



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**

Informe de Trabajo Final de Grado  
para optar al título de Ingenieros Agrónomos

**EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN Y RELACIÓN DE CALCIO Y MAGNESIO  
EN SOLUCIÓN NUTRITIVA PARA CULTIVOS FORRAJEROS DE  
IMPORTANCIA EN LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA**

**Nombre y apellido:** Manuel Aued

**D.N.I.:** 36.363.402

**Legajo:** 27439/4

**Email:** manuaued@gmail.com

**Celular:** 2262-568274

**Nombre y apellido:** Nicolás Malchiodi

**D.N.I.:** 36.906.163

**Legajo:** 27207/9

**Email:** malchiodi.nico@gmail.com

**Celular:** 2262-514664

**Director:** Ing. Agr. Daniel A. Ferro (Manejo y Conservación de Suelos)

**Codirector:** Ing. Agr. Guillermo J. Millán (Edafología)

**Fecha entrega:** 11 de octubre de 2018

## ÍNDICE

|  |               |
|--|---------------|
| <b>RESUMEN</b> .....                                 | <b>- 2 -</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                            | <b>- 3 -</b>  |
| <b>Nutrición animal y cultivos forrajeros</b> .....  | <b>- 3 -</b>  |
| <i>Leguminosas forrajeras</i> .....                  | - 4 -         |
| <i>Gramíneas forrajeras</i> .....                    | - 6 -         |
| <b>Nutrición Vegetal y Parámetros Edáficos</b> ..... | <b>- 7 -</b>  |
| <b>OBJETIVOS</b> .....                               | <b>- 14 -</b> |
| <b>Generales</b> .....                               | <b>- 14 -</b> |
| <b>Específicos</b> .....                             | <b>- 14 -</b> |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....                    | <b>- 14 -</b> |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....                  | <b>- 16 -</b> |
| <b>Soja</b> .....                                    | <b>- 16 -</b> |
| <i>Producción de MS</i> .....                        | - 16 -        |
| <i>Calcio foliar</i> .....                           | - 21 -        |
| <i>Exportación de calcio</i> .....                   | - 24 -        |
| <b>Raigrás</b> .....                                 | <b>- 26 -</b> |
| <i>Producción de MS</i> .....                        | - 26 -        |
| <i>Calcio foliar</i> .....                           | - 30 -        |
| <i>Exportación de calcio</i> .....                   | - 34 -        |
| <b>CONCLUSIÓN</b> .....                              | <b>- 36 -</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....                            | <b>- 37 -</b> |
| <b>ANEXO</b> .....                                   | <b>- 47 -</b> |

## RESUMEN

Los cultivos necesitan cantidades absolutas y relativas de nutrientes solubles en suelo. El diagnóstico de Ca se realiza en su fracción de reserva y su interpretación supone que existe un contenido mínimo (SLAN) o relación entre cationes (BCSR) que permite el desarrollo óptimo. La concentración en soluciones nutritivas se podría utilizar para evaluar la nutrición y asociar a la fracción soluble del suelo. Los objetivos del trabajo, en soja y raigrás anual, fueron: verificar rangos de concentración de Ca y relación Ca/Mg en solución nutritiva que permita máximos crecimientos vegetativos; analizar la relación entre concentración de calcio y contenido foliar/exportación de Ca, y comprobar el efecto de la concentración de Ca a relación fija Ca/Mg sobre el crecimiento vegetativo, concentración foliar/exportación de Ca. Se utilizaron soluciones nutritivas variando la concentración entre 1, 5, 9 y 12 mM de Ca (relación Ca/Mg 0,5, 2,5, 4,5 y 6, respectivamente) y se adicionó un tratamiento con 10 mM de Ca a relación Ca/Mg de 2,5. Se observó crecimiento vegetal, concentración foliar y exportación de Ca. En soja: el crecimiento fue favorable a partir 5 mM de Ca (relación Ca/Mg 2,5) aunque no hubo diferencias ante el aumento de Ca a relación Ca/Mg constante (2,5); la concentración foliar y exportación de Ca fue favorable a partir de 5 mM de Ca (relación Ca/Mg 2,5), observándose mayores valores ante el aumento Ca en relación Ca/Mg constante (2,5). En raigrás: no hubo diferencias en el crecimiento vegetativo ante el aumento del calcio, sea variando o manteniendo constante la relación Ca/Mg; la concentración foliar y exportación de Ca fue favorable a partir de 9 mM de Ca con relación Ca/Mg de 4,5, observándose mayores valores ante el aumento de Ca en relación Ca/Mg constante (2,5). Se logró ajustar un rango de concentración de Ca y relación Ca/Mg que favorece el crecimiento vegetativo en soja, sin éxito en raigrás. Se pudo encontrar efecto de la concentración sobre el contenido foliar/exportación de Ca en soja y en raigrás, siendo diferentes las condiciones. En ambos cultivos no hubo efecto de la concentración de Ca a relación fija Ca/Mg sobre el crecimiento, encontrando diferencias en el contenido foliar/exportación de Ca.

## INTRODUCCIÓN

### Nutrición animal y cultivos forrajeros

Los animales, como todos los seres vivos, deben incorporar sustancias del medio exterior para abastecer sus estructuras y poder llevar a cabo sus funciones metabólicas, necesarias para la vida. Estas sustancias reciben el nombre de nutrientes y el conjunto de procesos que llevan a cabo para obtenerlas y utilizarlas se llama nutrición.

Los seres heterótrofos, como son los animales, necesitan ingerir materia orgánica ya elaborada (alimento) producida por seres autótrofos, y desagregarla mediante el aparato digestivo a componentes elementales para poder incorporarlas al organismo y utilizar los nutrientes para su metabolismo (Curtis et al., 2008).

Los animales rumiantes (bovinos, entre otros) se caracterizan por su capacidad para alimentarse de pasto o forraje. Esta característica se basa en una simbiosis entre las bacterias y el animal que le permite hidrolizar los enlaces  $\beta$ 1-4 de los hidratos de carbono estructurales del forraje (celulosa, hemicelulosa, pectina), muy poco digestibles para las especies de estómago simple o no-rumiantes, a través de una digestión fermentativa (sin acción de enzimas digestivas) realizada por diferentes tipos de microorganismos que el rumiante aloja en sus divertículos estomacales adaptados para este fin (Relling & Mattioli, 2002; van Lier & Regeiro, 2008).

El valor nutritivo de un alimento se relaciona con sus componentes y su posibilidad de digestión, factores que se ven afectados por las propiedades físicas y químicas del alimento y las características del animal que lo está consumiendo. Las principales características que se observan son el aporte de energía por unidad masa (Mcal  $\text{kgMS}^{-1}$ ), materia seca (%), proteína bruta (%), proteína degradable en rumen (%), fibra detergente neutro (%), calcio (%), entre otros (NRC, 1982; van Soest et al., 1991; FEDNA, 2016).

Haciendo hincapié en el valor nutritivo de un alimento, uno de los parámetros que miden la calidad nutricional es el calcio (%) que posee el mismo. Mufarrege (2002)

realizó el cálculo del requerimiento de calcio del ganado bovino para producción de carne, estableciendo que se necesita un 0,33 % de este nutriente en la materia seca como requerimiento diario. Este elemento es de suma importancia por su carácter multifuncional, ya que es requerido para una normal coagulación de la sangre, la reacción rítmica del corazón, mantener la excitabilidad neuromuscular, para mantener activar enzimas, mantener la permeabilidad de las membranas y además para formar los huesos, desarrollar los dientes y producir leche.

Las praderas son un valioso recurso en la alimentación ganadera y, de hecho, la mayor parte del pastizal argentino se encuentra cubierto por especies forrajeras que, de acuerdo al primer Mapa Nacional de Productividad diseñado por la FAUBA (Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires), AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola), el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP), el 60% del territorio nacional está cubierto con pastizales y pasturas que abastecen, en gran medida, la actividad ganadera del país (Blanco, 2014).

Las especies forrajeras se pueden dividir, principalmente, según su clasificación taxonómica en los pertenecientes a la familia de las leguminosas (clase dicotiledóneas) y a los de las gramíneas (clase monocotiledóneas), ambas pertenecientes a la subdivisión Angiospermas (Curtis et al., 2008).

### *Leguminosas forrajeras*

Los planteos ganaderos debieran realizarse en base a una concepción de manejo de pasturas no solo orientadas a producir forraje en estructuras que faciliten el pastoreo, sino también que mantengan alto valor nutritivo para el ganado (Agnusdei et al., 2001). En este marco, las especies leguminosas forrajeras se incorporaron en los sistemas, ya que poseen bondades nutritivas en relación a las gramíneas. A título de ejemplo, se puede mencionar el contenido de proteínas de mayor calidad nutritiva por

poseer diferentes aminoácidos esenciales, a la vez que las mismas tienden a disminuir más lentamente con la edad de la planta, mayor concentración de nitrógeno (N) y calcio (Ca) en hojas, bajos niveles de fibras, entre otras. A su vez, desde el punto de vista productivo, tienen la capacidad de poder fijar nitrógeno atmosférico gracias a la simbiosis con bacterias como por ejemplo del género *Bradyrhizobium* (Ramírez-Bahena et al., 2016). Paralelamente, algunas especies como la alfalfa (*Medicago sativa* L.) poseen características beneficiosas para algunos parámetros edáficos en relación a la fertilidad química y física (FAO, 2003). Las especies forrajeras plurianuales más difundidas son la alfalfa, el trébol rojo (*Trifolium pratense* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y entre las anuales se encuentra la soja (*Glycine max* L. Merr.) (Gentos, 2006).

En Argentina, la EEA Rafaela del INTA (Romero, 2004; 2005) ha generado información sobre la utilización potencial de soja en pastoreo directo, un cultivo que hasta el presente se empleó casi exclusivamente para producir grano. Los autores concluyeron que se trata de una especie de bajo costo en su manejo, excelente alternativa forrajera para la incorporación de proteínas, más aún si se utilizan genotipos de ciclo largo (Grupo 7-8), los cuales permiten un mayor período de utilización. A su vez deja un suelo limpio y en buenas condiciones para la siembra de pasturas posteriores, debido especialmente al uso de variedades RG que permite el empleo de herbicidas como el glifosato. Luz (2007) demostró que en nuestro país este cultivo es utilizado por productores ganaderos de carne y leche desde hace ya algunos años, existiendo poca bibliografía que contenga datos concluyentes y definitivos relacionados al manejo y elección de cultivares más aptos para cada uso. Algunos antecedentes bibliográficos pueden verse en experiencias en Argentina y Uruguay (Jensen et al., 2014).

En otros países han comprobado los efectos beneficiosos que produce su utilización, tanto en pastoreo directo, como en su utilización como heno o silaje. Blount et al. (2002), investigadores de la Universidad de Florida (USA), encontraron que la

soja puede tener un valor nutricional similar al de la alfalfa, pudiendo utilizarse como su alternativa en períodos de sequía, ya que posee alto rendimiento, calidad y menor consumo hídrico (Wiederholt & Albrecht, 2007). En Costa Rica, a partir de 1989, se ha iniciado un programa de mejoramiento genético de soja cuyo objetivo principal es el de obtener variedades de alto potencial productivo, cuyo uso principal sea el de producir forraje (Tobía y Villalobos, 2004). Además, Martínez Fernández et al. (2010) Comprobaron que puede ser utilizada para ensilaje, sola o en conjunto con maíz (*Zea Mays L.*), ya que posee otras ventajas como son la posibilidad de control de gramilla en su período de crecimiento (momento más apropiado) con la utilización de glifosato; ofrece forraje de buen contenido proteico y apetecibilidad para el ganado lechero y posee buena adaptación general para los suelos dominantes en cuencas lecheras del área central argentina. Es por ello que los autores mencionados consideran que la soja de pastoreo es una alternativa a considerar para mejorar los niveles de producción de leche en verano, permitiendo realizar un cultivo forrajero temprano en el otoño, debido a la reducida cantidad de rastrojo remanente. Paralelamente, permite obtener buenos niveles de contenido proteico en la leche y con ello un precio de leche valorizado.

### *Gramíneas forrajeras*

Las especies de ésta familia forrajera se utilizan preferentemente para aumentar el contenido de materia seca de la producción, más que aportar forraje de elevado valor nutritivo, ya que estas especies incrementan los tejidos de sostén durante el crecimiento y desarrollo, los que disminuyen notablemente su digestibilidad (Wilson & Mertens, 1995; Echenique et al., 2008).

Las principales especies utilizadas son agropiro (*Agropyron elongatum*), festuca (*Festuca arundinacea*), pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), falaris (*Phalaris bulbosa*), cebadilla criolla (*Bromus unioloides*), raigrás perenne (*Lolium perenne*), raigrás anual (*Lolium multiflorum L.*), avena (*Avena sativa*), entre otras (Gentos, 2006).

El raigrás anual fue introducido en el norte de África y América exclusivamente para producción de forraje (Jauhar, 1993). En la región templada los principales factores ambientales que influyen sobre su productividad son las condiciones de humedad y la disponibilidad de N en el suelo. El raigrás anual se destacó entre las especies introducidas para sortear la escasez de forraje en los meses más fríos del año (Fernandez Grecco, 2000; Lemaire, 2001). Actualmente, el raigrás anual, luego de la avena, es el verdeo de invierno más utilizado en todo el país (Scheneiter, 2014). Si bien es originario del sur de Europa está naturalizado en la región pampeana húmeda y en las dos últimas décadas se ha convertido en una especie clave para los sistemas ganaderos de producción de carne que requieren contar con una fuente de alimento alternativa en el período de bajas tasas de crecimiento de las pasturas perennes en invierno (Scheneiter, 2014). Por otro lado, el raigrás es el verdeo que presenta mayor crecimiento invierno-primaveral determinando que si el objetivo es la producción temprana otoñal se deba recurrir a la utilización de avenas, mientras que si se desea producciones a partir de mediados de invierno se deba utilizar el raigrás, que además posee un mayor macollaje (Zanoniani, 2000).

