. *Journal of Plant Nutrition*, 23: 1505-1516.
- Tilley, J.M.A. y Terry, R.A.** 1963. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society* 18:104-111.
- Torres Duggan, M., Rodríguez, M.B., Lavado, R.S y Melgar, C.** 2010. A review of sulphur fertilizer use and technology management in Pampas Region of Argentina. *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions*

*for a Changing World. 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD*

- Underwood, E.J., y Suttle, N.F.** 1999. The mineral nutrition of livestock. *3rd edition. CABI Publishing. 614 p*
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., y Lewis, B.A.** 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science, 74 (10): 3583–3597*
- Van Soest, P.J.** 1994. Plant, animal, and environment. In: Nutritional ecology of the ruminant, 2<sup>nd</sup> edition. *Cornell University Press, ISBN 0-8014-2772-X. 476 p*
- Villar, J., y Cencig, G.** 2012. Evaluación de cultivares de trigo 2011 y recomendaciones para la próxima campaña. *En: Información técnica de trigo y otros cultivos de invierno, Campaña 2012. Publicación Miscelánea Nº 122: 7-16*
- Virgona, J. M., Gummer, F. A. J., y Angus, J. F.** 2006. Effects of grazing on wheat growth, yield, development, water use, and nitrogen use. *Australian Journal of Agricultural Research 57(12): 1307-1319.*
- Vivas, H.S, Albrech, R., Oliveira Ferreira, A., y Holtián, J.L.** 2008. Fertilización compuesta (N-P-S) de trigo en una rotación. *IPNI. Informaciones agronómicas del cono sur, 35: 12-16.*
- Wang, S., Wang, Y., Schnug, E., Haneklaus, S., y Fleckenstein, J.** 2002. Effects of nitrogen and sulphur fertilization on oats yield, quality and digestibility and nitrogen and sulphur metabolism of sheep in the Inner Mongolia Steppes of China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems 62: 195–202*
- Wang, Z.H.** 2008. Effects of fertilization and other agronomic measures on nutritional quality of crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 88: 7-23.*

- Whittler, J.C.** 2011. Nitrate poisoning. *Colorado State University, Extension, fact sheet 1610*. Sitio web: [www.ext.colostate.edu/pubs/livestk/01610.pdf](http://www.ext.colostate.edu/pubs/livestk/01610.pdf) (Acceso: 05-feb-2012).
- Yang, J., Zhang, J., Huang, Z., Zhu, Q., y Wang, L.** 2000. Remobilization of Carbon Reserves Is Improved by Controlled Soil-Drying during Grain Filling of Wheat. *Crop Science*, 40 (6): 1645-1655
- Zhao, F.J., Hawkesford, M.J., y McGrath, S.P.** 1999a. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *Journal of Cereal Science*, 30: 1-17.
- Zhao, F.J., Salmon, S.E., Withers, P.J.A., Monaghan, J.M., Evans, E.J., Shewry, P.R., y McGrath, S.P.,** 1999b. Variation in the breadmaking quality and rheological properties of wheat in relation to sulphur nutrition under field conditions. *Journal of Cereal Science* 30: 19–31.
- Zhao, F.J., Fortune, S., Barbosa, V.L., McGrath, S.P., Stobart, R., Bilsborrow, P.E., Booth, E.J., Brown, A., y Robson, P.** 2006. Effects of sulphur on yield and malting quality of barley. *Journal of Cereal Science* 43: 369–377.
- Zhu, G.X., Midmore, D.J., Yule, D.F., y Radford, B.J.** 2006. Effect of timing of defoliation on wheat (*Triticum aestivum*) in cereal Queensland. 2. N uptake and relative N use efficiency. *Field Crops Research*, 96: 160-167.

## ANEXO

### Tablas de ANVA

#### Experimento I. Ensayo a campo sobre parcelas experimentales

##### Rendimiento de MS por corte

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10177055,4	10	1017705,5	13,87	<0,0001
Bloques	1130029,3	3	376676,4	5,13	0,0081
N	11037,3	1	11037,3	0,15	0,7021
S	73833,6	1	73833,6	1,01	0,3273
Corte	8942749,1	1	8942749,1	121,84	<0,0001
N*S	1718,5	1	1718,5	0,02	0,8799
N*Corte	437,3	1	437,3	0,01	0,9392
S*Corte	16914,2	1	16914,2	0,23	0,6362
N*S*Corte	336,1	1	336,1	0,0046	0,9467
Error	1541376,8	21	73398,9		
Total	11718432,1	31			

##### Rendimiento Acumulado de MS

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2433088,8	6	405514,8	5,81	0,0100
Bloques	2259927,6	3	753309,2	10,78	0,0025
N	22096,8	1	22096,8	0,32	0,5876
S	147648,1	1	147648,1	2,11	0,1800
N*S	3416,4	1	3416,4	0,05	0,8299
Error	628697,2	9	69855,2		
Total	3061786,0	15			

