UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Respuesta del raigras anual (*Lolium multiflorum Lam*.) a fertilización nitrogenada en conjunto con fertilización cálcico- magnésica

Alumno: **CIERI RAMIRO**
Legajo:26904/4
DNI:37570641
Tel: 2352-48-0529.
Email: ramirocieri@hotmail.com

Alumno: **ZANZOTTERA PATRICIO**
Legajo: 26984/2
DNI: 36526872
Tel: 2325-41-2511.
Email: patriciozanzottera@yahoo.com

Director: **Ing. Agr. MIRTA GARCÍA**

Codirector: **Ing. Agr. DANIEL FERRO**

Área temática: Investigación sobre una temática específica de Manejo y Conservación de Suelos.

INDICE

RESUMEN **1**
INTRODUCCIÓN **2**
HIPÓTESIS **6**
OBJETIVOS **6**
Objetivo General **6**
Objetivos Específicos **6**
MATERIALES Y MÉTODOS **7**
RESULTADOS **9**
Análisis de suelo **9**
Rendimiento parcial y acumulado de raigrás (kgMS.ha^{-1}) **10**
Rendimiento parcial *10*
Rendimiento acumulado (kgMSacumulado.ha^{-1}) *11*
Contenido de Ca y Mg en tejido vegetal **12**
Contenido de Ca en tejido vegetal *12*
Contenido de Mg en tejido vegetal *12*
DISCUSIÓN **12**
Análisis edáficos iniciales **12**
Rendimiento parcial y acumulado de raigrás **13**
Contenido de Ca y Mg en tejido vegetal **15**
CONCLUSIONES **17**
BIBLIOGRAFÍA **19**
ANEXO **20**
Figuras **24**
Tablas **27**

RESUMEN

En la actualidad se practica la fertilización para mantener el equilibrio de nutrientes, siendo los nitrogenados los fertilizantes más utilizados. Sin embargo, el uso continuo de fertilizantes amoniacales y/o amídicos puede ser causante de acidificación. Para contrarrestar este efecto se suele aplicar enmiendas y/o fertilizantes alcalinos (principalmente yeso). Teniendo en cuenta esto, se llevó a cabo en la localidad de Los Hornos (partido de La Plata), un ensayo experimental en bloques completos al azar donde se establecieron parcelas sembradas con raigrás y cada una presentaba diferentes dosis de fertilizante nitrogenado (urea) (50 $kg.ha^{-1}$ y 100 $kg.ha^{-1}$) con y sin dosis de fertilizante cálcico magnésico ($CaSO_4.2H_2O$ (sulfato de Ca) (122,8 $kg.ha^{-1}$ y 24,7 $kg.ha^{-1}$) y $MgSO_4.7H_2O$ (sulfato de Mg)) (29,3 $kg.ha^{-1}$ y 58,5 $kg.ha^{-1}$) en cantidades equivalentes para neutralizar la acidificación por la urea. Se evaluó rendimiento de forraje y contenido de Ca y Mg en tejido vegetal con el objeto de analizar si se observa algún beneficio extra de los productos básicos utilizados. Los resultados mostraron diferencias significativas en el rendimiento para los tratamientos con urea pero no para los fertilizantes alcalinos. La fertilización nitrogenada logró mayor eficiencia cuando se realizó a fines del invierno- principio de primavera (corte III y corte IV). Tampoco arrojaron diferencias significativas en el contenido de Ca y Mg en tejido vegetal. La fertilización cálcica magnésica en raigrás, no es recomendable como práctica para obtener mayores rendimientos en el marco de las condiciones estudiadas.

INTRODUCCIÓN

En Argentina, la expansión del área destinada a la agricultura, desplazó a la ganadería hacia ambientes con restricciones en su aptitud de uso, al menos, durante las últimas dos decadas (Rearte, 2010). En estas áreas, si bien la oferta de nutrientes del suelo resulta suficiente para las especies nativas de las comunidades del pastizal natural, puede resultar insuficiente para satisfacer los requerimientos de las especies forrajeras introducidas, afectando su capacidad de crecimiento. A veces es necesario proveer a los recursos forrajeros de una nutrición balanceada a través de la fertilizacion, para lograr valores de alta productividad en el tiempo.

El raigras anual (*Lolium multiflorum Lam.*) es una especie forrajera de crecimiento inverno-primaveral, que responde positivamente al abastecimiento de nitrógeno (N) a través de la fertilización (Marino et al., 2004). Sin embargo la fertilización continuada con fertilizantes amoniacales y/o amídicos es una de las causas antrópicas de acidificación de los suelos en zonas templadas (Vázquez & Millán, 2017). Dentro de los fertilizantes nitrogenados, el más utilizado a nivel mundial es la urea (U), es el sólido granulado de mayor concentración de N, 46% (p/p). Se adapta a diferentes tipos de cultivos y distintos tipos de aplicaciones. La U se puede aplicar al voleo, en cobertura, pero la mejor eficiencia se logra en líneas, al costado o debajo de la línea de siembra, donde además no existen limitaciones en las dosis a aplicar generadas por fitotoxicidad. Para evitar pérdidas de N por volatilización, en situaciones con temperaturas promedio superiores a 18°C, se recomienda también su incorporación al suelo. Como todo fertilizante nitrogenado, puede aplicarse antes de la siembra o al momento de la misma (YPF SA, 2015).

Los fertilizantes amoniacales y/o amídicos durante la oxidación a nitrato (nitrificación) liberan iones hidrógeno (H^+) que desplazan a los cationes de intercambio favoreciendo su posterior lavado (Vázquez & Millán, 2017). Las reacciones que se

producen en el suelo ante el agregado de la U son las siguientes (Campillo & Sadzawka, 2006):

1. Hidrólisis

$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \longrightarrow (NH_4)_2CO_3$

$(NH_4)_2CO_3 \longrightarrow 2NH_3 + CO_2 + H_2O$

$2NH_3 + H_2O \longrightarrow 2NH_4OH$

$2NH_4OH \longrightarrow 2NH_4^+ + \mathbf{2OH^-}$

2. Nitrificación

$2NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2^- + 2H_2O + \mathbf{4H^+}$

$2NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^-$

El proceso de acidificación de los suelos, sin embargo, es dinámico y sus causas son tanto naturales (edáficos, geomorfológicos, climáticos, red hidrológica, tipo de vegetación, dinámica del agua) como antrópicas (intensificación de la agricultura sin reposición de bases, empleo de fertilizantes de alto índice de acidez, incremento de la superficie bajo siembra directa por acumulación de materia orgánica en superficie, entre otros) (Tang, 1998; Burle et al., 1997). A su vez puede agravarse por la deposición de elementos atmosféricos acidificantes provenientes de la actividad industrial y otras fuentes de contaminación (Blake et al., 1999).

Como consecuencia de la acidificación se produce un desbalance de bases en la solución del suelo, igualmente perjudicial para el crecimiento de las plantas, siendo las leguminosas las especies más afectadas (Vazquez, 2005).

Cuando el pH disminuye, se requiere proporcionalmente mayor cantidad de calcio (Ca) en la solución para contrarrestar el efecto adverso de los protones, por ejemplo, en la elongación radical, así como también, el requerido para la nodulación y fijación del N. Gran parte del Ca se encuentra formando parte de las paredes celulares de estructuras rígidas, como oxalato de Ca y otros ácidos orgánicos en el apoplasto o

en las vacuolas (Revilla & Zarra, 2008). La planta absorbe Ca en forma pasiva a traves del flujo masal, mientras que otros cationes como el sodio (Na^+), hidrogeno (H^+), potasio (K^+), amonio (NH_4^+) y aluminio (Al^{3+}) interactúan negativamente con su absorción (Baligar et al., 1987; Wilkinson y Duncan, 1993 y 1994).

El transporte del magnesio (Mg), al interior de la planta, es pasivo a través de las ionóferas, que son moléculas orgánicas que transportan los iones a través de las membranas biológicas mediante la formación de complejos liposolubles con cationes polares (Vázquez & Pagani, 2015). La función más importante del Mg es formar parte de la molécula de clorofila, en un 15-20 %. El resto del Mg actúa como activador de enzimas de procesos de fosforilación, también interviene en el metabolismo energético de la planta al formar complejos con el ATP (Mengel & Kirkby, 2000).

En algunas producciones, aun existiendo cantidades adecuadas de Ca y Mg en el suelo, puede ocurrir que el elevado ritmo de la demanda por parte del cultivo provoque que no se logren reponer estos nutrientes en la solución del suelo a la velocidad con que son absorbidos, por lo que en muchas situaciones es necesaria también su aplicación como nutriente, para evitar severos daños en la producción (Vázquez & Pagani, 2015).