### **Nutrición Vegetal y Parámetros Edáficos**

Desde el punto de vista fisiológico, un elemento es considerado como nutriente cuando la planta no puede completar su ciclo de vida en su ausencia y que no puede ser reemplazado por otro mineral cuando participa en cierto metabolismo vegetal, por ejemplo, una reacción enzimática. 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). La disponibilidad de nutrientes en suelo está sujeta a la relación entre nutrientes ya que existe interacción entre algunos minerales, tales como antagonismo o sinergismo. Malavolta et al. (1997) y Rodriguez (2004) mencionan efectos antagonistas en la entre Ca y Mg.

El calcio es absorbido como ion y acumulado por los vegetales, especialmente en las hojas donde se deposita irreversiblemente, cumpliendo diversas funciones. Es un elemento esencial para el crecimiento de meristemas y para el funcionamiento apropiado de los ápices radicales, ya que compone la laminilla media donde actúa como cementante, formando pectato de calcio. Tiene la función de protección, impidiendo daños a la membrana celular, actúa modulando la acción de casi todas las hormonas vegetales, regulando la germinación, el crecimiento y la senescencia, retarda la abscisión de hojas y frutos (Vázquez y Pagani, 2014).

El suelo debe poder ofertar estos nutrientes en cantidades adecuadas a la demanda nutricional del cultivo (Singh et al. 2017), 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., 2014). Tal es el caso del Ca como evidenciaron Arrigo y Conti (1985) en suelos de la Región Pampeana. Sin embargo, algunos autores observaron mecanismos de absorción activa de Ca en raigrás en bajas concentraciones (Azcón Bieto, 2008).

La dotación de un nutriente básico en suelo se encuentra regida por el equilibrio de una fracción de reserva, constituida fundamentalmente por la fracción intercambiable (factor capacidad) y su concentración en la solución externa de donde la planta se abastece (factor intensidad). La capacidad de intercambio, ya sea aniónica o catiónica, depende tanto de los coloides como de las características de los iones presentes en el suelo (Navarro Blaya & Navarro García, 2003). Por ende, la naturaleza del equilibrio de este proceso, regido por las variables mencionadas anteriormente, hacen que la relación fracción intercambiable/fracción en la solución externa, pueda variar en cada sistema.

Una problemática asociada a la dotación de nutrientes básico es la acidificación en suelos ya que puede disminuir la concentración absoluta e impactar en la relación de

bases como Ca y Mg (Alvarez & Rubio, 2010; Zubillaga & Ciarlo, 2015). En la región templada es causada, principalmente, por la aplicación de fertilizantes en base a amonio y a la exportación de nutrientes básicos que provocan las cosechas agrícolas y pecuarias sin una adecuada reposición (Vázquez, 2007). El fenómeno de la acidificación se cataliza progresivamente, pues la reducción de pH disminuye la capacidad de intercambio catiónica (CIC) debido a la afectación de las cargas variables y por lo tanto, la posibilidad de retener las reducidas bases existentes (Millán et al., 2010; Vázquez & Pagani, 2014). Es por ello que la acidez edáfica puede comprometer el desarrollo de algunos cultivos, siendo las especies más sensibles las pertenecientes a la familia de las leguminosas (Gelati & Vázquez, 2008), debido a sus mayores requerimientos de Ca y Mg por unidad de materia seca (Correndo & García, 2016). A título de ejemplo para cultivos forrajeros, Correndo & García (2016) informaron que la alfalfa necesita 12 kg de Ca (t MS)<sup>-1</sup> y 3 kg de Mg (t MS)<sup>-1</sup>, mientras que la festuca requiere 5,6 kg de Ca (t MS)<sup>-1</sup> y 2,5 kg de Mg (t MS)<sup>-1</sup> de estos elementos. Paralelamente, se han comprobado consecuencias negativas de la acidificación sobre la producción de biomasa aérea y el crecimiento radical de soja (*Glicine max* L. Merr) y de maíz (*Zea mays* L.) en suelos representativos de la región pampeana (Azcarate et al., 2012).

El diagnóstico de Ca se realiza mediante análisis de suelo siendo una herramienta de juicio en fertilización, reconocida a nivel mundial y por medio de las cuales se toma noción del estado de deficiencia, suficiencia o exceso del nutriente (Singh et al., 2017). Existen, sin embargo, diversas metodologías en la interpretación de las concentraciones de nutrientes en suelo: uno de ellos es el concepto denominado Nivel de Suficiencia de Disponibilidad de Nutrientes (SLAN) mientras que otro es el concepto de Rango de Saturación de Cationes Básicos (BCSR) (Black, 1993 en Chaganti & Culman, 2017). El SLAN supone que existe un contenido mínimo de cada nutriente en suelo para cada cultivo que impide el desarrollo óptimo, asociándose a la definición de “Ley del Mínimo” (von Liebig, 1843) y “Ley de Rendimientos

Decrecientes” (Mitscherlich, 1909). La teoría BCSR se basa en la creencia de que existe una relación ideal entre los cationes del suelo que permiten un óptimo crecimiento, más que una concentración mínima de nutrientes (Jones, 1991; St. John, 2005). El SLAN recomienda fertilizar basándose en los requerimientos de las plantas y el BCSR controlar los desbalances nutricionales en suelo (Eckert, 1987, en Chaganti & Culman, 2017).

En consideración a los métodos, ambos tienen sus críticas. Anderson & Nelson (1971) demostraron que ajustar una relación funcional verdadera entre rendimiento y nutrimento disponible en suelo es complejo, aunque Truog (1960) y Ramamoorthy et al. (1967) lograron relacionarlo hace muchos. En relación al BCSR hay poca investigación publicada que corrobore la teoría de un suelo equilibrado para maximizar los rendimientos (Kopittke & Menzies, 2007). Aún así, coexisten ambas teorías ya que los principales métodos de calibración de curvas de respuesta se realizan en base a la disponibilidad de cada elemento individualmente (Velayutham et al, 2016), y algunos agrónomos, consultores, laboratorios y agricultores siguen utilizando el BCSR como método diagnóstico para decisiones en manejo del suelo y recomendaciones de fertilización (Chaganti & Culman, 2017). A título de ejemplo de coexistencia de ambas teorías, Subba Rao & Srivastava (2000) mencionan que los nutrientes se deben aplicar en proporción a la magnitud de la deficiencia de un nutriente particular y la corrección del desequilibrio de nutrientes en el suelo ayudando a aprovechar los efectos sinérgicos de la fertilización equilibrada.

En relación a la teoría del BCSR, Vázquez & Pagani (2014) realizaron recientemente una recopilación bibliográfica sobre la expresión relativa de la disponibilidad de nutrientes básicos. Los autores encontraron que los valores relativos de los contenidos intercambiables de Ca/Mg recomendados se encontraban entre 3 y 15, según las condiciones experimentales de los distintos casos analizados (suelo, clima, cultivo, material genético), poniendo en evidencia la amplitud del rango y la necesidad de definir los sistemas diagnosticados para los cuales esos rangos son

válidos. Los autores también destacan que otras experiencias parecerían señalar que la nutrición vegetal con estos elementos obedece a valores absolutos de los mismos, sin atribuirle importancia alguna a las cantidades relativas. Entre los primeros trabajos que evaluaron la importancia de la concentración relativa de los nutrientes básicos en el suelo, se encuentra el de Graham (1959) quien determinó que la situación ideal para las condiciones en que trabajó, estaban constituidas por un 65 a 85% de saturación básica total, igual rango de saturación cálcica, 6 a 12% de saturación magnésica 1 a 5% de saturación potásica. Sin embargo, McLean et al., (1983) trabajando en suelos de Ohio, EEUU, no identificaron una relación óptima para el rendimiento de soja mientras que Key et al., (1962) concluyeron que en soja, siempre que el Ca sea mayoritario al Mg se logra un crecimiento óptimo del vegetal. Comparativamente, Simson et al., (1979), en suelos de Wisconsin, EEUU, verificaron que relaciones Ca/Mg comprendidas entre 2,28 y 8,4, no afectaron el rendimiento de alfalfa. A su vez, Zalewska et al. (2008a, 2008b) indican que la relación Ca/Mg tiene una limitada influencia en la fertilidad del suelo, siendo más importante los niveles de saturación de todos los cationes básicos en suelo. Kopittke & Menzies (2007) y Chaganti & Culman (2017) realizaron una revisión bibliográfica sobre la teoría del BCSR, donde la mayoría de los trabajos analizados concluyen que esta teoría no permitiría un diagnóstico adecuado.

En relación a la teoría de SLAN se ha reportado valores en un rango mínimo de concentración de Ca de 0,5 a 1,5  $\text{cmolc kg}^{-1}$  (Aitken & Scott, 1999; Bruce, 1999; Gourley, 1999, en Kopittke & Menzies, 2007) y 3  $\text{cmolc kg}^{-1}$  (Mc Lean et al., 1989; en Kopittke & Menzies, 2007). Sin embargo, la concentración crítica de deficiencia de cada nutriente varía para cada especie.

A pesar de que la disponibilidad de Ca en suelos vírgenes de la región pampeana es elevada, Sainz Rozas, et al. (2013, 2014) y Dell'Arciprete (2018) informaron que la disponibilidad de Ca intercambiable en el este, oeste y noroeste de Buenos Aires, sur de Córdoba y centro-norte de Santa Fe, es baja como consecuencia del manejo

agropecuario. A su vez, Heredia, et al., (2012) informaron que la saturación cálcica en la Pampa Ondulada es deficiente (< 60% de la CIC) en el 77% de los casos y severamente deficiente (< 40%) en el 18% de ellos. Otros autores evidenciaron deficiencia cálcica en suelos argentinos y en suelos ácidos en general. A título de ejemplo, Barbieri et al. (2015) encontraron que el contenido de calcio en suelo se correlacionó positivamente con el rendimiento de soja en suelos acidificados de la Región Pampeana, mientras que Fageira (2002) encontró aumentos en producción de materia seca ante el incremento de la saturación cálcica en suelos ácidos de Brasil. En consecuencia, puede observarse que la región templada argentina posee limitaciones con respecto a las concentraciones de Ca, provocando no solo la deficiencia de este nutriente per se, sino también el impacto negativo en la relación Ca/Mg quien pudiera afectar en la nutrición según la bibliografía recopilada ya sea por deficiencia o por exceso de algún nutriente que impida la absorción de otros (Obasi et al., 2016). En relación a este planteo, en los últimos años se han observado respuestas significativas al encalado en leguminosas como alfalfa, relacionándose dicho incremento al efecto de la enmienda cálcica en otros parámetros del suelo (aumentando el pH con el consecuente aumento en la disponibilidad de otros nutrientes) más que a la adición de Ca como nutriente (García et al., 2002).

Lo descripto hasta aquí presupone, en su mayoría, el empleo de variables edáficas de diagnóstico, donde, para el caso de Ca y Mg, se utilizan las cantidades de suelo disponibles en el corto-mediano plazo (capacidad). Sin embargo, se han utilizado otros métodos diagnósticos alternativos en variables vegetales, tales como la observación de síntomas visuales de deficiencia/exceso de algún nutriente (característico de cada elemento y especie) (Kass, 2007), la concentración de nutrientes en la materia seca, entre otros (Sumner, 2000; Marengo, et al., 2009). Aún así, aún no se han desarrollado métodos diagnóstico calibrados que relacionen el Ca y Mg en la solución externa del suelo (factor intensidad) con el crecimiento vegetal.

Jones (1991), comparativamente al enfoque SLAN, relacionó el crecimiento/rendimiento de los cultivos en función de la concentración de nutrientes en la materia seca y logró discriminar 5 zonas: zona de deficiencia severa, zona de ajuste, zona de suficiencia, zona de consumo de lujo y zona de toxicidad. En relación al Ca y Mg, Bennett (1993) no encontró toxicidad en planta provocada por elevadas concentraciones.

Una alternativa en la evaluación de los requerimientos nutricionales de vegetales con respecto a la concentración de nutrientes es el uso de soluciones nutritivas (hidroponía). La disponibilidad de nutrientes en estas soluciones, se podría asociar a las concentraciones de los nutrientes en la solución del suelo (intensidad), donde se aislaría la variabilidad de otras propiedades edáficas intervinientes en el crecimiento vegetal, ya sea de índole física o química.

Teniendo en cuenta las curvas de respuesta para cada nutriente, durante el siglo XX se formularon soluciones nutritivas aptas para el crecimiento - en condiciones cercanas a las óptimas- de la mayoría de las plantas, tales como las de Hoagland & Arnon (1950), usadas actualmente en forma rutinaria en los estudios de biología vegetal (Miravé et al, 2014). Según Smith et al., (1983), las concentraciones de las soluciones nutritivas más comunes varían entre 32-200 ppm para Ca, equivalente a 1,6-10 mM Ca, y 20 a 49 ppm para Mg, equivalente a 1,6-4 mM Mg. En cultivos extensivos se han realizado algunos ensayos sobre soluciones nutritivas con fines experimentales, donde utilizaron como medio nutritivo la solución Hoagland (Legget & Frere, 1971; Onor et al., 2014).

En base a lo expuesto se plantea como hipótesis de trabajo que se puede ajustar un rango de concentración de Ca y relación Ca/Mg que favorezca el crecimiento vegetativo, concentración foliar de Ca y exportación de Ca en soja y en raigrás. A su vez, se plantea una segunda hipótesis donde se espera encontrar diferencias en el crecimiento vegetativo, concentración foliar de Ca y exportación de Ca en soja y en

raigrás, ante el aumento de la concentración de Ca, manteniendo la relación Ca/Mg, en solución nutritiva.