##### Materia seca

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1139,0	10	113,9	34,03	<0,0001
Bloque	31,7	3	10,6	3,16	0,046
N	1,2	1	1,2	0,35	0,5619
S	0,4	1	0,4	0,13	0,7243
Corte	1098,6	1	1098,6	328,22	<0,0001
N*S	0,1	1	0,1	0,04	0,8412
N*Corte	4,7	1	4,7	1,41	0,2479
S*Corte	0,01	1	0,01	0,0023	0,9619
N*S*Corte	2,2	1	2,	0,64	0,4315
Error	70,3	21	3,4		
Total	1209,3	31			

### FDN

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	27,77	6	4,63	1,73	0,2217
Bloque	22,05	3	7,35	2,74	0,1053
N	0,39	1	0,39	0,15	0,7116
S	2,18	1	2,18	0,81	0,3913
N*S	3,15	1	3,15	1,17	0,3067
Error	24,15	9	2,68		
Total	51,91	15			

### FDA

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	47,14	6	7,86	1,69	0,2291
Bloque	36,05	3	12,02	2,59	0,1175
N	3,24	1	3,24	0,7	0,425
S	0,01	1	0,01	0,002	0,964
N*S	7,84	1	7,84	1,69	0,2259
Error	41,76	9	4,64		
Total	88,9	15			

### LDA

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,42	6	0,07	0,98	0,488
Bloque	0,14	3	0,05	0,63	0,6122
N	0,12	1	0,12	1,72	0,2218
S	0,12	1	0,12	1,72	0,2218
N*S	0,04	1	0,04	0,56	0,4724
Error	0,64	9	0,07		
Total	1,06	15			

### DIVMS

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	79,57	6	13,26	4,33	0,0249
Bloque	7,56	3	2,52	0,82	0,5136
N	0,08	1	0,08	0,02	0,8786
S	71,83	1	71,83	23,44	0,0009
N*S	0,11	1	0,11	0,03	0,8568
Error	27,58	9	3,06		
Total	107,14	15			

### Proteína Bruta

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,54	6	0,92	0,76	0,6191
Bloques	1,35	3	0,45	0,37	0,776
N	0,82	1	0,82	0,68	0,432
S	3,32	1	3,32	2,73	0,133
N*S	0,05	1	0,05	0,04	0,8516
Error	10,96	9	1,22		
Total	16,5	15			

### Azufre

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,0018	6	0,00031	2,44	0,1104
Bloques	0,00027	3	0,000089	0,71	0,572
N	0,000036	1	0,000036	0,29	0,6053
S	0,0014	1	0,0014	10,9	0,0092
N*S	0,00017	1	0,00017	1,35	0,2758
Error	0,0011	9	0,00013		
Total	0,003	15			

### N:S

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9,15	6	1,52	1,94	0,1785
Bloques	4,49	3	1,5	1,90	0,1995
N	1,26	1	1,26	1,60	0,2373
S	2,68	1	2,68	3,41	0,0978
N*S	0,72	1	0,72	0,91	0,3641
Error	7,08	9	0,79		
Total	16,23	15			

### Rendimiento de Grano

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	43777,8	6,0	7296,3	0,4	0,876
Bloques	22449,71	3,0	7483,2	0,4	0,765
N	169,65	1,0	169,7	0,0	0,927
S	16686,18	1,0	16686,2	0,9	0,377
N*S	4472,27	1,0	4472,3	0,2	0,642
Error	173973,88	9,0	19330,4		
Total	217751,68	15,0			

### Peso de 1000 granos

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14,09	6	2,35	1,32	0,3393
Bloques	13,96	3	4,65	2,62	0,115
N	0,09	1	0,09	0,05	0,827
S	0,01	1	0,01	0,01	0,9418
N*S	0,02	1	0,02	0,01	0,9129
Error	15,99	9	1,78		
Total	30,08	15			

### Contenido de PB en grano

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,35	6	0,72	1,48	0,2872
Bloques	2,26	3	0,75	1,54	0,2707
N	1,69	1	1,69	3,45	0,0963
S	0,3	1	0,3	0,62	0,4523
N*S	0,09	1	0,09	0,18	0,6784
Error	4,41	9	0,49		
Total	8,76	15			

### Contenido de S en grano

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0012	6	0,0002	0,81	0,5873
Bloques	0,00024	3	0,00008	0,33	0,8045
N	0,000086	1	0,000086	0,35	0,5668
S	0,00066	1	0,00066	2,74	0,1323
N*S	0,00019	1	0,00019	0,78	0,3999
Error	0,0022	9	0,00024		
Total	0,0034	15			

### Relación N:S en grano

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,19	6	1,2	0,72	0,6443
Bloques	2,5	3	0,83	0,5	0,691
N	0,3	1	0,3	0,18	0,6834
S	2,11	1	2,11	1,27	0,2894
N*S	2,29	1	2,29	1,37	0,2713
Error	14,98	9	1,66		
Total	22,17	15			

## Experimento III. Rendimiento y composición química de trigo cultivado en invernadero

### Rendimiento de MS

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,24	11	0,29	2,36	0,017
N	2,41	3	0,8	6,46	0,0007
S	0,64	2	0,32	2,58	0,0843
N*S	0,18	6	0,03	0,24	0,9612
Error	7,48	60	0,12		
Total	10,72	71			