Es común el análisis del tejido vegetal como herramienta para el diagnóstico de Ca y Mg, como así también, de otros elementos. Esto se debe a que la respuesta del cultivo no sólo esta relacionada con la situación actual de la disponiblilidad del nutriente en el suelo, sino también con su capacidad o modo de crecimiento, capacidad de explorar el suelo y captar nutrientes, estado sanitario y vigor, entre otros aspectos. Los cultivos necesitan cantidades absolutas (umbrales) y relativas de los elementos minerales en el tejido vegetal, dependiendo de la especie y de la edad de la planta (Marschner, 1995). Para satisfacer esta demanda nutricional el suelo debe poder ofertar esos nutrientes en cantidades adecuadas, particularmente cuando la regulación de la absorción no puede ser ejercida por la propia planta. Esto ocurre

fundamentalmente con aquellos elementos que ingresan al vegetal a través de flujo masal, es decir, por diferencia de potencial agua, debido fundamentalmente a la transpiración (Miravé et al., 2015), tal como ocurre con la absorción de Ca y Mg según evidenciaron Arrigo & Conti . Debido a este hecho, el diagnóstico de las condiciones de suficiencia-deficiencia de los nutrientes en el suelo se torna complejo y dependiente de las características de los sistemas de producción abordados.

Las características particulares de cada suelo afectan la disponibilidad de los nutrientes. Por ej. en suelos ácidos (pH inferior a 5,5) con baja saturación de bases, algunos nutrientes como el Ca y el Mg pueden no estar disponibles para ser absorbidos por las plantas (Arrigo & Conti). En la práctica del “encalado” se usan productos correctores que contienen Ca y/o Mg, fundamentalmente calcita ($CaCO_3$) y dolomita ($CaCO_3$-$MgCO_3$). El problema de su empleo es la baja solubilidad de los carbonatos, especialmente en siembra directa, debido a la imposibilidad de incorporarlos (Vázquez & Pagani, 2015). En los casos de deficiencia particular de algún nutriente básico para el cultivo, la situación es posible de corregir mediante fertilización cálcica y/o magnésica, Gambaudo et al, 2007; Martinez y Cordone, 2008; Ferro et al, 2015 han demostrado la potencialidad de la práctica en el ámbito templado argentino, con un desarrollo incipiente del conocimiento de este fenómeno y su tratamiento.

Los requerimientos de bases en algunas especies forrajeras como el raigrás anual, si bien son variables según textura de los suelos y manejo, fueron estimadas entre 5-6 kg de Ca $(t.MS)^{-1}$ y 2-4 kg de Mg.$(t.MS)^{-1}$ (Ciampitti y García, 2008). El diagnóstico del nivel de Ca y Mg de los suelos ha estado tradicionalmente relacionado a determinaciones de pH y necesidades de encalado, ya que bajos niveles de pH están asociados con probables deficiencias de estos cationes. Sin embargo, en la actualidad, no existe bibliografìa disponible relacionada a deficiencia en los suelos, con deficiencias manifiestas en el vegetal.

HIPÓTESIS

La utilización de fertilizantes cálcico-magnésicos en conjunto con fertilización nitrogenada, incrementa la producción de biomasa y calidad forrajera del raigrás anual.

OBJETIVOS

Objetivo General

Generar prácticas de manejo complementarias a fertilizaciones nitrogenadas, que permitan mitigar el efecto negativo que provocan dichos fertilizantes sobre la acidez del suelo.

Objetivos Específicos

Evaluar el impacto de fertilizantes cálcicos-magnésicos conjuntamente con nitrogenados acidificantes de suelos en raigrás anual sobre:

- producción de materia seca
- concentración cálcico-magnésica en el tejido vegetal

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la estación Experimental Julio Hirschhorn, de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP, ubicada en Los Hornos, partido de La Plata (34°59´10" S, 57°59´57" O) durante el año 2016. La superficie total fue 252 m^2, en un suelo clasificado taxonómicamente como *Argiudol típico* en posición media del relieve, que se corresponde con la serie Centeno (Lanfranco, 1988).

Previo a la siembra se tomaron muestras compuestas de suelo en dos profundidades:0- 20 cm y 20-40 cm. Las muestras fueron secadas en estufa a 40ºC con circulación forzada, mortereadas y tamizadas según determinación a practicar. Se analizó pH actual (suelo:agua de 1:2,5), capacidad de intercambio catiónica (CIC, método del acetato de amonio 1N, buffer pH7), materia orgánica (MO, determinación de carbono por Walkey y Black modificado), N total (Nt, digestión húmeda y destilación Kjeldhal) y cationes intercambiables: Ca, Mg (quelatometría con EDTA). Se utilizaron protocolos SAMLA (2004).

La preparación de la cama de siembra se realizó con pasada de arado de reja y vertedera, con posterior pasada de rastra de disco para roturar la tierra y controlar malezas.

El diseño del ensayo fue en bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial 3x2. Los factores fueron la aplicación de Urea (tres dosis) y fertilizante de Ca y Mg (dos dosis) y la combinacion de ambas (urea + fertilizante cálcico- magnésico) con 3 repeticiones de cada tratamiento. La superficie de cada una de las parcelas fue 2 m^2 (2 m x 1 m), dejando 1 m de calle entre ellas. Se estableció un total de 21 parcelas.

Se sembró al voleo el día 22/3/2016 sobre la totalidad de la superficie con la especie *Lolium multiflorum* variedad "Río", densidad 20 $kg.ha^{-1}$. Se sembraron las calles para disminuir el efecto bordura. A la siembra se aplicaron los fertilizantes en dosis según tratamientos (ver anexo tabla 1). Además, toda la superficie se fertilizó

con 60 kg.ha^{-1} de fosfato monoamónico para proveer una base de fósforo en todas las parcelas (cabe aclarar que no se analizó el contenido de P del suelo previamente). Se realizaron 4 cortes. Luego de cada corte se refertilizó con las dosis correspondientes a cada tratamiento (ver anexo tabla 1).

Se utilizaron los fertilizantes sulfato de calcio (yeso) y sulfato de magnesio (kierserita) cuyas dosis se calcularon en relación a la cantidad necesaria de nutrientes básicos para neutralizar el potencial efecto acidificante de la urea. Se observó el comportamiento de dicho fertilizante en el suelo, donde la U es hidrolizada por la enzima ureasa presente en el mismo, con la consecuente liberación de protones, como se mencionó anteriormente.

Con ello se obtuvieron los equivalentes de H^+ generados por cada mol de U aplicado, para luego calcular los equivalentes de Ca^{+2} y de Mg^{+2} necesarios para neutralizarlos. Una vez obtenidos dichos equivalentes de neutralización para cada dosis de U, se relacionaron con los respectivos pesos equivalentes de los cationes en los distintos productos, a los fines de obtener la cantidad de yeso y de kierserita a aplicar en cada tratamiento (ver anexo tabla 2). Para el cálculo de los equivalentes de neutralizantes se mantuvo una relación, considerada ideal para estos tratamientos, de Ca/Mg de 6:1. Por este motivo y a los términos de la nomenclatura, dichos fertilizantes básicos se denominaron “correctores” en el ensayo realizado.

El día 02/05/2016 se aplicó herbicida 24DB, en dosis de 600 ml.ha^{-1} según indicaciones de marbete, para el control de malezas de hoja ancha.

Se realizaron 4 cortes al ras, simulando una posible utilización por corte mecánico. El primer corte se llevó adeltante el día 14/06/2016 pero fue descartado del análisis debido a que solo se pudo cosechar once parcelas ya que las restantes se encontraban anegadas y había un bajo stand de plantas. El segundo corte fue el

17/08/2016, para el total de las parcelas, donde las plantas se encontraban en macollaje. El tercero se efectuo el 23/9/16, a fines de macollaje-principios de elongación. Por último el cuarto corte se hizo el día 24/11/2016 donde la mayor parte de las plantas estaban en estado de maduración. Luego de cada corte se refertilizó con las dosis correspondientes a cada tratamiento (urea y bases).

Se realizaron las siguientes determinaciones:

- Se calculó la cantidad de biomasa expresada en $kgMS.ha^{-1}$ para cada corte, (secado en estufa a 60 °C hasta peso constante), obteniendo el rendimiento parcial por corte.

- Se calculó la biomasa acumulada mediante la suma de biomasa parcial de cada uno de los cortes (3 cortes en total).

- Se evaluó la concentración de Ca y Mg en vegetal: la parte aérea vegetal se secó a 60ºC hasta peso constante. La muestra se colocó en mufla a 500 °C hasta la obtención de cenizas para posterior solubilización con ácido nítrico, enrace y determinación de Ca y Mg por quelatometría con EDTA (CNA, 2004).