## **OBJETIVOS**

### **Generales**

Desarrollar tratamientos alternativos para:

- ✓ Generar herramientas para superar problemáticas en suelos acidificados de la Región Pampeana Argentina que afectan la producción agropecuaria
- ✓ Optimizar el manejo para aumentar la producción y calidad de distintos cultivos forrajeros de importancia regional, afectados por la problemática

### **Específicos**

- Verificar la existencia de un rango de concentración de Ca y relación Ca/Mg en solución nutritiva que permita máximos crecimientos vegetativos en soja y raigrás anual.
- Analizar la relación entre la concentración de calcio en solución y el contenido de calcio foliar/exportación de Ca en soja y raigrás anual.
- Comprobar el efecto de la concentración de Ca a una relación fija Ca/Mg en solución sobre el crecimiento vegetativo, concentración foliar y exportación de Ca en soja y raigrás anual.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

En ambiente protegido (invernáculo) se germinaron semillas de soja forrajera de grado VIII y raigrás anual, utilizando speedlings con sustrato inerte (vermiculita). Las plantas de soja, al alcanzar el desarrollo de la primera hoja trifoliolada, fueron trasplantadas individualmente a recipientes de 1 l con solución nutritiva y posteriormente se colocaron 3 plantas por cada recipiente de 20 l que conformaron la unidad experimental. En raigrás, la unidad experimental utilizada consistió en

recipientes de 1 l de capacidad con 3 plantas cada uno. En todos los casos se seleccionaron para el trasplante plántulas homogéneas y sanas. Para la oxigenación de la solución se utilizaron aireadores comerciales.

Se utilizaron sales analíticas para lograr la solución nutritiva de formulación básica general de Legget & Frere (1971), modificada por Fanello (2016). El empleo de dicha solución obedece a la inexistencia de formulación específica para los cultivos motivo de estudio. A los fines de seleccionar la condición óptima de crecimiento de dicha solución base, se modificaron las distintas concentraciones de Ca en cada uno de los tratamientos, manteniendo la concentración de Mg constante, excepto en el TD, donde se duplicaron ambas concentraciones, manteniendo la relación Ca/Mg como la solución de referencia (T5).

Cabe señalar que en dicha formulación la concentración de Ca es 5 mM  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , la de Mg es 2 mM  $\text{MgSO}_4$ , y, en consecuencia, la relación Ca/Mg es de 2,5. Las sales y concentraciones del resto de los nutrientes fueron los siguientes en todos los casos: 2,5 mM  $\text{KNO}_3$ , 1 mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 20  $\mu\text{M}$   $\text{FeNaEDTA}$ , 5  $\mu\text{M}$   $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0,9  $\mu\text{M}$   $\text{MnCl}_2$ , 0,8  $\mu\text{M}$   $\text{ZnCl}_2$ , 0,3  $\mu\text{M}$   $\text{CuSO}_4$  y 0,01  $\mu\text{M}$   $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ .

Los tratamientos consistieron en aplicar diferentes concentraciones de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  a modo de establecer valores por encima y por debajo de la relación en la solución de referencia, sin alcanzar el umbral mínimo en concentración de Ca (0,8 mM Ca) según la bibliografía recopilada.

Resulta importante aclarar que se corrigieron las diferencias de concentración de N entre los tratamientos, utilizando una solución de nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) 0,05 M de pH alrededor de 5,3. Los tratamientos fueron:

- T<sub>1</sub>: 1 mM  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 2 mM  $\text{MgSO}_4$ ; 11 mM  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (relación Ca/Mg 0,5)
- T<sub>5</sub>: 5 mM  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 2 mM  $\text{MgSO}_4$ ; 7 mM  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (relación Ca/Mg 2,5)
- T<sub>9</sub>: 9 mM  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 2 mM  $\text{MgSO}_4$ ; 3 mM  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (relación Ca/Mg 4,5)
- T<sub>12</sub>: 12 mM  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 2 mM  $\text{MgSO}_4$  (relación Ca/Mg 6)
- T<sub>D</sub>: 10 mM  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 4 mM  $\text{MgSO}_4$ ; 2 mM  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (relación Ca/Mg 2,5)

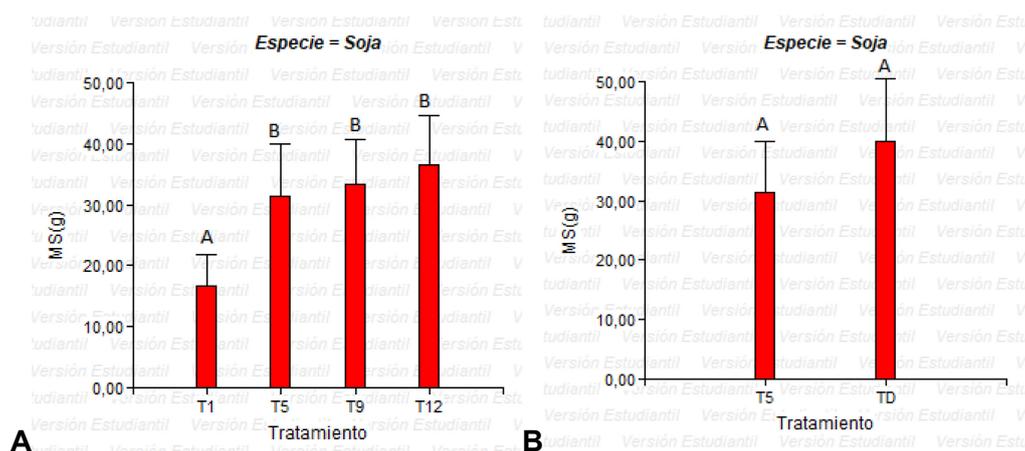
El pH de la solución nutritiva se midió periódicamente y se mantuvo en el rango de 5,0 - 6,5. En soja, el cambio total de la solución se realizó a los 20 días. En el raigrás, el cambio de la solución se realizó luego de cada corte. El volumen de solución fue repuesto periódicamente con agua destilada para evitar desbalances en la proporción de nutrientes. En el caso de la soja, las plantas fueron sostenidas en la tapa de cada recipiente con goma espuma y se le colocaron tutores utilizando hilos sostenidos desde el techo del invernáculo con el objetivo de mantenerlas erguidas. El ensayo se llevó a cabo mediante un diseño completamente al azar con 3 repeticiones en soja y 5 en raigrás. Se evaluaron en ambos ensayos: peso seco aéreo vegetativo (en soja se realizó 1 corte y en raigrás se realizaron 3) y contenidos de Ca en vegetal foliar mediante digestión ácida en donde el material vegetal previamente secado en estufa se colocó en mufla a 500 °C para su acenización, se solubilizó con ácido clorhídrico, se enrazó con agua destilada a volumen conocido y se midió la concentración mediante quelatometría con EDTA (Kalra, 1998). En raigrás se evaluó la producción total de MS (sumatoria de los tres cortes) y con respecto a los contenidos foliares se comparó el promedio de los cortes. Finalmente, se realizó el producto de ambas variables, calculando la exportación de bases total e individual en cada tratamiento.

Los resultados fueron evaluados estadísticamente por medio de análisis paramétrico de la varianza entre los tratamientos que varían la relación Ca/Mg (T1 a T12) y t-student entre aquellos que poseen la misma relación Ca/Mg (T5 y TD), previa comprobación de supuestos básicos. Posteriormente se realizó una comparación múltiple de Tukey entre los tratamientos que resultaron diferentes estadísticamente utilizando el software Infostat (Di Rienzo, 2015).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Soja**

#### *Producción de MS*



**Figura 1.** Producción de MS expresada en g planta<sup>-1</sup> en relación a los tratamientos. A: Tratamientos con diferente concentración de Ca y relación Ca/Mg. B: Tratamientos con igual relación Ca/Mg y diferente concentración de ambos nutrientes. T1: 1 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 0,5), T5 (referencia): 5 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5), T9: 9 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 4,5); T12: 12 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 6); TD: 10 mM Ca y 4 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ).

Las influencias de las diferentes concentraciones de Ca y relaciones Ca/Mg sobre el crecimiento vegetal de soja se presentan en la **Figura 1A**.

A partir de los resultados obtenidos del análisis de los diferentes tratamientos ante el aumento de Ca en solución, se observó una diferencia estadística significativa, de más del 48%, entre el T1 (1 mM Ca y relación Ca/Mg 0,5), con una media de 16,65 gramos, y los tratamientos T5 (5 mM Ca y relación Ca/Mg 2,5), T9 (9 mM Ca y relación Ca/Mg 4,5) y T12 (12 mM Ca y relación Ca/Mg 6), con valores de media alrededor de 31,33 gramos (ver **Anexo Tabla 1 y Tabla 2**).

A partir de la concentración de 5 mM Ca en solución no hay un aumento significativo en materia seca, aunque se observa una tendencia al aumento de la misma a medida que se incrementa la concentración de Ca. El bajo rendimiento en el T1, podría estar asociado a una deficiencia de Ca y no a un efecto del Mg (Jones, 1991, en Correndo & García, 2012). Una concentración de 1 mM de Ca en solución

(relación Ca/Mg 0,5) no alcanzaría a suplir los requerimientos absolutos/relativos según la demanda del cultivo como menciona Marschner (1995) y Singh et al. (2017). Se puede asociar, a su vez, al mecanismo de absorción del Ca por flujo masal (Arrigo & Conti, 1985; Miravé et al., 2014) donde la soja no podría abastecerse de Ca en bajas concentraciones. La disminución de la concentración de Ca en suelo estaría asociada a la acidificación de suelos (Alvarez & Rubio, 2010; Zubillaga & Ciarlo, 2015), de mayor impacto en especies leguminosas (Gelati & Vázquez, 2008; Azcarate et al., 2012) ya que requieren mayores cantidades de calcio (García & Correndo, 2016).

Barbieri et al. (2015) manifestó el impacto de bajas concentraciones de calcio en suelo, encontrando correlación positiva entre su concentración en suelo y el rendimiento de soja en suelos acidificados de la Región Pampeana, evidenciando la deficiencia en este elemento. Además, algunos autores han encontrado suelos deficientes en Ca en la Región Pampeana evidenciando esta problemática realizando un diagnóstico en base al Ca intercambiable o saturación cálcica (Heredia et al., 2012; Sainz Rozas, et al. 2013, 2014; Dell'Arciprete, 2018). Paralelamente, este comportamiento coincide con Key et al. (1962) quienes concluyeron que siempre que la relación de Ca/Mg sea  $> 1$  en soja, existe una relación óptima para el crecimiento vegetal, es decir, no hay respuestas significativas esperables. Sin embargo, McLean et al., (1983) trabajando en suelos de Ohio, EEUU, no identificaron una relación óptima para el rendimiento de soja. Por otro lado, Hunter (1949) concluyó que siempre que exista una concentración de Ca superior al Mg sería favorable también para la producción de alfalfa, a la vez que Simson et al., (1979), verificaron que dicha situación se produciría en relaciones Ca/Mg comprendidas entre 2,28 y 8,4.

Al realizar un diagnóstico de suficiencia de Ca en soja se podría mencionar que valores de 1 mM Ca (relación Ca/Mg 0,5) serían deficientes para el cultivo según metodologías basadas en la concentración (von Liebig, 1843; Mitscherlich, 1909; Singh et al., 2017), mientras que podría asociarse también esta situación a relaciones Ca/Mg menores a 2,5 según las teorías que se fundamentan en la relación de bases

(Jones, 1991; St. John, 2005). En adición, las relaciones Ca/Mg encontradas que favorecen el crecimiento de soja (iguales o mayores a 2,5) se asemejan a las encontradas por Vázquez & Pagani (2014) las cuales oscilaron entre 3 y 15. Sin embargo, estos autores también destacan que otras experiencias parecerían señalar que la nutrición vegetal con estos elementos obedece a valores absolutos de los mismos, sin atribuirle importancia alguna a las cantidades relativas, al igual que mencionan Zalewska et al. (2008a, 2008b). Subba Rao & Srivastava (2000) combina ambos enfoques ya que propone que los nutrientes se deben aplicar en proporción a la magnitud de la deficiencia de un nutriente particular y la corrección del desequilibrio de nutrientes, ayudando a aprovechar los efectos sinérgicos de la fertilización equilibrada.

Por otro lado, se puede mencionar que las concentraciones de las soluciones nutritivas más comunes, formuladas entre 1,6-10 mM Ca y 1,6-4 mM Mg (Smith et al., 1983), no serían limitantes para el crecimiento de soja según su relación Ca/Mg.

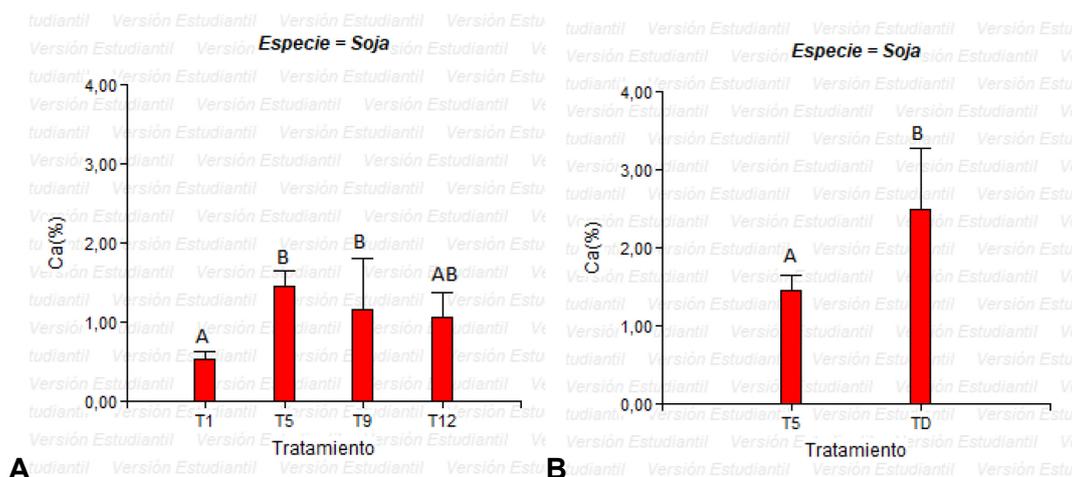
El crecimiento de soja entre los tratamientos con relación Ca/Mg constante se observa en la **Figura 1B**. No se observó una diferencia estadística significativa entre los tratamientos ( $p < 0,05$ , ver **Anexo Tabla 3**). A pesar de duplicar las concentraciones de Ca y Mg, no hubo un aumento significativo de materia seca aunque se observa una tendencia al incremento en el TD.

Como se evidencia en la **Figura 1A** concentraciones de Ca a partir de 5 mM en solución y relación Ca/Mg de 2,5, serían favorable para la producción de MS. En consecuencia, se puede observar que el incremento desde 2 mM a 4 mM de Mg no provoca aumentos en el crecimiento, con igual relación Ca/Mg.