### DIVMS

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	295,6	11,0	26,9	11,5	<0,0001
N	125,2	3,0	41,7	17,8	<0,0001
S	112,1	2,0	56,1	23,9	<0,0001
N*S	58,3	6,0	9,7	4,2	0,0029
Error	84,3	36,0	2,3		
Total	379,9	47,0			

### DIVMS, para S 0

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	154,15	3	51,38	21,97	<0,0001
N	154,15	3	51,38	21,97	<0,0001
Error	28,07	12	2,34		
Total	182,21	15			

### DIVMS, para S 15

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11,59	3	3,86	2,3	0,1294
N	11,59	3	3,86	2,3	0,1294
Error	20,16	12	1,68		
Total	31,75	15			

### DIVMS, para S 30

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	17,72	3	5,91	1,96	0,1734
N	17,72	3	5,91	1,96	0,1734
Error	36,1	12	3,01		
Total	53,82	15			

### N

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,1	11	0,65	14,71	<0,0001
N	6,79	3	2,26	51,56	<0,0001
S	2,80E-03	2	1,40E-03	0,03	0,9683
N*S	0,31	6	0,05	1,18	0,3384
Error	1,58	36	0,04		
Total	8,68	47			

### S

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	11	5,60E-04	2,09	0,0487
N	1,40E-03	3	4,80E-04	1,77	0,1704
S	2,90E-03	2	1,50E-03	5,42	0,0089
N*S	1,70E-03	6	2,80E-04	1,05	0,4087
Error	0,01	35	2,70E-04		
Total	0,02	46			

### P

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	11	7,80E-04	0,6	0,8187

N	3,90E-03	3	1,30E-03	0,99	0,4101
S	2,30E-03	2	1,20E-03	0,88	0,4225
N*S	2,40E-03	6	4,00E-04	0,31	0,9292
Error	0,05	36	1,30E-03		
Total	0,06	47			

### K

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9	11	0,82	1,69	0,1163
N	4,54	3	1,51	3,13	0,0378
S	1,45	2	0,72	1,5	0,2375
N*S	2,68	6	0,45	0,92	0,4898
Error	16,92	35	0,48		
Total	25,91	46			

### Ca

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	11	3,20E-03	0,57	0,8369
N	0,02	3	0,01	1,46	0,2423
S	4,80E-03	2	2,40E-03	0,43	0,6508
N*S	0,01	6	1,50E-03	0,28	0,9443
Error	0,19	35	0,01		
Total	0,23	46			

### Mg

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,20E-03	11	1,10E-04	0,53	0,8711
N	2,00E-04	3	6,70E-05	0,31	0,8163
S	9,50E-05	2	4,70E-05	0,22	0,8033
N*S	9,50E-04	6	1,60E-04	0,74	0,6218
Error	0,01	36	2,10E-04		
Total	0,01	47			

### Cu

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13,86	11	1,26	0,98	0,4855
N	6,78	3	2,26	1,75	0,1752
S	2,61	2	1,3	1,01	0,3747
N*S	4,44	6	0,74	0,57	0,7486
Error	42,55	33	1,29		
Total	56,4	44			

### Mn

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	217,11	11	19,74	0,51	0,8825
N	13,92	3	4,64	0,12	0,9476
S	98,54	2	49,27	1,28	0,2916
N*S	100,81	6	16,8	0,44	0,8502
Error	1350,72	35	38,59		
Total	1567,83	46			

### Mo

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	100,36	11	9,12	3,73	0,0015
N	14,84	3	4,95	2,02	0,1294
S	68,52	2	34,26	13,99	<0,0001
N*S	14,29	6	2,38	0,97	0,4584
Error	83,24	34	2,45		
Total	183,6	45			

### Zn

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1168,88	11	106,26	1,51	0,1725
N	328,16	3	109,39	1,55	0,2185
S	405,05	2	202,53	2,87	0,0698
N*S	435,67	6	72,61	1,03	0,423
Error	2541,72	36	70,6		
Total	3710,6	47			

### N:S

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	111,75	11	10,16	6,25	<0,0001
N	80,8	3	26,93	16,56	<0,0001
S	11,3	2	5,65	3,47	0,042
N*S	18,42	6	3,07	1,89	0,1106
Error	56,92	35	1,63		
Total	168,67	46			

*Trabajos presentados a congresos*

**Bravo, R.D.**, Ron, M.M., y Laborde, H.E. 2011. Fertilización nitroazufrada en trigo doble propósito. 34º Congreso Argentino de Producción Animal, Rev. Arg. Prod. Anim. 31 (1): 497

**Bravo, R.D.**, Ron, M.M., y Laborde, H.E. 2012. Efecto del suministro de nitrógeno y azufre sobre la composición mineral en biomasa de trigo. 35º Congreso Argentino de Producción Animal, Rev. Arg. Prod. Anim. 32 (1): 310