Los resultados fueron evaluados estadísticamente por medio de análisis paramétrico de la varianza (ANOVA), previa comprobación de supuestos básicos, y posterior comparación múltiple de Tukey, utilizando el programa estadístico Infostat (2011).

RESULTADOS

Análisis de suelo

Los resultados del análisis de suelo son presentados en la Tabla 3 (ver anexo tabla 3).

Rendimiento parcial y acumulado de raigrás (kgMS.ha^{-1})

Rendimiento parcial

En la figura 1 (anexo figura 1) se puede observar el rendimiento parcial de raigrás para cada tratamiento, en cada uno de los cortes.

En el corte II no se observaron diferencias estadísticas significativas para la interacción urea*corrector y por ende se procedió a analizar los factores independientemente (Tabla 4). Los tratamientos con U no tuvieron diferencias significativas para un 95% de probabilidad, aunque se observó que existirían diferencias significativas al analizarlo con un 90% de probabilidad (p-valor 0,0546). Los tratamientos con corrector no tuvieron diferencias estadísticas significativas (p-valor 0,61). Se observó una tendencia al aumento en la producción de MS en dosis de urea de 100 kg.ha^{-1}.

En el corte III, no se encontraron diferencias estadísticas significativas para la interacción urea*corrector y se procedió a analizar los factores independientemente. Se observaron diferencias significativas con la aplicación de urea con probabilidad mayor al 95% (p- valor 0,032), mientras que el agregado de corrector no produjo efectos significativos (Anexo Figura 1 y Tabla 5). Se distinguieron dos grupos de producción de biomasa con respecto al agregado de urea. El tratamiento U100 produjo 1672,47 kgMS.ha^{-1}, valor significativamente mayor que las parcelas sin urea, cuya media fue 1225,47 kgMS.ha^{-1}. El tratamiento U50 no se diferencia de los restantes, con una media de rendimiento de 1380,2 kg.ha^{-1} (Anexo Figura 2).

En el corte IV no se registró interacción entre urea*corrector, encontrándose diferencias estadísticas significativas para los tratamientos con aplicación de urea (p-valor <0,05**,** Anexo Tabla 6). No se encontraron diferencias en la aplicación de los correctores (p-valor 0,74). Se encontró diferencias significativas entre U0 y U100 (Anexo Figura 3), siendo el mismo comportamiento encontrado para el corte III. La

media de rendimiento para los tratamientos sin urea (U0) fue de 3768,81 kgMS.ha^{-1}, y para U100 de 5072,77 kgMS.ha^{-1}. Con U50 los valores obtenidos fueron intermedios.

Rendimiento acumulado (kgMSacumulado.ha^{-1})

Se entiende por rendimiento acumulado a la sumatoria de biomasa de los tres cortes para cada tratamiento.

Para el corte II acumulado los resultados del ANOVA son los mismos que para rendimiento parcial, debido a que fue el primer corte que se pudo analizar.

En el corte III acumulado (sumatoria de biomasa de corte II y III), el ANOVA no evidenció diferencias estadísticas significativas para la interacción urea*corrector (Anexo Tabla 7). Se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos con urea (p-valor <0,01). Las parcelas con U100 obtuvieron la mayor cantidad de biomasa acumulada en este corte (3335,03 kgMS.ha^{-1}) con respecto a U0 y U50 que produjeron 2405,92 kgMS.ha^{-1} y 2636,92 Kg Ms.ha^{-1} respectivamente (Anexo Figura 4). No se encontaron diferencias para en el uso de corrector (p-valor 0,48).

Para el corte IV acumulado (sumatoria de biomasa de corte II, III y IV) no se observó interacción positiva urea*corrector (p-valor 0,51). Se evidenció diferencia altamente significativa en los tratamientos con urea (p-valor 0,007), mientras que no se observaron diferencias con respecto al uso de corrector (p-valor 0,98, Anexo Tabla 8) Se encontraron diferencias significativas entre U0 y U100 con una clara superioridad para las parcelas con la máxima dosis de U (Anexo Figura 5). La media de rendimiento para los tratamientos con U0 fue de 6174,73 kgMS.ha^{-1}, y para U100 de 8407,8 kgMS.ha^{-1}. Con U50 los valores obtenidos fueron intermedios (6881,38 kgMS.ha^{-1}).

Contenido de Ca y Mg en tejido vegetal

Contenido de Ca en tejido vegetal

El ANOVA no evidenció, en ninguno de los 3 cortes, interacción entre urea*corrector ni diferencia estadística significativa en el contenido de Ca en tejido vegetal para ninguno de los tratamientos (Anexo Figura 6 y Tablas 9, 10 y 11). El ANOVA arrojó valores de p-valor de 0,37, 0,09, 0,18 para el corte II, III y IV respectivamente. Los valores de calcio foliar oscilaron entre 0,1 y 0,2% aproximadamente.

Contenido de Mg en tejido vegetal

El ANOVA no evidenció, en ninguno de los 3 cortes, interacción entre urea*corrector ni diferencia estadística significativa en el contenido de Mg en tejido vegetal para ninguno de los tratamientos (Anexo Figura 7 y Tablas 12, 13 y 14). Los valores de este elemento rondaron entre 0,05 y 0,07 % p/p.

DISCUSIÓN

Análisis edáficos iniciales

Los niveles de Ca^{+2} y Mg^{+2} intercambiables en el suelo previo a la realización del ensayo (Anexo tabla 3) eran medios para el primero y bajos para el segundo considerando las valoraciones absolutas según Vazquez & Pagani (2015), (Anexo Tabla 15). Por tal motivo se diagnosticó, en un principio, necesario plantear una doble fertilización (con Ca^{+2} y Mg^{+2}) para elevar el contenido de los mismos en el perfil de suelo. Otro factor necesario a analizar fue la CIC, responsable de la retención máxima por adsorción de cationes intercambiables en el suelo, y su relación con los cationes básicos en cuestion. Dichos parámetros son pertinentes debido a que la cantidad de nutrientes que tenga la planta a disposición va a depender de la capacidad que tenga

el complejo de cambio de retener nutrientes y de la composición cuali-cuantitativa de dichos nutrientes (Zhang & Zhao, 1997). Según parámetros de referncia Vázquez & Pagani (2015) (Anexo Tabla 16), los niveles del ensayo fueron bajos para el Ca^{+2} (46,6 % de la CIC) y relativamente buenos para el Mg^{+2} (11,3% de la CIC), evidenciando nuevamente la potencialidad de encontrar respuesta al agregado de los fertilizantes básicos.

Rendimientos parciales y acumulados de raigrás

La aplicación de urea aumentó significativamente el rendimiento de biomasa del raigrás ($kgMS.ha^{-1}$) y ese aumento se fue acentuando a medida que avanzaba el tiempo del cultivo. Si bien, en el corte II no existieron diferencias significativas, se observó una tendencia al aumento en el tratamiento U100 con un incremento de 482,11 $kgMS.ha^{-1}$, aproximadamente un 40%, con respecto al testigo (U0) (1662,57 $kgMS.ha^{-1}$ vs 1180,46 $kgMS.ha^{-1}$), (Anexo figura 1), mostrando una eficiencia en el uso de N de 10,25 $kgMS.kgN^{-1}$ en el tratamiento U100. En el corte III se incrementó la biomasa producida en 447 $kgMS.ha^{-1}$, un incremento de aproximadamente el 37%, entre el tratamiento U100 y el testigo (U0), cuya producción fue de 1672,47 $kgMS.ha^{-1}$ y 1225,47 $kgMS.ha^{-1}$, y la eficiencia fue de 9,51 $kgMS.kgN^{-1}$ para U100. Para el corte IV el aumento de rendimiento fue de 1303,96 $kgMS.ha^{-1}$, aproximadamente un 35%, entre el tratamiento U100 vs el testigo (U0) mientras que la eficiencia en el uso de N, para la máxima dosis, fue 27,74 $kgMS.kgN^{-1}$. Estos últimos valores, cuya aplicación fue realizada el 23/9/16, son cercanos a la eficiencia media de aplicaciones de inicios de primavera (30 a 50 kg $MS.kgN^{-1}$) citados por Ojuez et al. (2007).

Si se analiza el rendimiento total del cultivo de raigrás, en todo su ciclo, para los tratamientos de U100 se aplicaron 141 kg de $N.ha^{-1}$., obteniéndose una eficiencia total de 15,83 $kgMS.kgN^{-1}$ aplicados. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el sudeste bonaerense, donde la fertilización nitrogenada en invierno, con dosis entre

100 y 150 $kgN.ha^{-1}$., permitió obtener incrementos similares en la producción de biomasa (Marino et al., 1995; Marino, 1996; Mazzanti et al., 1997).