Se puede mencionar que la concentración de ambos elementos alcanzaron a suplir los requerimientos absolutos según la demanda del cultivo como menciona Marschner (1995) y Singh et al. (2017), ya que la relación Ca/Mg se mantuvo constante y en valores semejantes a los encontrados en la bibliografía que no impedirían el crecimiento (Key et al., 1962; Vázquez & Pagani, 2014). Según la "Ley del Mínimo"

(von Liebig, 1843) y la “Ley de Rendimientos Decrecientes” (Mitscherlich, 1909), concentraciones de 5 mM Ca y 2 mM Mg el cultivo se encontraría en zona de suficiencia, donde el aumento en la concentración de ambos nutrientes no provoca incrementos en el rendimiento.

## Calcio foliar



**Figura 2.** Ca foliar expresado en %Ca MS<sup>-1</sup> en relación a los tratamientos. A: Tratamientos con diferente concentración de Ca y relación Ca/Mg. B: Tratamientos con igual relación Ca/Mg y diferente concentración de ambos nutrientes. T1: 1 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 0,5), T5 (referencia): 5 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5), T9: 9 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 4,5); T12: 12 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 6); TD: 10 mM Ca y 4 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (p < 0,05).

En la **Figura 2A** se presentan los contenidos de Ca foliar en relación a los tratamientos con diferente concentración de Ca y relación Ca/Mg. Se observa que hay diferencias estadísticas significativas entre el T1 y los tratamientos T5 y T9 (ver **Anexo Tabla 4**). También, se destaca que el T12 no presenta diferencias estadísticas significativas con ninguno de los tratamientos. Además, puede observarse que a partir de una concentración de 5 mM de Ca con relación Ca/Mg de 2,5 existe una tendencia a la disminución del contenido foliar. Se observó un incremento del 173% de Ca foliar entre el T1 y T5, ya que incrementa de 0,53 %Ca MS<sup>-1</sup> en T1 a 1,45 %Ca MS<sup>-1</sup> en T5 (ver **Anexo Tabla 5**) Estos valores coinciden con los mencionados por Champan & Pratt (1973) quienes indicaron que el calcio total en plantas secas varía entre menos de 0,1% a más de 10% según especie y parte de la planta y, más aún, con Malavolta (1980) quien encontró valores de 1,5% de Ca en plantas de soja. A pesar de que este

último autor realizó sus investigaciones en suelo, el valor encontrado es similar al observado en el tratamiento de referencia (T5).

El menor contenido de Ca en T1 podría asociarse a una deficiencia de este elemento para el crecimiento en soja (von Liebig, 1843; Mitscherlich, 1909; Marschner, 1995; St. John, 2005; Velayutham et al, 2016; Singh et al. 2017), a la vez que algunos autores mencionan que relaciones Ca/Mg menores a 1-2 no serían favorables para los cultivos (Key et al., 1962; Simson et al., 1979). A su vez, Vázquez & Pagani (2014) propusieron que relaciones Ca/Mg por encima de 3 serían favorable para los cultivos, siendo dicho valor cercano al encontrado en este trabajo en el tratamiento T5 (relación Ca/Mg 2,5) a pesar también que destacan que algunas experiencias parecerían señalar que la nutrición vegetal con estos elementos obedece más a valores absolutos de los mismos que a las cantidades relativas, como mencionan también otros autores (Kopittke & Menzies, 2007; Zalewska et al. 2008a, 2008b; Chaganti & Culman, 2017).

La tendencia a la disminución de Ca foliar se observó a concentraciones mayores de 5 mM Ca y relación Ca/Mg 2,5 en la solución nutritiva (**Figura 2A**). Este comportamiento se podría atribuir a un efecto dilución debido a que se observa un incremento, aunque no logra ser estadísticamente significativo, de materia seca a partir de la concentración de 5 mM (**Figura 1A**), asociándose más que a un exceso de Ca o un posible antagonismo con el Mg (Malavolta et al, 1997; en Correndo & García, 2012; Rodríguez, 2004),. Sin embargo, Arrigo & Conti (1985) y Miravé et al. (2014) evidenciaron que el calcio se absorbe mediante flujo masal, es decir, por diferencia de potencial, por ende era esperable, contrariamente a lo sucedido, que a mayor concentración de calcio en solución se incremente su contenido foliar.

Sin embargo, al no encontrarse diferencia significativa, se puede mencionar que a partir de la concentración de referencia (T5, 5 mM Ca y relación Ca/Mg 2,5) se observa una condición favorable en el contenido foliar de Ca, parámetro de calidad en alimentos forrajeros (NRC, 1982; Van Soest et al., 1991; FEDNA, 2016).

Subba Rao & Srivastava (2000) combina ambos enfoques ya que propone que los nutrientes se deben aplicar en proporción a la magnitud de la deficiencia de un nutriente particular y la corrección del desequilibrio de nutrientes ayudando a aprovechar los efectos sinérgicos de la fertilización equilibrada.

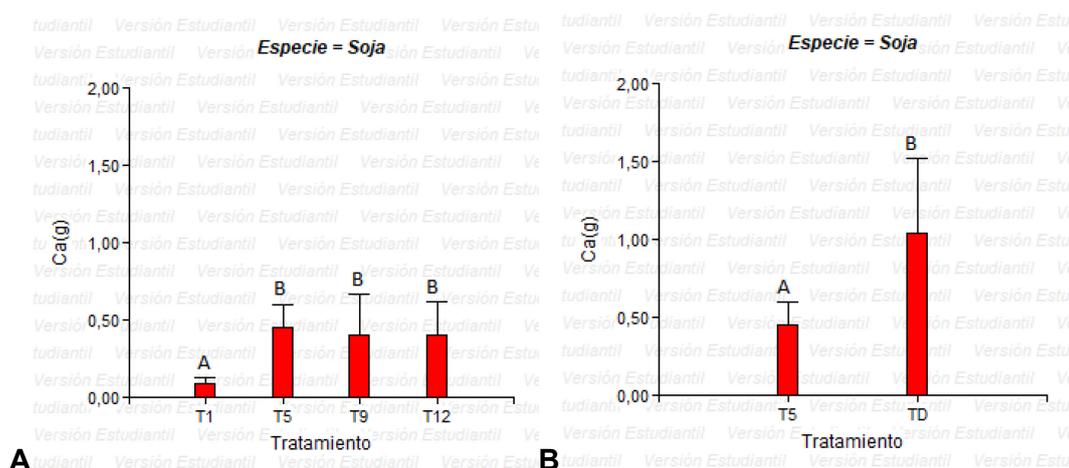
En la **Figura 2B** se presentan los contenidos foliares de Ca en los tratamientos con misma relación Ca/Mg (2,5) y diferente concentración de ambos nutrientes. Se observó que hubo diferencias estadísticas significativas entre el T5 y el TD sobre la concentración de Ca foliar (ver **Anexo tabla 6**), donde el TD alcanza valores superiores a 2%, representando un incremento del 71 % (1,45 %Ca MS<sup>-1</sup> en T5 vs. 2,49 %Ca MS<sup>-1</sup> en TD, ver **Anexo Tabla 7**).

El aumento del contenido foliar de Ca en TD con respecto al T5 se podría asociar a un efecto del aumento en el contenido de Mg en solución, comportamiento análogo a lo observado en MS, aunque sin diferencias estadísticas (**Figura 1B**). **Contenidos de 2 mM de este elemento podría encontrarse debajo de la zona de suficiencia (von Liebig, 1843; Mitscherlich, 1909; Velayutham et al, 2016; Singh et al., 2017)**

La respuesta observada concuerda con Subba Rao & Srivastava (2000), como ya se ha mencionado, quienes combinan ambos enfoques ya que propone que los nutrientes se deben aplicar en proporción a la magnitud de la deficiencia de un nutriente particular y la corrección del desequilibrio de nutrientes ayudando a aprovechar los efectos sinérgicos de la fertilización equilibrada.

Si bien el % Ca aumenta considerablemente, hay que mencionar que la materia seca no presenta diferencias significativas (**Figura 1B**). Por lo tanto, se puede manifestar que existe un incremento en la calidad vegetal sin aumento de la cantidad (NRC, 1982; Van Soest et al., 1991; FEDNA, 2016).

## Exportación de calcio



**Figura 3.** Exportación de Ca de la solución nutritiva, expresado en g planta<sup>-1</sup> en relación a los tratamientos. A: Tratamientos con diferente concentración de Ca y relación Ca/Mg. B: Tratamientos con igual relación Ca/Mg y diferente concentración de ambos nutrientes. T1: 1 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 0,5), T5 (referencia): 5 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5), T9: 9 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 4,5); T12: 12 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 6); TD: 10 mM Ca y 4 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ).

En la **Figura 3A** se evidencia una diferencia estadística significativa entre el T1 y el resto de los tratamientos, donde a partir del T5 inclusive las concentraciones y relaciones de los elementos serían favorables en la disponibilidad de Ca para alimentación animal (Mufarrege 2002, ver **Anexo Tabla 8**). Se observó un incremento del 344 % para el T12 y T9 respectivamente, y de 411 % para el T5, con respecto al T1, que presentó un valor de 0.09 g planta<sup>-1</sup> (ver **Anexo Tabla 9**), a nivel planta. El patrón de respuesta coincide con el observado en las **Figuras 1A y 2A**, donde el T1 presenta menores cantidades que el resto de los tratamientos (T5, T9 y T12), los cuales no presentan diferencia estadística significativa entre ellos. Aun así, se observa una tendencia a la disminución de la exportación de Ca en planta a partir del T5, ajustándose más aún al patrón observado en la **Figura 2A** correspondiendo al % de Ca foliar. Es decir, ponderando las dos variables (producción de MS y % Ca foliar),

ambas impactan del mismo modo en la exportación foliar, aunque se asemeja más aún a la concentración de Ca en vegetal.

El tratamiento con 5 mM Ca y relación Ca/Mg 2,5, en comparación al resto de los tratamientos, presentaría la concentración mínima de Ca y relación Ca/Mg favorable para la mayor exportación de Ca (von Liebig, 1843; Mitscherlich, 1909; Graham, 1959; Jones, 1991; Marschner, 1995; Subba Rao & Srivastava, 2000; St. John, 2005; Kopittke & Menzies, 2007; Vázquez & Pagani, 2014; Obasi et al., 2016; Velayutham et al, 2016; Chaganti & Culman, 2017; Singh et al. 2017).

La exportación de Ca en soja entre los tratamientos que poseen la misma relación Ca/Mg y diferente concentración de dichas bases se presenta en la **Figura 3B**. Se pudo observar una diferencia estadística significativa, entre T5 y TD (ver **Anexo Tabla 10**). Este último incrementó alrededor de 126% la exportación de Ca ( $0,46 \text{ g planta}^{-1}$  vs  $1,04 \text{ g planta}^{-1}$ , ver **Anexo Tabla 11**).

Este hecho no coincide con lo expuesto anteriormente (**Figura 3A**) donde los tratamientos con concentraciones de Ca mayores 5 mM provocaron exportaciones similares de Ca por planta. Las cantidades exportadas por el tratamiento TD ( $1,04 \text{ g planta}^{-1}$ , 10 mM Ca y 4 mM Mg) son mayores que los exportados por el tratamiento T9 ( $0,40 \text{ g planta}^{-1}$ , 9 mM Ca y 2 mM Mg). Este hecho discrepa de la teoría de un antagonismo entre estos elementos (Malavolta et al, 1997; en Correndo & García, 2012; Rodríguez, 2004). Aun así, al aumentar la concentración de Mg en solución de 2 mM (T5) a 4 mM (TD) favorecen la absorción de Ca, pero mantienen constante la producción de MS, por lo tanto se evidencia un consumo de lujo de la planta (Jones, 1991) o aumento de la calidad en bases del alimento (NRC, 1982; Van Soest et al., 1991; FEDNA, 2016) sin lograr perjuicios de toxicidad por Ca (Bennett, 1993).

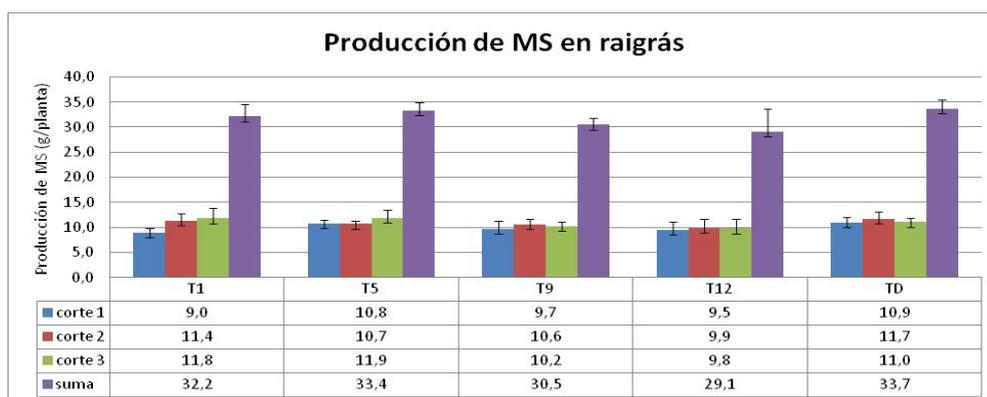
Con respecto a las variables causales de la exportación (producción de MS en **Figura 1B** y concentración foliar en **Figura 2B**), se puede asociar a la concentración de este elemento en vegetal, donde hubo diferencias significativas, más que a la producción de MS, que no varió entre tratamientos.

Concentraciones de 10 mM de Ca en solución, con relación Ca/Mg de 2,5, permitiría aumentar la exportación de Ca en soja, en cantidades superiores a las exportadas en relaciones Ca/Mg mayores (1,04 g planta<sup>-1</sup> vs. 0,40 g planta<sup>-1</sup>). El incremento sólo en la concentración de Ca no aumentó la exportación foliar. Sólo se evidenció incremento cuando se mantuvo la relación Ca/Mg. Podríamos explicarlo por: el incremento de Mg en solución o la relación Ca/Mg. Algunos autores manifiestan que si existe cantidades iguales o mayores de Ca que de Mg, la relación Ca/Mg no influiría en el desempeño del vegetal mientras que otros le restan importancia en general (Key et al., 1962; McLean et al., 1983; Kopittke & Menzies, 2007; Chaganti & Culman, 2017). Sin embargo, si analizamos la **Figura 3A** y **3B** se observa que es más importante mantener la relación (Ca/Mg 2,5) que incrementar sólo el Ca en solución, variando las relaciones.

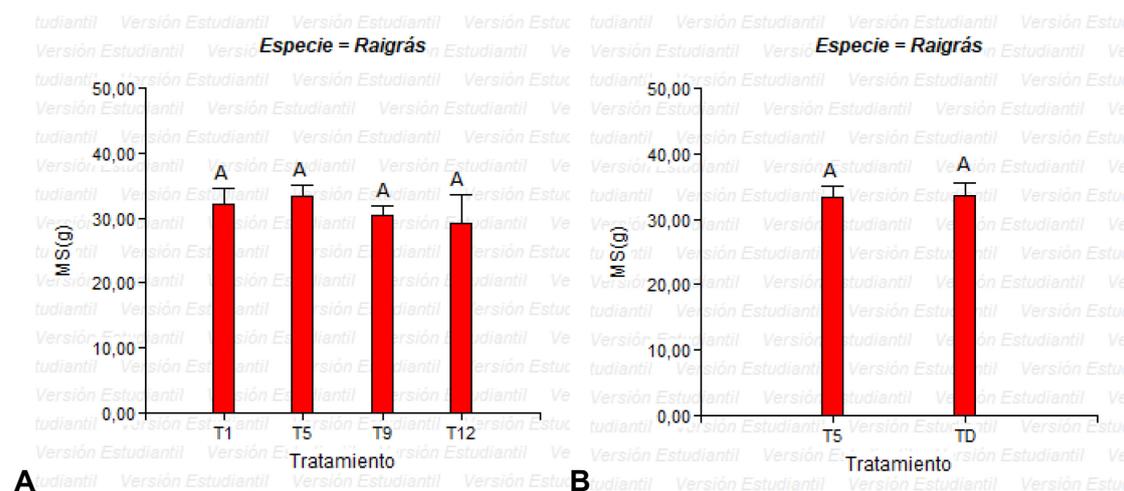
## Raigrás

### Producción de MS

El crecimiento del raigrás anual en los tres cortes y la sumatoria de ellos se presenta en la **Figura 4**.



**Figura 4.** Producción de MS de raigrás expresada en g planta<sup>-1</sup> en relación a los tratamientos, cortes y sumatoria de los cortes. T1: 1 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 0,5), T5 (referencia): 5 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5), T9: 9 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 4,5); T12: 12 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 6); TD: 10 mM Ca y 4 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5). 1 corte: barra roja, 2 corte: barra azul, 3 corte: barra amarilla y suma de los cortes: barra verde.



**Figura 5.** Producción de MS expresada en g planta<sup>-1</sup> en relación a los tratamientos. A: Tratamientos con diferente concentración de Ca y relación Ca/Mg. B: Tratamientos con igual relación Ca/Mg y diferente concentración de ambos nutrientes. T1: 1 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 0,5), T5 (referencia): 5 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5), T9: 9 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 4,5); T12: 12 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 6); TD: 10 mM Ca y 4 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ).

Las influencias de las diferentes concentraciones de Ca y relaciones Ca/Mg sobre el crecimiento vegetal de raigrás se presentan en la **Figura 5A**.

A partir de los resultados obtenidos del análisis de los diferentes tratamientos ante el aumento de Ca en solución, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (**ver Anexo Tabla 12**). Los resultados obtenidos para los distintos tratamientos arrojaron valores de materia seca entre 29,14 y 33,36 g planta<sup>-1</sup> (**ver Anexo Tabla 13**).

No se observó deficiencia de Ca como sucedió en soja (**Figura 1A**). La tolerancia del raigrás a las menores concentraciones de Ca se pueden deber a su menor requerimiento con respecto a las leguminosas (García & Correndo, 2016) entre otras cuestiones que provocan que sean más susceptibles a la escasez de bases (Gelati & Vázquez, 2008). A su vez, encontrar situaciones ideales en un amplio rango de relaciones Ca/Mg es esperable según numerosos autores (Kopittke & Menzies 2007,

Chaganti & Culman, 2017). La concentración de 1 mM de Ca en solución alcanzó a suplir los requerimientos absolutos/relativos según la demanda del cultivo como menciona Marschner (1995) y Singh et al. (2017). Según Ascon Bieto (2008) el raigrás posee diferentes mecanismo de absorción de Ca. El primero, que se denominó de tipo I, sería capaz de extraer Ca del suelo en concentraciones muy bajas y sería saturable. El segundo que funcionaría con concentraciones de Ca altas, se denominó de tipo II. El mecanismo de transporte iónico tipo I podría estar mediado por proteínas de membrana que tendrían una relación de especificidad por los iones similar a la que existe entre una enzima y el sustrato. Las proteínas de transporte catalizan el tránsito de los iones de un lado a otro de las membranas. Estas proteínas son llamadas carriers y su actividad se relacionó con el transporte activo. El mecanismo tipo II, mucho menos específico y más dependiente de la concentración externa, se asoció al transporte pasivo.

La capacidad de mantener la producción de biomasa ante diferentes condiciones es un atributo importante en raigrás, ya que su principal función dentro de un sistema ganadero es generar materia seca, fundamentalmente en períodos invernales, más que aportar calidad nutricional en comparación a las leguminosas (Jauhar, 1993; Fernandez Grecco, 2000; Zanoniani, 2000; Echenique et al., 2008; Scheneiter, 2014). El raigrás no se vería afectado ante la disminución de la concentración de Ca en suelo debido a la disminución en concentración de Ca y alteración relación de bases en el suelo debido a la acidificación de suelos (Alvarez & Rubio, 2010; Zubillaga & Ciarlo, 2015), donde autores han encontrado suelos deficientes en Ca en la Región Pampeana (Heredia et al., 2012; Sainz Rozas, et al. 2013, 2014; Dell'Arciprete, 2018).

Al realizar un diagnóstico de suficiencia de Ca en raigrás se podría mencionar que valores de 1 mM Ca serían suficientes para el cultivo según metodologías basadas en la concentración (von Liebig, 1843; Mitscherlich, 1909; Singh et al., 2017), mientras que podría asociarse también esta situación a relaciones Ca/Mg de 0,5 según las teorías que se fundamentan en la relación de bases (Jones, 1991; St. John, 2005). En

adición, las relaciones Ca/Mg encontradas que favorecen el crecimiento de raigrás fueron menores a las encontradas por Vázquez & Pagani (2014) las cuales oscilaron entre 3 y 15. Sin embargo, estos autores también destacan que otras experiencias parecerían señalar que la nutrición vegetal con estos elementos obedece a valores absolutos de los mismos, sin atribuirle importancia alguna a las cantidades relativas como podría haber sucedido en el ensayo. Otros autores también desestimaron la importancia de las relaciones en el crecimiento de los cultivos (Kopittke & Menzies 2007; Zalewska et al., 2008a, 2008b; Chaganti & Culman, 2017).

Por otro lado, se puede mencionar que las concentraciones de las soluciones nutritivas más comunes, formuladas entre 1,6-10 mM Ca y 1,6-4 mM Mg (Smith et al., 1983), no serían limitantes para el crecimiento de raigrás.

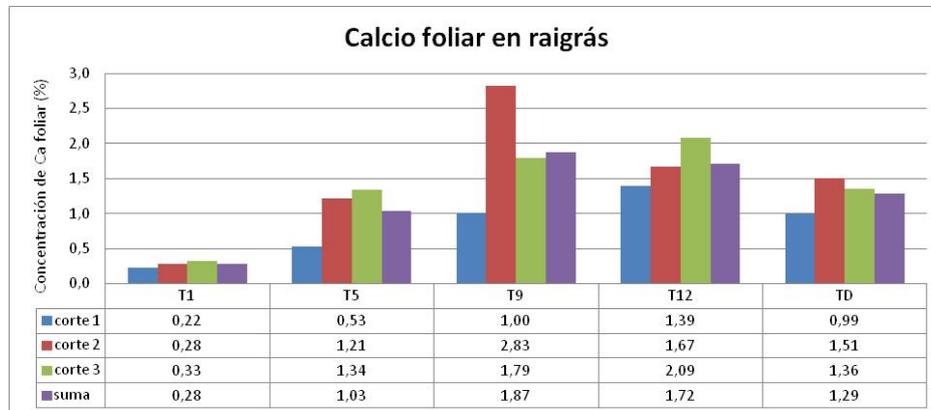
La sumatoria del crecimiento de raigrás entre los tratamientos con relación Ca/Mg constante se observa en la **Figura 5B**. No se determinó una diferencia estadística significativa entre los tratamientos ( $p < 0,05$ , ver **Anexo Tabla 14**). Los valores obtenidos fueron de 33,36 y 33,70 g planta<sup>-1</sup> (ver **Anexo Tabla 15**).

Como se evidencia en la **Figura 5A** concentraciones de Ca de 1 mM en solución, con relación Ca/Mg de 0,5, serían favorable para la producción de MS. En consecuencia, se puede observar que el incremento desde 2 mM a 4 mM de Mg no provoca aumentos en el crecimiento, con igual relación Ca/Mg.

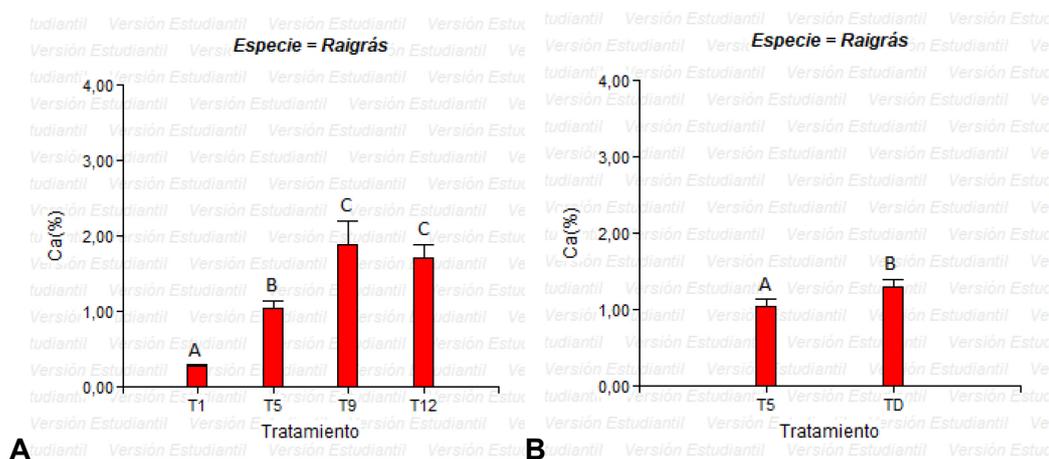
Se puede mencionar que la concentración de ambos elementos alcanzaron a suplir los requerimientos absolutos según la demanda del cultivo como menciona Marschner (1995) y Singh et al. (2017), ya que la relación Ca/Mg se mantuvo constante y algunos autores coinciden que no impediría el crecimiento (Kopittke & Menzies 2007, Chaganti & Culman 2017). Según la “Ley del Mínimo” (von Liebig, 1843) y la “Ley de Rendimientos Decrecientes” (Mitscherlich, 1909), concentraciones de 1 mM Ca y 2 mM Mg el cultivo se encontraría en zona de suficiencia, donde el aumento en la concentración de ambos nutrientes no provoca incrementos en el rendimiento de raigrás.

### Calcio foliar

El contenido foliar de calcio del raigrás anual en los tres cortes y el promedio de ellos se presenta en la **Figura 6**.



**Figura 6.** Ca foliar en raigrás expresado en %Ca MS<sup>-1</sup> en relación a los tratamientos, cortes y sumatoria de los cortes. T1: 1 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 0,5), T5 (referencia): 5 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5), T9: 9 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 4,5); T12: 12 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 6); TD: 10 mM Ca y 4 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5). 1 corte: barra roja, 2 corte: barra azul, 3 corte: barra amarilla y suma de los cortes: barra verde.



**Figura 7.** Ca foliar expresado en %Ca MS<sup>-1</sup> en relación a los tratamientos. A: Tratamientos con diferente concentración de Ca y relación Ca/Mg. B: Tratamientos con igual relación Ca/Mg y diferente concentración de ambos nutrientes. T1: 1 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 0,5), T5 (referencia): 5 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5), T9: 9 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 4,5); T12: 12 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 6); TD: 10 mM Ca y 4 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ).

En la **Figura 7A** se presentan los contenidos de Ca foliar promedio de los tres cortes de raigrás, en relación a los tratamientos con diferente concentración de Ca y relación Ca/Mg. Se observa que hay diferencias estadísticas significativas entre el T1 (1 mM Ca y relación Ca/Mg 0,5) quien obtuvo la menor concentración, el T5 (5 mM Ca y relación Ca/Mg 2,5) con valores medios y los restantes tratamientos, el T9 (9 mM Ca y relación Ca/Mg 4,5) y T12 (12 mM Ca y relación Ca/Mg 6), que alcanzaron los valores más altos y similares entre ellos (ver **Anexo Tabla 16**). Se obtuvieron valores de 0,28% Ca MS<sup>-1</sup> para el T1 y 1,03% Ca MS<sup>-1</sup> para el T5, observándose un incremento del 267% entre estos tratamientos. El T9 produjo un incremento del 81,5% con respecto al T5 (1,03% Ca MS<sup>-1</sup> para el T5 vs. 1,87 % Ca MS<sup>-1</sup> para el T9, ver **Anexo Tabla 17**). Estos valores coinciden con los mencionados por Champan & Pratt (1973) quienes indicaron que el calcio total en plantas secas varía entre menos de 0,1% a más de 10% según especie y parte de la planta y, fueron superiores a los encontrados por (Fajardo Guerrero et al., 1989) quien encontró valores de 1,5% de Ca en plantas de raigrás perenne.