La fertilización nitrogenada logró mayor eficiencia cuando se realizó a fines del invierno- principio de primavera (corte III y corte IV). La siembra de raigrás y otros verdeos comienza a partir del mes de febrero y se prolonga hasta fines de marzo, período en que el laboreo y las condiciones de temperatura y humedad de los suelos son favorables para los procesos de mineralización de la materia orgánica. Esto asegura, de forma relativa, una alta disponibilidad de formas asimilables de nitrógeno para el crecimiento en dicho período. Por consiguiente, es esperable que la fertilización nitrogenada otoñal incremente el crecimiento de forraje en menor proporción que una dosis similar aplicada a fines de invierno, período en el cual la disponibilidad de formas asimilables de nitrógeno es extremadamente baja (Vázquez & Barberis, 1982; Echeverría & Bergonzi, 1995).

En cuanto a la fertilización con sulfato de calcio ($Ca(SO_4)_2.2H_2O$) y sulfato de magnesio ($Mg(SO_4)_2.7H_2O$), ninguna de las dosis aplicadas logró incrementos de biomasa estadísticamente significativos, tanto parcial como acumulado. Estos resultados coinciden con los obtenidos por (Mainero, 2016), en suelos de General Belgrano y 25 de Mayo, provincia de Buenos Aires, donde ensayaron la aplicación de diferentes dosis de corrector (entre 0 y 1600 kg de carbonato de calcio por hectárea) combinada con distintas cantidades de urea y de sulfato de amonio, y cuyos resultados no arrojaron valores estadísticamente significativos. Sin embargo, se evidenció una tendencia al incremento de biomasa en el ensayo en General Belgrano. En el partido de 25 de Mayo, Mainero observó que la fertilización con urea aumentó la producción de materia seca para todos los tratamientos (tanto para $Caco_3$ 0 y $Caco_3$ 1600), sin diferencias entre sí, aunque se observó una tendencia a disminuir el rendimiento al aplicar fertilizantes básicos.

En el ensayo los rendimientos promedios de cada corte (Anexo Figura 1 y Tabla 5), comparando los tratamientos U0C0 y U0C100, el resultado fue variable en el rendimiento cuando la concentración de corrector fue mayor. Al comparar las parcelas con los tratamientos U100C0 y U100C100, se observó una tendencia a disminución en la producción de MS en 2 de los 3 cortes. Por lo tanto, cuando la dosis del fertilizante nitrogenado fue 100 $kg.ha^{-1}$ se estableció una tendencia a la baja del rendimiento con el agregado de los cationes básicos. En cambio, para los tratamientos con C50, comparando U0C0 con U0C50 y U50C0 con U50C50, en los tres cortes no se visualizó una tendencia clara, donde en algunos casos bajó la producción de biomasa y en otros se incrementó, pudiéndose observar que al aplicar la dosis C50 de corrector no se producirían incrementos en el rendimiento.

Contenido de Ca y Mg en tejido vegetal

Al analizar los resultados obtenidos en cuanto a la concentración foliar de Ca, comparando cada tratamiento en cada uno de los cortes, se observó que no hubo interacción entre los tratamientos urea*corrector ni diferencias significativas en el contenido de este nutriente en tejido vegetal para los tratamientos por separado, analizando la totalidad de los cortes parciales (Anexo Tablas 9, 10 y 11). Los resultados fueron dispares incrementándose en algunos casos y siendo menores en otros, comparando los tratamientos con y sin corrector ante el agregado de urea y sin ella. Sin embargo, el suelo estudiado presentaba deficiencia relativa en estos nutrientes (Anexo tabla 10). Muchas veces en producciones intensivas, aun existiendo cantidades adecuadas de Ca y Mg en el suelo, puede ocurrir que el elevado ritmo de la demanda por parte de los cultivos impida la reposición de estos nutrientes a la solución del suelo a la velocidad con que son absorbidos debido a que en muchas situaciones es necesaria su aplicación como nutriente y, de esa manera, evitar severos daños en la producción (Vásquez & Pagani, 2015).

En cuanto a la fisiología de la planta, la misma pone en juego distintos mecanismos para la absorción de Ca en situaciones de déficit para aprovisionarse y desarrollar normalmente sus funciones. Gracias a los estudios de Emanuel Epstein (en Azcón-Bieto & Talón, 2008) se logró identificar la existencia de mecanismos de transporte de iones en la planta. Uno de ellos, que se denominó de tipo I, sería capaz de extraer Ca^{+2} del suelo en concentraciones muy bajas. Se podría considerar que dicho mecanismo pudo haber sido utilizado por el vegetal, explicando los resultados obtenidos en el ensayo donde las diferentes concentraciones de Ca entre tratamientos no provocaron una menor o mayor concentración de dicho nutriente en el tejido vegetal, evitando sufrir deficiencias de dicho nutriente.

El corte IV se observó una tendencia en presentar menor concentración de Ca en el tejido vegetal en la totalidad de los tratamientos (Anexo Figura 6). Según indican Azcón-Bieto & Talón (2008) los síntomas de deficiencia son siempre más evidentes en los tejidos jóvenes y en las zonas meristemáticas de raíces, tallos y hojas. Esto es debido a que la división celular se ve afectada por la deficiencia de calcio siendo en estos tejidos la división mitótica alta; por otro, la lámina media que se forma entre dos células hijas, uno de cuyos principales componentes es el pectato cálcico, puede verse alterada. Los cortes II y III se realizaron en estado fisiológico de macollaje, donde el raigrás se encontraba en etapa de división celular activa, correspondiéndose con los mayores requerimientos de Ca por la planta y, por tal motivo, la concentración del mismo en estos estadios fue máxima. El corte IV se realizó en estado de maduración, donde la planta ya se encontraba en encañazón, con todas sus estructuras vegetativas y reproductivas ya formadas, por lo cual la actividad de división celular era muy baja, lo que se correspondería con una demanda de Ca también menor, lo que pudo haber repercutido en una menor concentración de Ca en los tejidos.

La concentración de Mg en los tejidos no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos para ninguno de los cortes (Anexo Tabla 12, 13 y 14). Se observó

que, ocasionalmente, mayores concentraciones de corrector produjeron menores concentraciones de Mg en planta (Anexo Figura 7). Estos valores pueden asociarse a la fisiología de absorción y translocación de Mg por la planta. La absorción de este nutriente es por lo general más baja que el Ca^{+2} o K^{+}. El bajo potencial de absorción refleja la falta de un mecanismo especial que transporte el Mg^{+2} a través de la membrana plasmática. El transporte es pasivo, donde el Mg^{+2} se moviliza a favor de un gradiente electroquímico. En este transporte la competencia entre iones jugar un rol principal y la absorción de Mg^{+2} puede ser seriamente afectada por un exceso de otras especies catiónicas. Esta competencia podría provocar una deficiencia de este nutriente en la planta. No solo la absorción sino también la translocación de Mg desde las raíces a las partes superiores de las plantas puede restringirse por el K^{+} y/o por el Ca^{+2} (Schimanski 1981). Con lo dicho se podría observar que mayor cantidad de kierserita coincide con una tendencia a mayor contenido de Mg. Pero la mayor concentración de Ca en el perfil (por el agregado de yeso) puede interferir en la absorción de Mg, mostrándose como una tendencia el menor contenido de este nutriente a medida que se incrementa la dosis de corrector (yeso + kierserita).

CONCLUSIONES

- La fertilización con urea con la dosis de 100 kg ha-1 permitió incrementar el rendimiento de biomasa en raigrás anual, lo que permitiría inferir una mejora en la disponibilidad de kgMS ha^{-1}, principalmente a fines del invierno, cuando la producción de forraje se torna crítica para el sistema de producción.
- La aplicación de fertilizantes de naturaleza básica, en dosis equivalentes para neutralizar el efecto acidificante de la fertilización nitrogenada con urea, no provocó aumentos en el rendimiento de biomasa, para las condiciones estudiadas.

- La aplicación de fertilizantes básicos conjuntamente a fertilizantes nitrogenados no logró incrementar la concentración de Ca^{+2} y Mg^{+2} en tejido vegetal para las situaciones agro-edafo-climáticas donde se realizó el ensayo
- Es necesario seguir investigando sobre la temática utilizando distintas especies vegetales, diferentes series de suelos, analizando previamente la disponibilidad de diferentes nutrientes que puedan influir en los resultados. Con esto se podrán generar estrategias de manejo complementarias que permitan sostener e incrementar la producción y calidad de materia prima, a la vez que atenúen el impacto negativo de las prácticas realizadas en los sistemas productivos actuales sobre el recurso suelo, principal fuente de alimentos y fibras, tanto para nuestra generación como generaciones futuras, contribuyendo así a la sustentabilidad de los agroecosistemas.