El contenido de Ca en T1, con relación Ca/Mg 0,5, podría asociarse a una situación de suficiencia de este elemento para raigrás (von Liebig, 1843; Mitscherlich, 1909; Marschner, 1995; St. John, 2005; Velayutham et al, 2016; Singh et al. 2017). Sin embargo, la relación Ca/Mg favorable para el contenido de Ca foliar no coincide con Vázquez & Pagani (2014) quienes propusieron que relaciones Ca/Mg por encima de 3 serían favorable para los cultivos. Los mismos autores destacan que experiencias parecerían señalar que la nutrición vegetal con estos elementos obedece a valores absolutos de los mismos más que a las cantidades relativas, como mencionan también otros autores (Kopittke & Menzies, 2007; Zalewska et al. 2008a, 2008b; Chaganti & Culman, 2017). En este sentido, se podría suponer que el raigrás sería tolerante a bajas concentraciones de Ca como también a bajas relaciones Ca/Mg.

El aumento de la concentración foliar de Ca a mayores concentraciones de 1 mM Ca y relación Ca/Mg 2,5 se asociaría a la dinámica de absorción de Ca en raigrás

(Arrigo & Conti, 1985; Ascon Bieto, 2008; Miravé et al., 2014), pudiendo evidenciar un posible antagonismo con el Mg al bajar la relación Ca/Mg como mencionan algunos autores (Malavolta et al, 1997; en Correndo & García, 2012; Rodríguez, 2004). A su vez, como la producción de MS fue similar en los tratamientos, se podría asociar a un consumo de lujo de calcio evidenciado en el aumento del contenido foliar (Jones, 1991).

Concentraciones de 9 mM de Ca y relación Ca/Mg de 4,5 (T9) serían favorables para lograr la máxima concentración de Ca en hojas de raigrás, mientras que en el caso de la soja, este comportamiento se alcanzó con el tratamiento de 5 mM de Ca y relación Ca/Mg de 2,5 (T5). Más aún, en dicha situaciones se observa una concentración de Ca foliar en raigrás similar a las encontradas en soja, parámetro de calidad en alimentos forrajeros (NRC, 1982; Van Soest et al., 1991; FEDNA, 2016). Por tal motivo, podría ser un objetivo el aumento de éste parámetro de calidad en raigrás en fertilización cálcica, aunque su principal objetivo es la producción de materia seca, fundamentalmente en meses invernales (Jauhar, 1993; Fernandez Grecco, 2000; Zanoniani, 2000; Echenique et al., 2008; Scheneiter, 2014).

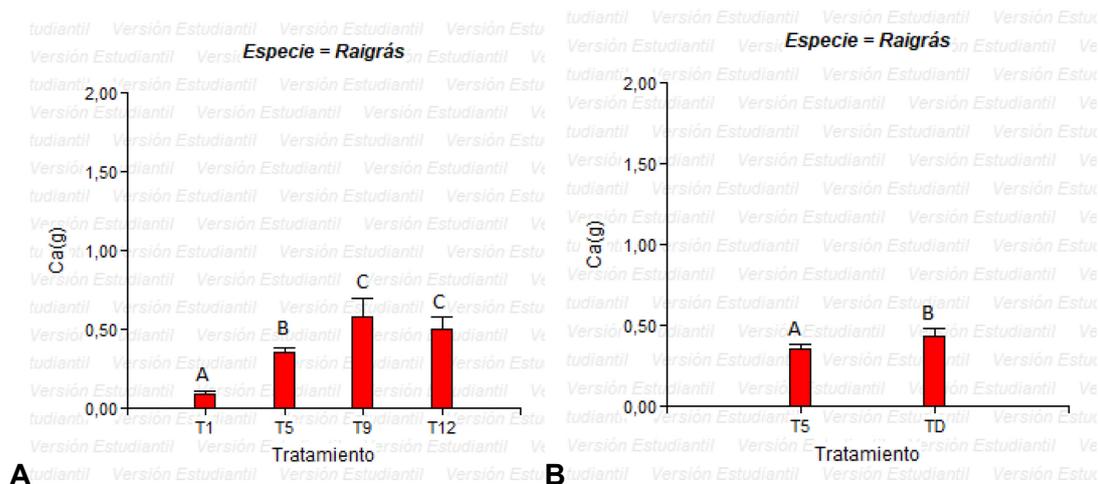
En la **Figura 7B** se presentan los contenidos foliares de Ca en los tratamientos con misma relación Ca/Mg (2,5) y diferente concentración de ambos nutrientes. Se observó que hubo diferencias estadísticas significativas entre el T5 y el TD sobre la concentración de Ca foliar (ver **Anexo Tabla 18**), donde el TD alcanza un incremento del 25% (1,03 % Ca MS<sup>-1</sup> en T5 vs. 1,29 %Ca MS<sup>-1</sup> en TD, ver **Anexo Tabla 19**).

El aumento del contenido foliar de Ca en TD con respecto al T5 se podría asociar a una mayor concentración en solución de Ca como lo sucedido en la **Figura 7A**. Aun así, el valor encontrado en el TD con concentración de 10 mM de Ca y 4 mM de Mg es mucho menor al observado en el T9 con 9 mM de Ca y 2 mM de Mg. La disminución en la absorción de este elemento podría haberse restringido por un mayor contenido de Mg, debido a que algunos autores evidenciaron antagonismos entre estos

elementos (Malavolta et al, 1997; en Correndo & García, 2012; Rodríguez, 2004). Sin embargo, la concentración de Ca a partir del T5 favorece el consumo de lujo (Jones, 1991), como se describió anteriormente que valores de 1 mM Ca serían suficientes para este cultivo (von Liebig, 1843; Mitscherlich, 1909; Jones, 1991; St. John, 2005; Velayutham et al, 2016; Singh et al., 2017) y más se acentúa en el TD donde no se observaron diferencias de crecimiento en MS (**Figura 5B**).

Si bien el % Ca aumenta, hay que considerar que la materia seca no presenta diferencias significativas (**Figura 5B**), por lo tanto, se puede asociar que existe un incremento de calidad en planta en este parámetro sin aumento de la cantidad (NRC, 1982; Van Soest et al., 1991; FEDNA, 2016). De todas maneras, como se mencionó anteriormente, este hecho no resultaría muy importante actualmente, ya que el objetivo de incorporar raigrás en sistemas ganaderos es, principalmente, aumentar la producción de MS (Jauhar, 1993; Fernandez Grecco, 2000; Zanoniani, 2000; Echenique et al., 2008; Scheneiter, 2014).

## Exportación de calcio



**Figura 8.** Exportación de Ca de la solución nutritiva, expresado en  $\text{g.planta}^{-1}$  en relación a los tratamientos. A: Tratamientos con diferente concentración de Ca y relación Ca/Mg. B: Tratamientos con igual relación Ca/Mg y diferente concentración de ambos nutrientes. T1: 1 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 0,5), T5 (referencia): 5 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5), T9: 9 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 4,5); T12: 12 mM Ca y 2 mM Mg (relación Ca/Mg 6); TD: 10 mM Ca y 4 mM Mg (relación Ca/Mg 2,5). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ).

En la **Figura 8A** se observa la exportación de Ca en cada tratamiento con diferente concentración de Ca y relación Ca/Mg. El patrón observado es similar a la concentración de Ca foliar (**Figura 7A**). Se evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre el T1 quien obtuvo la menor exportación de Ca, seguido por el T5 con valores medios y las mayores exportaciones las produjeron los restantes tratamientos (T9 y T12) con valores similares entre sí (ver **Anexo Tabla 20**). Se obtuvieron valores de  $0,09 \text{ g.planta}^{-1}$  para el T1 y  $0,35 \text{ g.planta}^{-1}$  para el T5, observándose un incremento del  $0,26 \text{ g.planta}^{-1}$  entre estos tratamientos, lo que equivale a un incremento en 288%, es decir, cercanos a 3 veces más. A su vez, con respecto al T5, el T9 produjo un incremento del 65,7% ( $0,35 \text{ g.planta}^{-1}$  para el T5 vs.  $0,58 \text{ g.planta}^{-1}$  para el T9, ver **Anexo Tabla 21**). Se observaron incrementos mayores a 5 veces entre el menor y el mayor tratamiento (T1 y T9, respectivamente).

Se evidencia un incremento en la exportación de Ca hasta el T9. Aun así, dicha exportación es debido a la mayor concentración de Ca foliar (**Figura 7A**), más que a la producción de materia seca que no produjo diferencias significativas (**Figura 5A**) evidenciando que en ningún tratamiento hubo restricción al crecimiento de raigrás. Es decir, ponderando las dos variables (producción de MS y % Ca foliar), la que mayor incidencia tiene en la exportación de calcio es la concentración de este elemento en vegetal.

El aumento en la exportación de Ca sería favorable para disponer de mayor cantidad de bases para el consumo animal, siendo éste un parámetro de interés en los alimentos (NRC, 1982; Van Soest et al., 1991; FEDNA, 2016).

El T9 en relación a los otros tratamientos, presentaría la concentración óptima de Ca y relación Ca/Mg favorable para la mayor exportación de Ca (von Liebig, 1843; Mitscherlich, 1909; Graham, 1959; Jones, 1991; Marschner, 1995; Subba Rao & Srivastava, 2000; St. John, 2005; Kopittke & Menzies, 2007; Vázquez & Pagani, 2014; Obasi et al., 2016; Velayutham et al, 2016; Chaganti & Culman, 2017; Singh et al. 2017).

La exportación de Ca entre los tratamientos que poseen la misma relación Ca/Mg y diferente concentración de dichas bases se presenta en la **Figura 8B**. Se pudo observar una diferencia estadística significativa entre los tratamientos (ver **Anexo Tabla 22**), en donde el TD incrementó un 23% la exportación de Ca ( $0,35 \text{ g planta}^{-1}$  vs  $0,43 \text{ g planta}^{-1}$ , ver **Anexo Tabla 23**).

Este hecho coincide con los encontrados anteriormente (**Figura 8A**) donde los tratamientos con mayor concentración de Ca provocaron mayores exportaciones de este elemento por planta. Se puede relacionar también a la dinámica de absorción de Ca en raigrás (Arrigo & Conti, 1985; Ascon Bieto, 2008; Miravé et al., 2014) con un consumo de lujo de este elemento (Jones, 1991) ya que no se evidenciaron diferencias en la producción de MS (**Figura 5B**). Aun así, las cantidades exportadas por el tratamiento TD ( $0,43 \text{ g planta}^{-1}$ , 10 mM Ca y 4 mM Mg) son menores que los

exportados por el tratamiento T9 ( $0,58 \text{ g planta}^{-1}$ ,  $9 \text{ mM Ca}$  y  $2 \text{ mM Mg}$ ), sugiriendo un posible antagonismo entre estos elementos para esta especie (Malavolta et al, 1997; en Correndo & García, 2012; Rodríguez, 2004).

Con respecto a las variables causales de la exportación (producción de MS en **Figura 5B** y concentración foliar en **Figura 7B**), se puede asociar a la concentración de este elemento en vegetal, donde hubo diferencias significativas, más que a la producción de MS, que no varió entre tratamientos.

Concentraciones de  $10 \text{ mM}$  de Ca en solución, con relación Ca/Mg de 2,5, permitiría aumentar la exportación de Ca en raigrás, aunque en cantidades menores a las exportadas por soja en la misma situación ( $0,43 \text{ g planta}^{-1}$  vs.  $1,04 \text{ g planta}^{-1}$ ). Este comportamiento condice con los autores que manifiestan el uso del raigrás con objetivos de aumentar la producción de MS en invierno (Jauhar, 1993; Fernandez Grecco, 2000; Zanoniani, 2000; Echenique et al., 2008; Scheneiter, 2014) y con aquellos que indican que las leguminosas poseen mayores propiedades de calidad nutritiva que las gramíneas (Agnusdei et al., 2001).

## CONCLUSIÓN

Para las situaciones ensayadas, se logró ajustar un rango de concentración de Ca y relación Ca/Mg en solución nutritiva que favorece el crecimiento vegetativo en soja, mientras que no se evidenciaron variaciones en el crecimiento de raigrás anual.

Se pudo encontrar efecto de la concentración de calcio en solución sobre el contenido de calcio foliar y exportación de Ca en soja y en raigrás anual. Las condiciones favorables para ambas especies fueron diferentes.

La concentración de Ca a una relación fija Ca/Mg en solución no produjo incrementos de MS en ninguno de los dos cultivos.

La concentración de Ca a una relación fija Ca/Mg en solución tuvo incidencia sobre el contenido foliar de Ca y la exportación de este nutriente en ambos cultivos.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Agnusdei, M., Colabelli, M. & R. Fernández Grecco.** 2001. Crecimiento estacional de forrajes de pasturas y pastizales naturales para el sudeste bonaerense. Balcarce: Boletín técnico INTA Balcarce, UNMdP y AACREA.
- Aitken, R.L. & B.J. Scott.** 1999. Magnesium. p. 255–262, In K.I. Peverill et al. (ed.) Soil analysis: An interpretation manual. CSIRO Publ., Melbourne, Australia.
- Álvarez C. & G. Rubio.** 2010. Acidez, parámetros efectos sobre los cultivos y manejo. En: R Álvarez et al (Eds) Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la Región Pampeana. pp. 59-74.
- Anderson, RL & LA Nelson.** 1971. Some problems in the estimation of single nutrient response functions. Inst. Stat. Mimeograph Series 737, Raleigh, NC.
- Arrigo, N. & M. Conti.** 1985. Importancia de los mecanismos de intercepción radical, flujo masal y difusión de Ca, Mg, K y Na en plantas de maíz en suelos pampeanos. Revista de la Facultad de Agronomía, 6(3), pp. 183-188.
- Azcarate P., N. Kloster & G. Pérez Habiaga.** 2012. Reacción del suelo: pH. En: Manual de Fertilidad y Evaluación de Suelos. Alberto Quiroga y Alfredo Bono (editores). Ed. INTA. Anguil. p. 19-24.
- Azcón-Bieto, J. & M. Talón.** 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2da Edición. UBe. McGraw-Hill. Interamericana de España. S.L. 669 pp.
- Barbieri, PA; HE Echeverría; HR Sainz Rozas & JP Martinez.** 2015. Soybean and wheat response to lime in no-till Argentinean mollisols. Soil & Tillage Research 152: 29–38.
- Bennett, WF.** 1993. Plant Nutrient Utilization and Diagnostic Plant Symptoms. En: Bennett W.F. 1993. Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop Plants. 1st Edition. APS Press. Minnesota. USA: 1-7.