BIBLIOGRAFÍA

Arrigo, N. M. & M. E. Conti. 1985. Importancia de los mecanismos de intercepción radical, flujo masal y difusión de Ca, Mg, K y P, en plantas de maíz en suelos pampeanos. Revista de la Facultad de Agronomía 6, (3):183-188.

Azcón-Bieto, J. & M. Talón. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2da. Edición. UBe. McGraw-Hill. Interamericana de España. S.L. 669 pp.

Baligar, V. C.; Kinraide, T. B.; Wright, R. J.; Bennet, O. L. & M. D. Smedkey. 1987. Aluminium effects of growth and P, Ca and Mg uptake efficiency in red clover cultivars. J. Plant Nutr. 10 (0-16): 1131-1137.

Blake, L., Goulding, K. W. T., Mott C. J. B. & A. E. Johnston. 1999. Changes in soil chemistry accompanying acidification over more than 100 years under wood landygrass at Rothamsted Experimental Station, UK. En: European Journal of Soil Science 50: 401–412.

Burle, M. L, Mielniczuk, A. & S. Fecchi. 1997. Effect of cropping systems on soil chemical charasteristics, with emphasis in soil acidification. En: Plant Soil 190: 309- 316.

Campillo, R. & A. Sadzawka. 2006. La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados. En R. Campillo (ed.) Manejo de los recursos naturales en el sistema de incentivos para la recuperación de suelos degradados de la Araucanía. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Temuco, Chile. Serie Actas Nº 38: 44-60.

Ciampitti, I., & F. O. García. 2008. Requerimientos Nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. II. Hortalizas, frutales y forrajeras. En: Informaciones Agronómicas 37. Buenos Aires. 22 pp.

CNA. 2004. Métodos De Análisis De Tejidos Vegetales. Angélica Sadzawka R., Renato Grez Z.,María Adriana Carrasco R. y María de la Luz Mora G. Comisión De Normalización Y Acreditación Sociedad Chilena De La Ciencia Del Suelo. Disponible en: http://www.cofes.org.ar/descargas/relas/4_jornada/ Manual_chilenos_tejido_vegetal.pdf. Último acceso: agosto de 2018.

Echeverría, H. & R. Bergonzi. 1995. Estimación de la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. Boletín Técnico Nº 135. Centro Regional Buenos Aires Sur. INTA Balcarce. 15pp.

Ferro, D., Millán, G., Merani, V., Machetti, N., Larrieu, L., Nughes, L. & M. Vázquez. 2015. Efectos del agregado de dolomita y fertilizantes cálcico-magnésicos en el rendimiento de Avena sativa L. en suelos ácidos de la región templada argentina. En: Informaciones Agronómicas Nº 19:22-25.

Gambaudo, S., Picco, L., Soldano, P., & A. Cervetti. 2007. Fertilización compuesta con calcio, magnesio y azufre en soja. Resultados experiencias campaña 2006/07. INTA. EEA Rafaela Información Técnica Cultivos de Verano. Publicación Miscelánea Nº 108:185-189.

InfoStat. 2011. InfoStat. Software Estadístico. Versión Libre. [En línea] Available at: http://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=46. Último acceso: 14/7/2018.

Lanfranco J.W. 1988. Carta de suelos de la Estación Experimental Central. Facultad de Agronomía, UNLP. (Inédito).

Mainero J. 2016. Aplicación de dolomita aperdigonada en forma conjunta con urea y sulfato de amonio como neutralizante de la acidificación generada por el fertilizante utilizando como cultivo indicador raigrás anual (*Lolium multiflorum* L). Trabajo final de carrera. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Argentina. 50 pp.

561 **Marino, M.A.** 1996. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento inverno
562 primaveral, la composición química y la calidad del forraje de Avena sativa y
563 Lolium multiflorum. Tesis M.Sc. Facultad de Ciencias Agrarias de Balcarce.
564 UNMdP. . Argentina. 104 pp.
565 **Marino, M.A., A. Mazzanti & H.E. Echeverría**. 1995. Fertilización nitrogenada de
566 cultivos forrajeros anuales de invierno en el sudeste bonaerense.1. Crecimiento
567 y acumulación de forraje. Actas 19º Congreso Argentino de Producción Animal.
568 pp. 179-182.
569 **Marino, M.A., Mazzanti, A., Assuero, S.G., Gastal, F., Echeverría H.E. & F.**
570 **Andrade**. 2004. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during
571 winter-spring growth of annual ryegrass. Agronomy Journal 96: 601-607.
572 **Marschner, H.** 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Ed. Academic Press,
573 Londres. 889 pp.
574 **Martínez, F. & G. Cordone.** 2008. Fertilización en soja. Explorando la respuesta a
575 magnesio. INTA. EEA Oliveros. En: Revista Para Mejorar La Producción N º 39.
576 **Mazzanti, A., Wade, M.H. & S.C García**. 1997. Efecto de la fertilización nitrogenada
577 sobre el crecimiento y la calidad del forraje de raigrás anual cv. Grasslands
578 Tama. Revista Argentina de Producción Animal 17: 25-32.
579 **Mengel K. & Kirkby E.A.** 2000. Principios de Nutrición Vegetal. Ed. Instituto
580 Internacional de la Potasa, Basilea Suiza. 4ta Ed. 1ra Ed. en español. 607 pp.
581 **Miravé, J., Tognetti, J., Aguirrezábal, L. & Assuero, S.,** 2015. Fundamentos de la
582 Nutrición Mineral en Plantas. En: H. Echeverría & F. García, edits. Fertilidad de
583 Suelos y Fertilización de Cultivos. Buenos Aires: INTA Ediciones, pp. 131-154.
584 **Ojuez, C.; Lauric, A.; Siolotto R. & L Ventimiglia.** 2007. Comportamiento de raigrás
585 bajo diferentes formas de fertilizacion en el centro de la provincia de Buenos
586 Aires. Boletín Técnico EEA INTA Bordenave. 6 pp.

587 **Rearte D.** 2010. Situación actual y perspectivas de la producción de carne vacuna.
588 INTA. Programa Nacional de Carnes. Disponible en:
589 http://ipafcv.files.wordpress.com/2011/07/rearte-20102.pdf. Último acceso,
590 15/03/16. 26 pp.
591 **Revilla G. & E. Zarra.** 2008. Fisiología vegetal. Introducción a las células de las
592 plantas: membrana y pared. En: Fundamentos de fisiología vegetal. Azcon –
593 Bieto J & M Talón (eds) Ed.UBe. España. Cap.1:3-22 pp.
594 **SAMLA.** 2004. Sistema de Apoyo Metodológico de Laboratorios de Análisis de Suelos
595 y Aguas. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca - Asociación Argentina
596 de la Ciencia del Suelo. 2004. 120 pp.
597 **Schimansky, C.** 1981. Der Einliuss einiger Versuchsparatneter auf das Fuxverhalten
598 von Mg bei Getstcnkcimpflanzen in Hydrokulturversuchen. Landwirschafilichen
599 Forschung 34:154-167.
600 **Tang C**. 1998. Factors affecting soil acidification under legumes I. Effect of potassium
601 supply. Plant and Soil 199 (2): 275- 282.
602 **Vázquez, M.E. & Barberis, L.A.** 1982. Variación estacional de la concentración de
603 nitratos en el suelo. Revista de Investigaciones Agropecuarias. INTA. Vol. XVII.
604 1: 13-22.
605 **Vázquez M.** 2005. Acidez Natural y Adquirida de los Suelos. Su Diagnóstico y
606 Tratamiento. Revista Acaecer 346: 6-12.
607 **Vázquez, M.; Terminiello, A.; Casciani, A.; Millán, G.; Gelati, P.; Guilino, F.; García**
608 **Díaz, J.; Kostiria, J. & García, M.** 2010. Influencia del agregado de enmiendas
609 básicas sobre la producción de alfalfa (Medicago *sativa l.*) en ámbitos
610 templados argentinos. Ciencia del Suelo 28 (2): 141-154 p.
611 **Vázquez, M.,Terminiello, A., Casciani, A., Millán, G., Cánova, D., Gelati, P.,**
612 **Guilino,F., Dorronzoro, A., Nicora, Z., Lamarche, L & M. García.** 2012.
613 Respuesta de la soja (glicine max l.merr) a enmiendas básicas en algunos

suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. Ciencia del Suelo 30.1: 43-55 p.

Vázquez M. & A. Pagani. 2015. Calcio y Magnesio. Manejo de fertilización y enmiendas. En: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Echeverría H. & F. García. Ediciones INTA. Argentina. 904 p.

Vázquez M. & G. Millán. 2017. Acidez del suelo. Origen, diagnóstico, consecuencias y tratamientos. En Manejo y Conservación de Suelos con especial énfasis en situaciones argentinas. Ed: Mabel Vázquez, Buenos Aires, pp: 229-273.

Wilkinson, R. E. & R. R. Duncan. 1993. Calcium ($^{45}Ca^{2+}$) absorption inhibition by aluminum (Al^{+3}) in sorghum roots. Journal of Plant Nutrition. Vol.16: 235-240.

Wilkinson, R. E. & R. R. Duncan. 1994. Malachite green influence on Calcium ($^{45}Ca^{2+}$) absorption by sorghum root tips. Journal of Plant Nutrition. Vol. 17 (263): 427-431.

YPF SA. 2015. Productos y servicios. Disponible en: http://www.ypf.com/ProductosServicios/Documents/UREA. Último acceso: julio de 2018.

Zhang, X. & Zhao, A., 1997. Surface charge. En: T. Yu, ed. Chemistry of Variable Charge Soils. New York: Oxford University Press Inc, pp. 17-63.

ANEXO

Figuras

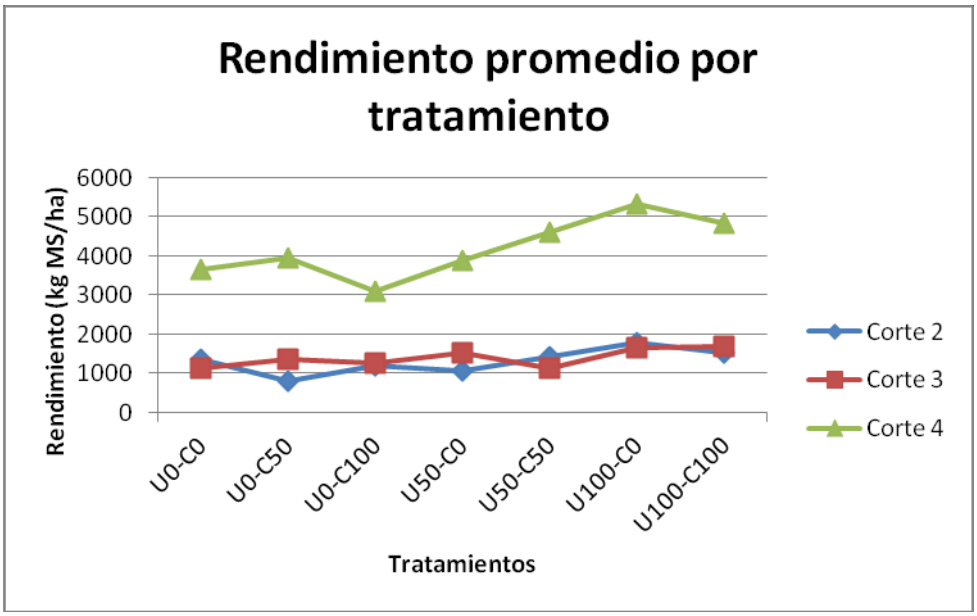

Figura 1: *Rendimiento promedio de Raigrás (kgMS.ha^{-1}) de los diferentes tratamientos en cada fecha de corte.* ***U:*** *urea.* ***C:*** *Fertilizante cálcico magnésico (corrector)*

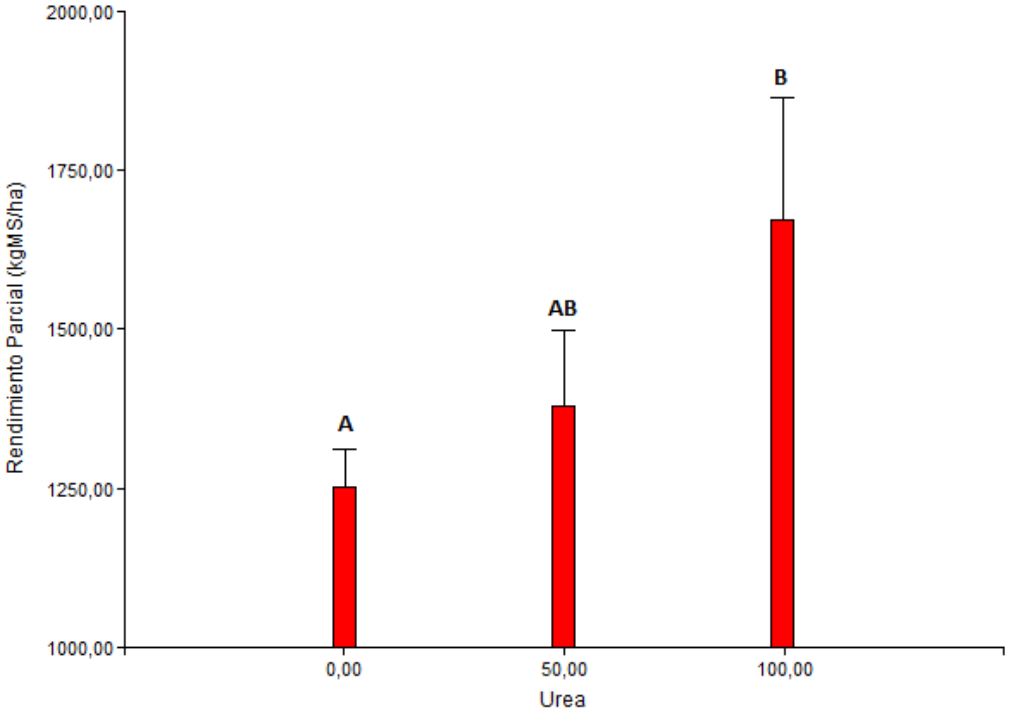

Figura 2: *Producción de Materia Seca, expresado en kgMS ha^{-1}, versus los tratamientos con urea para el corte III (rendimiento parcial). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (p > 0,05)*

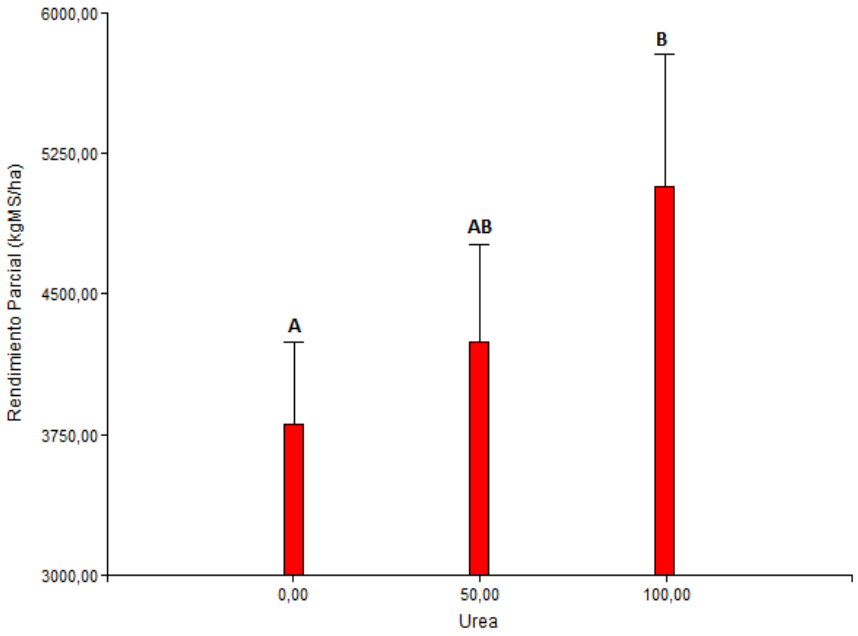

***Figura 3**: Producción de Materia Seca, expresado en kgMS ha^{-1}, versus los tratamientos con urea para el corte IV (rendimiento parcial). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (p > 0,05)*