- Birgi, J.** 2015. Producción hidropónica de Hortalizas de Hoja. Santa Cruz: INTA ediciones.
- Black, CA.** 1993. Soil fertility evaluation and control. CRC Press, Boca Raton, FL. 375–382 pp.
- Blanco, L.** 2014. Sistema Nacional de Diagnóstico, Planificación, Seguimiento y Prospección Forrajero en Sistemas Ganaderos. Disponible en: <http://produccionforrajes.org.ar>. Último acceso: junio de 2017.
- Blount, A., Wright, D., Sprenkel, R., Hewitt, T. & R. Myer.** 2002.. Forage soybeans for grazing, hay and silage. SS-Agr-180. Agronomy Department, Florida Coop. Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AG/AG18400.pdf> Último acceso: junio de 2017.
- Bruce, R.C.** 1999. Calcium. p. 247–254. In K.I. Peverill et al (ed.) Soil analysis: An interpretation manual. CSIRO Publ., Melbourne, Australia.
- Curtis, H., Barnes, N., Schnek, A. & A. Massarini.** 2008. Biología. Séptima edición ed. España: Panamericana.
- Canfalone, Adriana.** 2002. Crecimiento de soja en funcion de la temperatura del aire y de la radiacion fotosinteticamente activa en: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/475>. Último acceso: Agosto 2018.
- Chaganti, VN & SW Culman.** 2017. Historical Perspective of Soil Balancing Theory and Identifying Knowledge Gaps: A Review. Crop Forage Turfgrass Manage 3: 1-7.
- Correndo, A & F García.** 2012. Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico. Archivo Agronómico IPNI 14: 1-8
- Dell’Arciprete, S.** 2018. Huella mineral de los nutrientes basicos de la actividad agrícola en suelos bonaerenses. La Plata (Bueno Aires): Tesis de grado. Universidad Nacional de La Plata.

- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W.** 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>. Último acceso: octubre de 2018.
- Echenique, V., Pessino, S., Díaz, M., Selva, J., Luciani, G., Zappacosta, D., Cervigni, G., Meier, M., Garbus, I., Cardone, S., Miranda, R. & G. Spangenberg.** 2008. Aportes de la biotecnología al mejoramiento del pasto llorón (*Eragrostis curvula*). Rev. Arg. Prod. Anim., Issue 28, pp. 147-164.
- Eckert, DJ.** 1987. Soil test interpretations: Basic cation saturation ratios and sufficiency levels. In: Soil testing: Sampling, correlation, calibration and interpretation. SSSA Spec. Publ. 21. SSSA, Madison, WI: 53–64.
- Fanello, D.** 2016. Cambios estructurales y funcionales en las mitocondrias durante la senescencia de hojas y raíces. La Plata (Buenos Aires): Tesis de doctorado. Universidad Nacional de La Plata.
- FAO.** 2003. Cultivos para heno, leguminosas forrajeras y legumbres. En: J. Suttie, ed. Conservación de Heno y Paja para pequeños productores y en condiciones pastoriles. Roma, Italia: FAO, pp. 93-119.
- Fageria, NK.** 2002. Dry matter yield of common bean, lowland rice, corn, soybean, and wheat at different basic cation saturation ratios in acid soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 33:3-4, 519-531. DOI: 10.1081/CSS-120002761
- Fernandez Grecco, R.** 2000. Promoción de raigrás anual en un pastizal natural de la Pampa Deprimida bonaerense.. Acta Congreso Argentino de Producción Aniamal, Issue 23, pp. 165-166.
- Fajardo Guerrero, I., Del Rocío Muñoz N. R. & H. Benavides Guerrero.** 1989. Efecto de fuentes y niveles de nitrógeno sobre la producción y calidad del pasto raigrás inglés *Lolium Perenne* L., en un Alfisol del departamento de Nariño. Revista de Ciencias Agrícolas 8(11): 20-39.

- FEDNA.** 2016. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Disponible en: <http://www.fundacionfedna.org/tablas-fedna-composicion-alimentos-valor-nutritivo>. Último acceso: junio de 2017.
- García, F. & A. Correndo.** 2016. Cálculo de requerimientos nutricionales. Disponible en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>. Último acceso: octubre de 2018.
- García, F., F. Micucci, F., G. Rubio, M. Ruffo & I. Daverede.** 2002. Fertilización forrajes en la región pampeana. Disponible en: <http://www.wzw.tum.de/public-html/lattanzi/Lit/Garcia%20et%20al%202002.pdf>. Último acceso: octubre de 2018.
- Gelati, P. & M. Vázquez.** 2008. Extracción agrícola de bases en el norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina: costo de su remediación e implicancias económicas. La Plata, Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de la Plata.
- Gentos.** 2006. Algunas Gramíneas y Leguminosas Forrajeras. Sitio de Producción Animal. Disponible en: [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas%20artificiales/40-algunas\\_forrajeras.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/40-algunas_forrajeras.pdf). Último acceso: junio de 2017.
- Gourley, CJP.** 1999. Potassium. In K.I. Peverill et al (ed.) Soil analysis: An interpretation manual. CSIRO Publ., Melbourne, Australia: 229–245.
- Graham, E.** 1959. An explanation of theory and methods of soil testing. Missouri Agric. Ext. Stn. Bull. 734.
- Hoagland, D. & D. Arnon.** 1950. The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experimental Station Circular. University of California, Issue 347, pp. 1-32.
- Hunter, A.S.** 1949. Yield and composition of alfalfa as influenced by variations in the calcium–magnesium ratio. Soil Sci. (67), pp. 53–62.

- InfoStat.** 2011. InfoStat. Software Estadístico. Versión Libre. [En línea] Available at: <http://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=46>  
Último acceso: julio de 2018.
- Jauhar, P.** 1993. Cytogenetics of the Festuca-Lolium complex. Relevance to breeding. Monogr Theor Appl Genet No 18. Springer-Verlag, Berlin.
- Jensen, M., Duhalde, J. & A. Perea.** 2014. Experiencias prácticas sobre ganadería en el territorio Centro Sur de Buenos Aires. Evaluación de soja bajo pastoreo como verdeo de verano en el sur bonaerense [La Dulce Tres Arroyos]. Balcarce, Argentina: Ediciones INTA.
- Jones, JB.** 1991. Plant Tissue Analysis in Micronutrients. En: Mortvedt J.J. (Ed). SSSA Book Series No. 4: Micronutrients in agriculture. SSSA. Madison. Wisconsin. USA : 477-521.
- Kalra, Y.** 1998. Handbook of reference methods for plant analysis. Soil and Plant Analysis Council, Inc. New York: CRC Press.
- Kass, D.** 2007. Nutrientes en las Plantas. En: J. Nuñez, ed. Fertilidad de los Suelos. San José, Costa Rica: EUNED, pp. 2-37.
- Key, JL., LT Kurtz & BB Tucker.** 1962. Influence of ratio of exchange calcium-magnesium on yield and composition of soybeans and corn. Soil Science, 93(4), 265-270.
- Kopittke, P & N Menzies.** 2007. A Review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the "Ideal" Soil. SSSAJ 71(2): 259-265.
- Legget, J. & M. Frere.** 1971. Growth and nutrient uptake by soybean plants in nutrient solutions of graded concentrations. Plant Physiology, 48(4), pp. 457-460.
- Lemaire, G.** 2001. Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. Journal International Grassland Congress, Volumen 19, pp. 29-37.

- Luz, J.** 2007. Soja forrajera ¿una nueva alternativa? GAPP InforTambo. Disponible en: <http://www.infortambo.com/admin/upload/arch/Soja%20forrajera,%20una%20nueva%20alternativa%20-%20J%20Lus.pdf>. Último acceso: junio de 2017.
- Mufarrege, D.** 2002. El calcio en la alimentación del ganado bovino para carne. Disponible en: [http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion\\_mineral/56-calcio-corrientes.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/56-calcio-corrientes.pdf). Ultimo acceso: Octubre de 2018.
- Malavolta, E., G.C. Vitti, y S.A. de Oliveira.** 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: principios e aplicações. 2da Ed.. rev e atual. POTAFOS. Piracicaba-SP. 319 pp.
- Malavolta, E.** 1980. Nutrición mineral de las plantas cultivadas. Ed. Agron. Ceres. Sao Paulo. Brasil. 320 pp.
- Marengo, R., Antezana Vera, S. & H. Nascimento.** 2009. Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species. *Photosynthetica*, Issue 47, pp. 184-190.
- Marschner, H.** 1995. Mineral nutrition of higher plants. Segunda ed. London: Academic Press.
- Martínez Corral, L., Martínez Rubin de Celis, E., Flores García, F., Preciado Rangel, P., Zermeño González, H. & R. Valdez Cepeda.** 2009. Programa de cómputo para el cálculo de soluciones nutritivas. Chapingo. Serie Horticultura, 15(2), pp. 149-153.
- Martínez Fernández, A, De La Roza Delgado, B., Modroño Lozano, S, Cueto Ardavín, M. & A. Argamentería Gutiérrez.** 2010. Cultivos de maíz y soja (puros y asociados) para forraje en la zona litoral centro oriental de Asturias. *Pastos*, 2(40), pp. 175-188.
- McLean, E., Hartwig, R., Eckert, D. & G. Triplett.** 1983. Basic cation saturation ratios as a basis for fertilizing and liming agronomic crops. *Field studies. Agronomy Journey*, 11(75), pp. 635-639.

- Miravé, J., Tognetti, J., Aguirrezábal, L. & S. Assuero.** 2014. Fundamentos de la Nutrición Mineral en Plantas. En: H. Echeverría & F. García, edits. Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Buenos Aires: INTA Ediciones, pp. 131-154.
- Millán, G., M. Vázquez, A. Terminiello & D. Sbuscio.** 2010. Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la Región Pampeana. La Plata, Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de la Plata.
- Mitscherlich, EA.** 1909. Das Gesetz des Minimum und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. Landwirtschaftliche Jahrbücher 38:537-552.
- NRC.** 1982. National Research Council - Subcommittee of Feed Composition United States-Canadian. Tables of Feed Composition. Third edition ed. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Navarro Blaya, S. & G. Navarro García.** 2003. Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2da ed. Madrid: Mundi-Prensa.
- Norris, D. & R. Date.** 1976. Legume bacteriology. Tropical pasture Research: principles and methods , p. 134.
- Obasi, SN; EU Onweremadu; NU Manuemelula & EC Abbah.** 2016. Cations Ratios Distribution in Selected Rice Soils of Ebonyi, Southeastern Nigeria. American Journal of Food Science and Nutrition Research 4(1): 42-49.
- Onor, I., Onor, G. & M. Kambhampati.** 2014. Ecophysiological Effects of Nitrogen on Soybean [Glycine max (L.) Merr.]. Open Journal of Soil Science, Issue 4, pp. 357-365.
- Ramamoorthy, B., RL Narasimham & RS Dinesh.** Fertilizer application for specific yield targets on Sonora 64 (wheat). Indian Farming 17: 43-45.
- Ramírez-Bahena, M., Peix, A., Velázquez, E. & J. Bedmar.** 2016. Historia de la investigación en la simbiosis leguminosa-bacteria: una perspectiva didáctica. Arbor, 192(779), p. a319.

- Relling, A. & G. Mattioli.** 2002. Fisiología Digestiva y Metabólica de los Rumiantes. Primera ed. La Plata: EDULP.
- Rodríguez, M.** 2004. Elementos esenciales y beneficiosos. Disponible en: <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3133/F13.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Último acceso: septiembre de 2018.
- Romero, L.** 2004. Soja para pastorear. INTA Rafaela Proyecto Regional de Lechería. Campaña Forrajes 2003-2004.. Disponible en: <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/PASTURAS%20CRS/10%20-%20Verdeo%20estival%20soja%20para%20pastorear%202011.pdf> Último acceso: junio de 2017.
- Romero, L.** 2005. Soja para pastoreo. *Producir XXI*, 40(2), pp. 175-188.
- Sainz Rozas, H., Eyherabide, M., & Barbieri, P.** 2014. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? EEA INTA Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Scheneiter, J.** 2014. El raigrás anual en las regiones Pampeana y sur de la Mesopotamia. INTA. Disponible en: [https://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwi9wZT89c7UAhUCg5AKHVzuB-IQFgggMAA&url=http%3A%2F%2Finta.gob.ar%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fscript-tmp-inta-el\\_raigs\\_anual\\_en\\_las\\_regiones\\_pampeana\\_y\\_sur\\_de.pdf&usg=AFQjCNEyzJg6i](https://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwi9wZT89c7UAhUCg5AKHVzuB-IQFgggMAA&url=http%3A%2F%2Finta.gob.ar%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fscript-tmp-inta-el_raigs_anual_en_las_regiones_pampeana_y_sur_de.pdf&usg=AFQjCNEyzJg6i). Último acceso: junio de 2017.
- Simson, C., Corey, R. & M. Sumner.** 1979. Effect of varying Ca:Mg ratios on yield and composition of corn and alfalfa. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.*, Issue 10, pp. 153-162.
- Smith, G., Johnston, C. & I. Cornforth.** 1983. Comparison of nutrient solutions for growth of plants in sand culture. *New Phytologist*, Issue 94, pp. 537-548.
- Singh, M., YV Singh, SK Singh, P Dey, LK Jat & RL Ram.** 2017. Validation of Soil Test and Yield Target based Fertilizer Prescription Model for Rice on Inceptisol of Eastern Zone of Uttar Pradesh, India. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* 6(2): 406-415. DOI: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.045>.