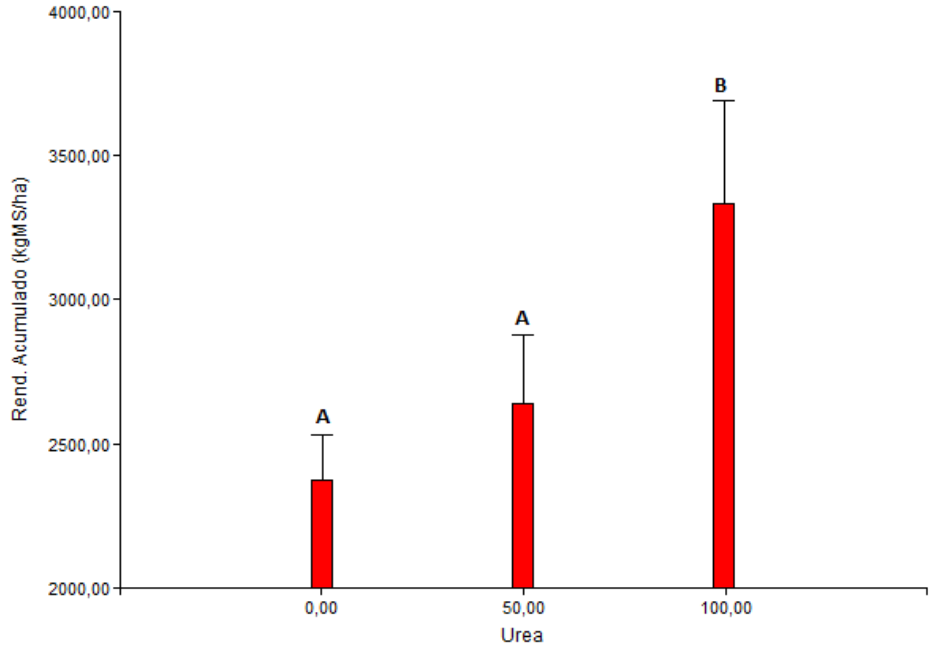

***Figura N° 4**: Producción de Materia Seca acumulada, expresado en kgMS ha^{-1}, versus los tratamientos con urea para el corte III (corte parcial II + corte parcial III). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (p > 0,05)*

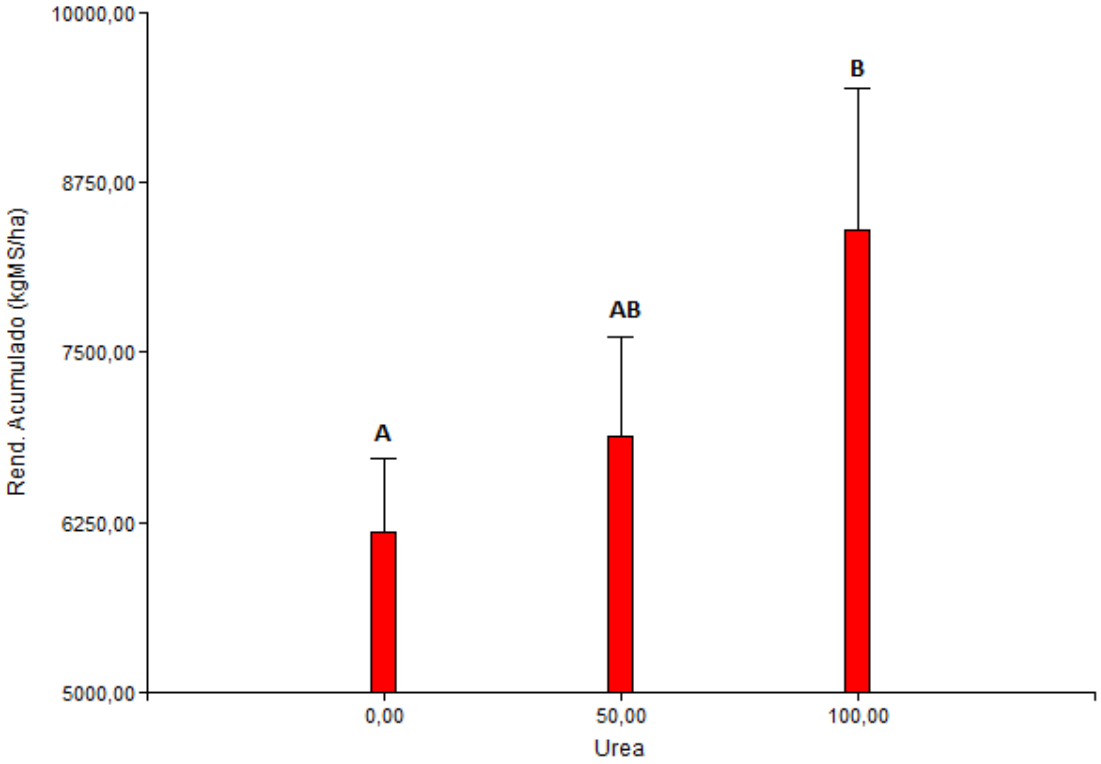

***Figura 5**: Producción de Materia Seca acumulada, expresado en kgMS ha^{-1}, versus los tratamientos con urea para el corte IV (corte parcial II + corte parcial III + corte parcial IV). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (p > 0,05)*

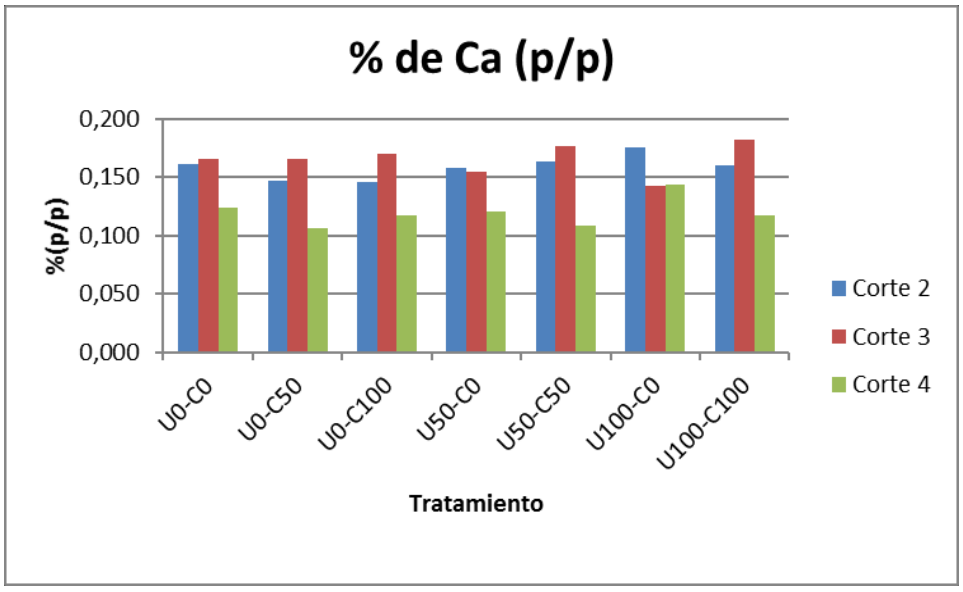

***Figura 6**: Contenido promedio de Ca en tejido vegetal (% p/p de Ca) de los diferentes tratamientos y cortes. **U:** urea. **C:** fertilizante cálcico magnésico (corrector). **% (p/p):** porcentaje peso en peso.*

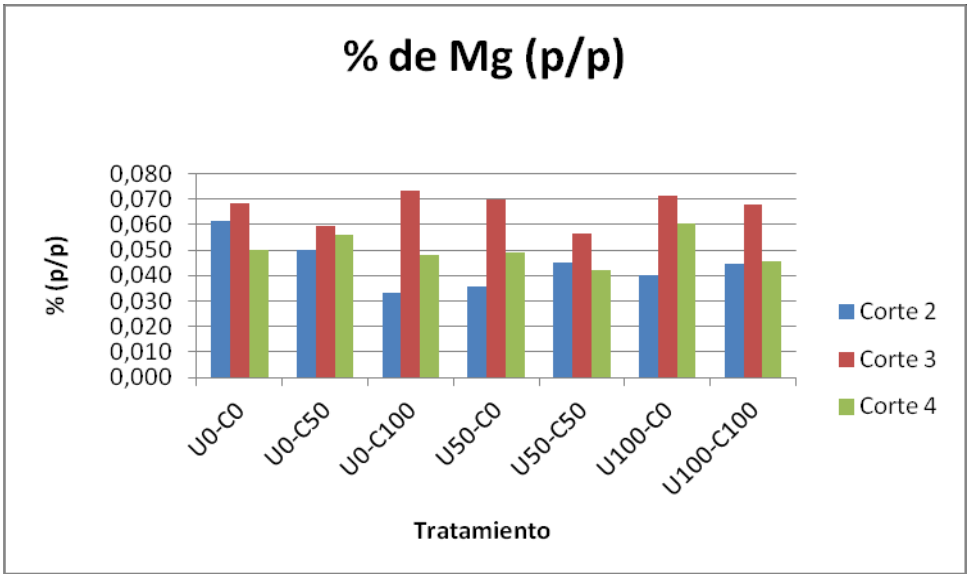

***Figura 7**: Contenido promedio de Mg en tejido vegetal (% de Mg (p/p)) de los diferentes tratamientos, para cada uno de los cortes **U:** urea. **C:** Fertilizante cálcico magnésico (corrector)*

Tablas

Tabla 1. Tratamientos y dosis aplicadas en cada parcela.

Tratamiento	Dosis de Urea		Dosis de $(Ca(SO_4)_2.2H_2O$		Dosis de $Mg(SO_4)_2.7H_2O)$	
	(Kg.ha^{-1})	*(g/parcela)*	*(Kg.ha^{-1})*	*(g/parcela)*	*(kg.ha^{-1})*	*(g/parcela)*
U0C0	0	0	0	0	0	0
U50C0	50	10	0	0	0	0
U100C0	100	20	0	0	0	0
U0C50	0	0	122,8	24,5	29,3	5,8
U0C100	0	0	245,7	49,00	58,5	11,7
U50C50	50	10	122,8	24,5	29,3	5,8
U100C100	100	20	245,7	49,00	58,5	11,7

C: fertilizante cálcico magnésico (corrector)
U: urea

Tabla 2: Cantidad de bases a aplicar por tratamiento.

Tratamiento	Equivalentes de acidez generados (H^+) (eq.ha^{-1})	Equivalentes de Ca necesarios (eq.ha^{-1})	Equivalentes de Mg necesarios (eq.ha^{-1})
U50	1666,6	1428,5	238,0
U100	3333,3	2857,1	476,1

Tabla 3. Resultados de análisis de suelo determinados sobre el sitio experimental

Determinación		Profundidad (cm) 0-20	20-40
pH actual (1:2,5)		5,59	5,55
CO	%	2,24	1,53
MO	%	3,86	2,63
Nt	%	0,224	0,160
C/N		10	9,6
CIC (T)	$cmol_C.kg^{-1}$	19,53	15,60
Ca int		9,10	11,10
Mg int		2,2	2,9
Na int		0,55	0,55
K int		1,28	1,11
Sat Bases (S/T)	%	67	100
Ca/CIC	%	68	70
Mg/CIC	%	16	18

Tabla 4: Análisis de la varianza corte II, rendimiento parcial

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3901347,83	7	557335,40	4,71	0,0079
Urea	868288,92	2	434144,46	3,67	0,0546
Corrector	31352,76	1	31352,76	0,26	0,6155
Bloque	2271777,04	2	1135888,52	9,59	0,0028
Urea*Corrector	489038,09	2	244519,04	2,06	0,1664
Error	1539457,32	13	118419,79		
Total	5440805,15	20			

Tabla 5 : Análisis de la varianza corte III, rendimiento parcial

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1418513,38	7	202644,77	2,66	0,0606
Urea	690759,02	2	345379,51	4,54	0,0320
Corrector	12044,71	1	12044,71	0,16	0,6973
Bloque	580049,03	2	290024,52	3,81	0,0499
Urea*Corrector	190653,54	2	95326,77	1,25	0,3182
Error	989668,93	13	76128,38		
Total	2408182,31	20			

Tabla N° 6: Análisis de la Varianza corte IV, rendimiento parcial

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	32298105,90	7	4614015,13	5,70	0,0035
Urea	5858650,32	2	2929325,16	3,62	0,0462
Corrector	92910,03	1	92910,03	0,11	0,7401
Bloque	25297960,12	2	12648980,06	15,64	0,0003
Urea*Corrector	1070677,12	2	535338,56	0,66	0,5324
Error	10515224,32	13	808863,41		
Total	42813330,22	20			

Tabla N° 7: Análisis de la Varianza corte III, rendimiento acumulado (corte II + corte III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor

Modelo.	8695757,46	7	1242251,07	7,75	0,0008
Urea	3077145,46	2	1538572,73	9,60	0,0027
Corrector	82227,82	1	82227,82	0,51	0,4864
Bloque	5129097,76	2	2564548,88	16,01	0,0003
Urea*Corrector	80663,29	2	40331,64	0,25	0,7811
Error	2082547,92	13	160195,99		
Total	10778305,37	20			

Tabla N° 8: Análisis de la Varianza corte IV, rendimiento acumulado (corte II + corte III + corte IV)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	72552883,49	7	10364697,64	8,77	0,0005
Urea	17360282,01	2	8680141,00	7,35	0,0073
Corrector	328,75	1	328,75	2,8E-04	0,9869
Bloque	52803575,82	2	26401787,91	22,34	0,0001
Urea*Corrector	1666046,34	2	833023,17	0,70	0,5121
Error	15361316,98	13	1181639,77		
Total	87914200,47	20			

Tabla N° 9: ANOVA para el contenido de Ca en tejido vegetal en el corte II

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,3E-03	7	4,7E-04	1,13	0,4027
Urea	7,0E-04	2	3,5E-04	0,85	0,4516
Corrector	3,5E-04	1	3,5E-04	0,83	0,3787
Bloque	1,4E-03	2	6,9E-04	1,67	0,2270
Urea*Corrector	4,4E-04	2	2,2E-04	0,53	0,5995
Error	0,01	13	4,2E-04		
Total	0,01	20			

Tabla N° 10: ANOVA para el contenido de Ca en tejido vegetal en el corte III

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,9E-03	7	5,6E-04	0,88	0,5504
Urea	7,7E-05	2	3,8E-05	0,06	0,9425
Corrector	2,2E-03	1	2,2E-03	3,35	0,0904
Bloque	7,9E-04	2	3,9E-04	0,61	0,5564
Urea*Corrector	1,3E-03	2	6,3E-04	0,98	0,4008
Error	0,01	13	6,4E-04		
Total	0,01	20			

Tabla N° 11: ANOVA para el contenido de Ca en tejido vegetal en corte IV

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,0E-03	7	7,1E-04	0,95	0,5026
Urea	7,8E-04	2	3,9E-04	0,52	0,6038
Corrector	1,4E-03	1	1,4E-03	1,92	0,1887
Bloque	2,5E-03	2	1,2E-03	1,66	0,2278
Urea*Corrector	2,0E-04	2	1,0E-04	0,14	0,8749
Error	0,01	13	7,5E-04		
Total	0,01	20			

Tabla N° 12: Contenido de Mg (%p/p) en tejido vegetal para el corte II

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor

Modelo.	1,7E-03	7	2,4E-04	1,67	0,2022
Urea	5,2E-04	2	2,6E-04	1,82	0,2011
Corrector	1,8E-05	1	1,8E-05	0,12	0,7321
Bloque	4,7E-04	2	2,3E-04	1,64	0,2318
Urea*Corrector	8,7E-04	2	4,3E-04	3,04	0,0827
Error	1,9E-03	13	1,4E-04		
Total	3,5E-03	20			

Tabla N° 13: Contenido de Mg (%p/p) en tejido vegetal para el corte III

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6,5E-04	7	9,3E-05	0,34	0,9213
Urea	1,3E-04	2	6,6E-05	0,24	0,7889
Corrector	1,8E-04	1	1,8E-04	0,67	0,4282
Bloque	2,3E-04	2	1,2E-04	0,43	0,6621
Urea*Corrector	1,3E-04	2	6,3E-05	0,23	0,7982
Error	3,6E-03	13	2,7E-04		
Total	4,2E-03	20			

Tabla N° 14: Contenido de Mg (%p/p) en tejido vegetal para el corte IV

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,0E-04	7	1,0E-04	0,37	0,9036
Urea	1,7E-04	2	8,7E-05	0,32	0,7309
Corrector	2,1E-04	1	2,1E-04	0,77	0,3966
Bloque	1,2E-04	2	6,2E-05	0,23	0,7971
Urea*Corrector	2,4E-04	2	1,2E-04	0,44	0,6555
Error	3,5E-03	13	2,7E-04		
Total	4,2E-03	20			

Tabla N° 15: Provisión de Ca^{+2} y Mg^{+2} intercambiables (Vázquez & Pagani, 2015)

Denominación	Ca^{+2} intercambiable ($cmolc.kg^{-1}$)	Mg^{+2} intercambiable ($cmolc.kg^{-1}$)
Muy alto	>20	>8
Alto	20-10	8-3
Medio	10-5	3-1
Bajo	5-2	1-0,3
Muy bajo	<2	<0,3

Tabla N° 16: Valores relativos de Ca^{+2} y Mg^{+2} en relación a la CIC. Extraído de Vázquez & Pagani (2015).

Nutriente	% de la CIC
Ca^{+2}	60-80
Mg^{+2}	10-20