- St. John, RA.** Soil testing methods and basic cation saturation ratios of creeping bentgrass greens. Retrospective Theses and Dissertations. Disponible en: <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2772&context=rtd>. Último acceso. octubre de 2018.
- Steiner, A.** 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, Issue 15, pp. 134-154.
- Subba Rao, A., & Srivastava, S.** 2001. Soil test based fertilizer recommendations for targeted yields of crops. In National Seminar on Soil Testing for Balanced and Integrated Use of Fertilizers and Manures (1999: Indian Institute of Soil Science). All India Coordinated Research Project for Investigations on Soil Test Crop Response Correlation, Indian Institute of Soil Science.
- Sumner, M.** 2000. Diagnóstico de los requerimientos de fertilización de cultivos extensivos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, Issue 44, pp. 8-13.
- Tobía, C. & Villalobos, E.** 2004. Producción y valor nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. *Agronomía Costarricense*, 1(28), pp. 17-25.
- Truog, E.** 1960. Fifty years of soil testing, Proc. Trans 7 th Intl. Congr. Soil Sci. Vol. III Commission IV paper 7:46-53.
- van Lier, E. & M. Regeiro.** 2008. Digestión en Retículo-Rumen. Montevideo, Uruguay: Facultad de Agronomía, Universidad de la República.
- Van Soest, P., Robertson, J. & B. Lewis.** 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dietary Sci.* , Issue 74, pp. 3583-3597.
- Vázquez, M. 2007.** Calcio y Magnesio del suelo. Encalado y enyesado. En Fertilidad de 700 suelos y fertilización de cultivos. Ed. Echeverría H, García F. Argentina, Buenos Aires: 701 INTA, Cap 8: 161-188 p.
- Vázquez, M. & A. Pagani.** 2014. Calcio y magnesio. Manejo de fertilización y enmiendas. En: H. Echeverría & F. García, edits. Fertilizacion de suelos y fertilización de cultivos. Buenos Aires: INTA, pp. 317-350.

- Velayutham, M, R Santhi, A Subba Rao, Y Muralidharudu, & P Dey.** 2016. The 'Law of Optimum' and its Application for Realizing Targeted Yields in India - A Mini-Review. *Electronic International Fertilizer Correspondent (e-ifc)* 44: 12-20.
- Wiederholt, R. & K. Albrecht.** 2007. Soybean. *Forage Research Agronomist*, 5(13).
- Wilson, J. & D. Mertens.** 1995. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. *Crop. Sci*, Issue 35, pp. 251-259.
- Zalewska, M; A Nogalska & J Wierzbowska.** 2008a. Effect Of Basic Cation Saturation Ratios In Soil On Yield Of Annual Ryegrass (*Lolium Multiflorum* L.). *J. Elem.*, 23(1): 95-105. DOI: 10.5601/jelem.2017.22.2.1360.
- Zanoniani, R., Ducamp, F.** 2000. Consideraciones a tener en cuenta en la elección de Verdeos de Invierno. *Revista Cangüe* N° 18.
- Zubillaga, M. & E. Ciarlo.** 2015. Nutrientes Básicos. En: R. Álvarez, ed. *Fertilidad de Suelos y Fertilización en la Región Pampeana*. Buenos Aires: Facultad de Agronomía. UBA, pp. 177-193.

**ANEXO**

**Tabla 1.** ANOVA en base a la producción de MS en soja para tratamientos con distinta relación Ca/Mg.

Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| MS(g)    | 24 | 0,56           | 0,49              | 25,15 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC      | gl | CM     | F    | p-valor |
|-------------|---------|----|--------|------|---------|
| Modelo.     | 1393,52 | 3  | 464,51 | 8,46 | 0,0008  |
| Tratamiento | 1393,52 | 3  | 464,51 | 8,46 | 0,0008  |
| Error       | 1098,64 | 20 | 54,93  |      |         |
| Total       | 2492,15 | 23 |        |      |         |

**Tabla 2.** Tukey para cálculo de MS en soja para tratamientos con distinta relación Ca/Mg.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=11,97690

Error: 54,9318 gl: 20

| Tratamiento | Medias | n | E.E. |   |
|-------------|--------|---|------|---|
| T1          | 16,65  | 6 | 3,03 | A |
| T5          | 31,33  | 6 | 3,03 | B |
| T9          | 33,43  | 6 | 3,03 | B |
| T12         | 36,45  | 6 | 3,03 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 3.** ANOVA en base a la producción de MS en soja para tratamientos con misma relación Ca/Mg y el doble de concentración de ambos elementos.

Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| MS(g)    | 12 | 0,20           | 0,12              | 26,74 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC      | gl | CM     | F    | p-valor |
|-------------|---------|----|--------|------|---------|
| Modelo.     | 225,33  | 1  | 225,33 | 2,48 | 0,1466  |
| Tratamiento | 225,33  | 1  | 225,33 | 2,48 | 0,1466  |
| Error       | 909,85  | 10 | 90,99  |      |         |
| Total       | 1135,19 | 11 |        |      |         |

**Tabla 4.** ANOVA en base al % de Ca foliar en soja para tratamientos con distinta relación Ca/Mg.

Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Ca(%)    | 24 | 0,48           | 0,40              | 36,27 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC   | gl | CM   | F    | p-valor |
|-------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo.     | 2,65 | 3  | 0,88 | 6,15 | 0,0039  |
| Tratamiento | 2,65 | 3  | 0,88 | 6,15 | 0,0039  |
| Error       | 2,87 | 20 | 0,14 |      |         |
| Total       | 5,51 | 23 |      |      |         |

**Tabla 5.** Tukey para %Ca foliar en soja para tratamientos con distinta relación Ca/Mg.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,61187

Error: 0,1434 gl: 20

Tratamiento Mediasn E.E.

T1 0,53 6 0,15 A

T12 1,05 6 0,15 A B

T9 1,15 6 0,15 B

T5 1,45 6 0,15 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 6.** ANOVA en base al % de Ca foliar en soja para tratamientos con misma relación Ca/Mg y el doble de concentración de ambos elementos.

Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Ca(%)    | 12 | 0,50           | 0,45              | 29,08 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC   | gl | CM   | F     | p-valor |
|-------------|------|----|------|-------|---------|
| Modelo.     | 3,28 | 1  | 3,28 | 10,02 | 0,0101  |
| Tratamiento | 3,28 | 1  | 3,28 | 10,02 | 0,0101  |
| Error       | 3,28 | 10 | 0,33 |       |         |
| Total       | 6,56 | 11 |      |       |         |

**Tabla 7.** Tukey en base al %Ca en soja para tratamientos con misma relación Ca/Mg y el doble de concentración de ambos elementos.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,73626

Error: 0,3276 gl: 10

Tratamiento Medias n E.E.

T5 1,45 6 0,23 A

TD 2,49 6 0,23 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 8.** ANOVA en base a la exportación de Ca en soja para tratamientos con distinta relación Ca/Mg.

Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Ca(g)    | 24 | 0,42           | 0,33              | 55,39 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC   | gl | CM   | F    | p-valor |
|-------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo.     | 0,50 | 3  | 0,17 | 4,78 | 0,0114  |
| Tratamiento | 0,50 | 3  | 0,17 | 4,78 | 0,0114  |
| Error       | 0,70 | 20 | 0,03 |      |         |
| Total       | 1,20 | 23 |      |      |         |

**Tabla 9.** Tukey en base a la exportación de Ca en soja para tratamientos con distinta relación Ca/Mg.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,30171

Error: 0,0349 gl: 20

| Tratamiento | Mediasn | E.E.   |   |
|-------------|---------|--------|---|
| T1          | 0,09    | 6 0,08 | A |
| T12         | 0,40    | 6 0,08 | B |
| T9          | 0,40    | 6 0,08 | B |
| T5          | 0,46    | 6 0,08 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 10.** ANOVA en base a la exportación de Ca en soja para tratamientos con misma relación Ca/Mg y el doble de concentración de ambos elementos.

Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Ca(g)    | 12 | 0,45           | 0,39              | 47,45 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC   | gl | CM   | F    | p-valor |
|-------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo.     | 1,02 | 1  | 1,02 | 8,14 | 0,0172  |
| Tratamiento | 1,02 | 1  | 1,02 | 8,14 | 0,0172  |
| Error       | 1,26 | 10 | 0,13 |      |         |
| Total       | 2,28 | 11 |      |      |         |

**Tabla 11.** Tukey en base a la exportación de Ca en soja para tratamientos con misma relación Ca/Mg y el doble de concentración de ambos elementos.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,45645

Error: 0,1259 gl: 10

Tratamiento Medias n E.E.

T5 0,466 0,14 A

TD 1,046 0,14 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 12.** ANOVA en base a la producción de MS de raigrás para tratamientos con distinta relación de Ca/Mg.

Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| MS(g)    | 20 | 0,30           | 0,16              | 8,84 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC     | gl | CM    | F    | p-valor |
|-------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo.     | 51,62  | 3  | 17,21 | 2,25 | 0,1221  |
| Tratamiento | 51,62  | 3  | 17,21 | 2,25 | 0,1221  |
| Error       | 122,45 | 16 | 7,65  |      |         |
| Total       | 174,07 | 19 |       |      |         |

**Tabla 13.** Tukey en base a la producción de MS en raigrás para tratamientos con distinta relación de Ca/Mg.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,00580

Error: 7,6533 gl: 16

Tratamiento Medias n E.E.

T12 29,14 5 1,24 A

T9 30,50 5 1,24 A

T1 32,18 5 1,24 A

T5 33,36 5 1,24 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 14.** ANOVA en base a la producción de MS para tratamientos con misma relación y el doble de concentración de ambos elementos.

Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| MS(g)    | 10 | 0,01           | 0,00              | 5,08 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC    | gl | CM   | F    | p-valor |
|-------------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo.     | 0,29  | 1  | 0,29 | 0,10 | 0,7604  |
| Tratamiento | 0,29  | 1  | 0,29 | 0,10 | 0,7604  |
| Error       | 23,21 | 8  | 2,90 |      |         |
| Total       | 23,50 | 9  |      |      |         |

**Tabla 15.** Tukey para cálculo de MS en raigras para tratamientos con distinta relación Ca/Mg.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,48428

Error: 2,9015 gl: 8

Tratamiento Medias n E.E.

T5 33,36 5 0,76 A

TD 33,70 5 0,76 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 16.** ANOVA en base al % de Ca foliar en raigrás para tratamientos con distinta relación Ca/Mg.

Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Ca(%)    | 20 | 0,93           | 0,92              | 15,65 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC   | gl | CM   | F     | p-valor |
|-------------|------|----|------|-------|---------|
| Modelo.     | 8,00 | 3  | 2,67 | 72,65 | <0,0001 |
| Tratamiento | 8,00 | 3  | 2,67 | 72,65 | <0,0001 |
| Error       | 0,59 | 16 | 0,04 |       |         |
| Total       | 8,59 | 19 |      |       |         |

**Tabla 17.** Tukey en base al %Ca foliar en raigrás para tratamientos con distinta relación de Ca/Mg.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,34672

Error: 0,0367 gl: 16

| Tratamiento | Medias | n    | E.E. |  |
|-------------|--------|------|------|--|
| T1          | 0,28 5 | 0,09 | A    |  |
| T5          | 1,03 5 | 0,09 | B    |  |
| T12         | 1,72 5 | 0,09 | C    |  |
| T9          | 1,87 5 | 0,09 | C    |  |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 18.** ANOVA en base al % de Ca foliar para tratamientos con igual relación Ca/Mg y el doble de concentración de ambos elementos.

Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| Ca(%)    | 10 | 0,64           | 0,59              | 9,26 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC   | gl | CM   | F     | p-valor |
|-------------|------|----|------|-------|---------|
| Modelo.     | 0,16 | 1  | 0,16 | 14,11 | 0,0056  |
| Tratamiento | 0,16 | 1  | 0,16 | 14,11 | 0,0056  |
| Error       | 0,09 | 8  | 0,01 |       |         |
| Total       | 0,25 | 9  |      |       |         |

**Tabla 19.** Tukey en base al %Ca foliar en raigrás para tratamientos con misma relación Ca/Mg y el doble de concentración de ambos elementos.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,15644

Error: 0,0115 gl: 8

Tratamiento Medias n E.E.

T5 1,03 5 0,05 A

TD 1,29 5 0,05 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 20.** ANOVA en base a la exportación de Ca en raigrás para tratamientos con distinta relación Ca/Mg.

Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Ca(g)    | 20 | 0,89           | 0,87              | 19,40 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC   | gl | CM   | F     | p-valor |
|-------------|------|----|------|-------|---------|
| Modelo.     | 0,69 | 3  | 0,23 | 42,53 | <0,0001 |
| Tratamiento | 0,69 | 3  | 0,23 | 42,53 | <0,0001 |
| Error       | 0,09 | 16 | 0,01 |       |         |
| Total       | 0,78 | 19 |      |       |         |

**Tabla 21.** Tukey en base a la exportación de Ca en raigrás para tratamientos con misma relación Ca/Mg y el doble de concentración de ambos elementos.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,13308

Error: 0,0054 gl: 16

| Tratamiento | Medias | n | E.E. |   |
|-------------|--------|---|------|---|
| T1          | 0,09   | 5 | 0,03 | A |
| T5          | 0,35   | 5 | 0,03 | B |
| T12         | 0,50   | 5 | 0,03 | C |
| T9          | 0,58   | 5 | 0,03 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 22.** ANOVA en base a la exportación de Ca en raigrás para tratamientos con misma relación Ca/Mg y el doble de concentración de ambos elementos.

Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Ca(g)    | 10 | 0,55           | 0,49              | 11,20 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC   | gl | CM      | F    | p-valor |
|-------------|------|----|---------|------|---------|
| Modelo.     | 0,02 | 1  | 0,02    | 9,64 | 0,0146  |
| Tratamiento | 0,02 | 1  | 0,02    | 9,64 | 0,0146  |
| Error       | 0,02 | 8  | 1,9E-03 |      |         |
| Total       | 0,03 | 9  |         |      |         |

**Tabla 23.** Tukey para la exportación de Ca en raigrás para tratamientos con misma relación Ca/Mg y el doble de concentración de ambos elementos.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06388

Error: 0,0019 gl: 8

Tratamiento Medias n E.E.

T5 0,35 5 0,02 A

TD 0,43 5 0,02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )