

Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

## TRABAJO FINAL

**“Corrección de la acidez en suelos de la Región Pampeana.  
Evaluación de dos dolomitas aperdigonadas desarrolladas en  
relación a producto comercial.”**

Autor 1: Liberati, Juan Manuel;

Número de legajo: 25392/7;

D.N.I.: 32.715.072;

Dirección de correo electrónico: [liberatijuanmanuel@gmail.com](mailto:liberatijuanmanuel@gmail.com);

Autor 2: Polich, Nicolás Guillermo

Número de legajo: 25773/7

D.N.I.: 33.506.109

Dirección de correo electrónico: [nicopolich@hotmail.com](mailto:nicopolich@hotmail.com)

Director: Dra. Vázquez, Mabel

Co-director: Ing. Agr. Millán, Guillermo

Fecha de entrega: 15/5/17

<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Generalidades de los suelos estudiados</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Dinámica de Calcio y Magnesio en el vegetal</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Consecuencias de la acidificación</b>	<b>8</b>
<b>1.4. Corrección de pH en el suelo</b>	<b>10</b>
<b>2. MATERIALES Y METODOS</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Selección de suelos de ensayo</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Evaluación de aspectos químicos y físico químicos de los suelos seleccionados</b>	<b>14</b>
<b>2.3. Conducción de ensayo de invernáculo</b>	<b>15</b>
<b>2.4. Variables evaluadas</b>	<b>16</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>18</b>
<b>3.1. Característica de los suelos seleccionados</b>	<b>18</b>
<b>3.2. Evaluación de los productos correctores</b>	<b>19</b>
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>32</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>34</b>
<b>6. ANEXOS</b>	

## RESUMEN

La acidificación de suelos es el proceso de pérdida de bases/adición de ácidos que genera un consecuente descenso del pH, generando un desequilibrio en el sistema que provoca una progresiva degradación del mismo conllevando a la pérdida de productividad. Si bien se trata de un problema muy difundido en zonas subtropicales/tropicales, viene tomando cada vez más relevancia a nivel mundial, particularmente en zonas templadas. Son varias las causas de esta problemática en las diferentes regiones. En la Región Pampeana argentina de clima templado, la problemática es fundamentalmente de origen antrópica, causada por extracción de bases sin la debida reposición, y el importante aumento de la fertilización nitrogenada de las últimas décadas.

Para la solución de problemas de acidificación se utilizan enmiendas que aportan  $\text{Ca}^{2+}$  (calcio), tal es el caso de la caliza ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), y en algunos casos también  $\text{Mg}^{2+}$  (magnesio), como ser la dolomita formula, a la solución del suelo, logrando mejorar las propiedades físicas y químicas. Estos productos naturales son de baja solubilidad y deben pulverizarse para hacerlos efectivos, pero en esas condiciones sufren de grandes derivas en las aplicaciones. Paralelamente, pueden utilizarse suplementos de mayor solubilidad, entre los que se encuentra el yeso, que, adicionalmente aporta S (azufre), un elemento altamente requerido por las leguminosas, especies donde la práctica del encalado es más requerida, debido a su sensibilidad a la acidez.

El objetivo fue evaluar: dos productos aperdigonados conformados por dolomita, sulfato de calcio (yeso) y una sustancia hidrosoluble en 2 proporciones distintas, en comparación con una dolomita comercial pulverulenta en: propiedades químicas de los suelos relacionadas con la acidez actual y potencial, la dotación básica (calcio, magnesio) absoluta y relativa; la producción de materia seca de planta índice (*Trifolium pratense* cv Reldan); los contenidos  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en el vegetal; la dinámica en profundidad de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ .

Se llevó a cabo un ensayo en invernáculo utilizando muestras de suelos ácidos (pH<6) de diferentes partidos de la provincia de Buenos Aires y La Pampa, cultivando trébol rojo (*Trifolium repens*) en macetas y utilizando tres productos con diferentes dosis, bajo un diseño en bloques completamente al azar con arreglo factorial (tipo de producto y dosis). Se realizaron dos cortes de materia vegetal aérea en dos fechas distintas, llevándolo a peso constante por secado en estufa y dos extracciones de lixiviado en fechas distintas adicionando un volumen de agua igual al 150 % de la capacidad de campo.

En los resultados se observa como partiendo de suelos con diferentes grados de acidez, todos ellos con pH potenciales inferiores a 5, y de texturas variables, se realizaron análisis de diferentes factores como ser dinámica vertical de los productos, materia seca, y contenido de Ca y Mg en la materia seca.

En cuanto a la dinámica vertical de los productos, se evidenció una mayor solubilidad de los productos aperdigonados respecto a la dolomita. En referencia al Ca en el primer lixiviado, con el empleo de la dosis I, en el 50% de los tratamientos, los productos evaluados mostraron valores superiores de masa lixiviada. Al emplear la dosis II se detectaron valores superiores en el 80% de los casos. Esto se debe al mayor aporte de Ca en los productos aperdigonados y también a la disolución más rápida de los mismos debido al efecto del yeso. En el segundo lixiviado los productos aperdigonados mostraron valores superiores en el 50% de los tratamientos, tanto para dosis I como para dosis II. Con respecto al Mg, en el primer lixiviado, en dos casos para la dosis I y en cuatro casos para la dosis II, los productos evaluados superaron en masa lixiviada a la dolomita. En el segundo lixiviado no existieron diferencias significativas en la mayoría de los tratamientos.

Con respecto a la materia seca vegetal del primer corte, la dosis I mostró superioridad de los productos aperdigonados en el 30% de los casos, mientras que en la

dosis II fue del 20%. Para el segundo corte fueron 40% superiores los valores de aperdigonados con la dosis I, y en el 20% para dosis II.

Analizando los incrementos de producción con respecto al testigo los productos desarrollados arrojaron valores de 11 a 270% mientras que la dolomita arrojó valores de 5 a 142% para el primer corte. Y se observaron valores de hasta 400% para productos aperdigonados y de más de 200% para la dolomita en el segundo corte.

En cuanto al contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en vegetal, tomando ambas dosis y ambos cortes, los tratamientos con aperdigonados mostraron mayor masa de  $\text{Ca}^{2+}$  extraída en el 95% de los casos, y mayor masa de  $\text{Mg}^{2+}$  en un 75%.

Con respecto a los tratamientos con aplicación superficial, para  $\text{Ca}^{2+}$  el producto aperdigonado superó a la dolomita en el 90% de los casos, y para  $\text{Mg}^{2+}$  en el 60%.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Generalidades de los suelos estudiados. Origen y dinámica de los elementos básicos.**

El suelo, desde el punto de vista productivo agronómico, es un sistema complejo que le confiere a la vegetación, básicamente, una estructura física para su sostén, y una oferta química que le provee nutrientes útiles para su actividad metabólica y fisiológica. Los componentes que conforman este sistema son, por un lado la materia sólida constituida por el material minerales primarios y secundarios y la materia orgánica con diferentes grados de humificación, y por el otro los poros que contienen aire, agua, iones disueltos, raíces y microorganismos.

La composición química de la solución interna y externa edáficas, según esté o no afectada por la carga de los coloides, están conformadas por cationes y aniones provenientes de fuentes mineralógicas fundamentalmente, pero también participan en el aporte la materia orgánica y la atmósfera por fijación biológica, para N (nitrógeno) en

particular. Por otro lado, los fertilizantes y abonos son fuentes secundarias de estos elementos.

Los suelos argentinos, particularmente los de la Región Pampeana, que es la gran proveedora de productos agropecuarios del país concentrando más del 80% de la producción nacional por las excelentes condiciones de clima y suelo dominantes, se han originado sobre loess de origen sedimentario (eólico), siendo de textura media y fina, estructurados y profundos. El loess pampeano, desde el punto de vista mineralógico es rico en materiales de alta capacidad de meteorización conteniendo importantes cantidades de  $\text{Ca}^{2+}$  (calcio),  $\text{K}^+$  (potasio), y microelementos, a la vez que minerales amorfos de origen volcánico. Estos últimos, son originados especialmente en rocas basálticas y en andesitas. Los componentes más abundantes son plagioclasas, labradorita y andesita, con menores cantidades de oligoclasa y albita. Por otro lado ha heredado minerales secundarios como arcillas principales como illita y montmorillonita, illita; en menor grado caolinita, vermiculitas y cloritas. El loess pertenece al grupo conocido como Formaciones Pampeanas y presenta una coloración amarillo clara a marrón, a veces con un frente rojizo o gris (Teruggi, M.E. 1957).

Es así que los materiales originales y los procesos pedogenéticos que han dado origen a los suelos de la región pampeana le han conferido una importante provisión de bases intercambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ) a los mismos (Conti, M. 2000).

La abundante reserva de  $\text{Ca}^{2+}$  y de otros nutrientes ha facilitado que el rendimiento de los cultivos tengan valores aceptables por muchos años sin considerar una reposición de los mismos mediante un plan de fertilización. Son muy pocos los productores que lo hacen con el objetivo de recuperar la fertilidad química, saldando los balances de nutrientes, y menos aún, en consideración de propiedades físicas del suelo, en un programa sustentable de mediano y largo plazo. La mayoría de los fertilizantes utilizados por los productores son nitrogenados, fosforados y en menor medida azufrados, según

datos recogidos por la CIAFA (Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos 2012). Sin embargo la reposición de bases ha sido prácticamente inexistente. Es a razón de estos constantes balances negativos de nutrientes básicos, fuertemente acrecentados por una tendencia a cambios en el uso de la tierra, consecuencia del incremento de sistemas de engorde a corral de ganado vacuno y de la mayor rentabilidad de la agricultura frente a la ganadería (Rearte, D. 2007) en los últimos años, que han comenzado a verse consecuencias, tanto a nivel nutricional como a nivel físico del suelo.

## **1.2. Dinámica de calcio y magnesio en el vegetal**

El  $\text{Ca}^{2+}$  es absorbido como ion y acumulado por los vegetales, especialmente en las hojas donde se deposita irreversiblemente, cumpliendo diversas funciones. Se trata de un elemento esencial para el crecimiento de meristemas y para el funcionamiento apropiado de los ápices radicales. Es componente de 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 (Echeverría, H. y García F. 2005).

Los vegetales absorben el  $\text{Ca}^{2+}$  como catión divalente y es casi inmóvil dentro de la planta, por ende las deficiencias se observan primeramente en los tejidos jóvenes; puede favorecer la muerte de la yema apical, clorosis y atrofia de hojas jóvenes. Las raíces muestran poco crecimiento. La carencia de  $\text{Ca}^{2+}$  también inhibe la germinación y el crecimiento de tubo polínico.

Con respecto al  $\text{Mg}^{2+}$ , entre sus funciones se puede mencionar su rol de activador de reacciones enzimáticas (cofactor de casi todas las enzimas de la fosforilación), estructural como componente de la molécula de clorofila, mantenimiento de la integridad

de los ribosomas y contribución a la estabilidad estructural de los ácidos nucleicos y membranas.

Así mismo, actúa como activador de la enzima ribulosa-bifosfato-carboxilasa-oxigenasa (Rubisco?) entre otras. Está involucrado en la regulación del pH celular y el balance catión-anión. A diferencia del  $\text{Ca}^{2+}$ , el  $\text{Mg}^{2+}$  es un elemento móvil dentro de la planta, a pesar de que es absorbido como catión divalente. La carencia de  $\text{Mg}^{2+}$  se caracteriza por una clorosis internerval en las hojas viejas, dando lugar a la aparición de otros pigmentos.

### **1.3. Consecuencias de la acidificación**

La acidez del suelo, entre otros mecanismos, se debe a la producción de  $\text{H}^+$  y consecuentes pérdidas de cationes intercambiables que actúan como bases. En el material originario el pH inicial será producto de los cationes presentes, y a medida que son liberados durante la meteorización, en función del clima, la edad, y otros factores formadores, el pH irá en general disminuyendo (Peineman, N. 1998).

El complejo proceso de acidificación de los suelos acontece naturalmente a través de la pérdida de bases por lavado y erosión, con su posterior reemplazo por  $\text{Al}^{3+}$  (aluminio),  $\text{Fe}^{3+}$  (hierro) y  $\text{H}^+$  (hidrógeno) en el complejo de intercambio (Vázquez, M. E. y Rotondaro, R. 2005), o puede suceder por causas antrópicas, donde la actividad productiva es la responsable de este fenómeno, por extracción de bases a través de la cosecha de cultivos, sin reposición de las mismas, o por uso de fertilizantes que favorecen procesos que acidifican.

Los suelos de las zonas húmedas tienen una tendencia natural a incrementar su acidez debido a que a los procesos de lavado de bases se adicionan la extracción por los cultivos y en algunos casos la erosión. Sin embargo, Parisi (1980) señala que los suelos de regiones húmedas presentan una capacidad amortiguadora más elevada que aquellos

de regiones semiáridas, debido a su mayor capacidad de intercambio catiónico y grado de saturación de bases.

La acidificación no sólo acarrea deficiencias de nutrientes básicos, sino que también produce perjuicios como: - reducción de la disponibilidad de P (fósforo) y Mo (molibdeno); - reducción de la actividad de microorganismos responsables de la nitrificación y fijación simbiótica de N; y - toxicidad por  $\text{Al}^{3+}$  (en este caso en situaciones donde el pH es menor a 5,5). Se ha podido comprobar, que una arcilla saturada de  $\text{H}^+$ , producto del reemplazo de iones  $\text{X}^+$  (monovalentes) y  $\text{X}^{2+}$  (divalentes) de los sitios de intercambio, no resulta estable; la red cristalina colapsa y libera  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  (manganeso) y  $\text{Fe}^{3+}$ . Aún en ausencia de colapso, estos iones pasan a la solución del suelo y los sitios de intercambio, aunque a diferentes pH según el elemento considerado. Es por ello que el proceso de acidificación está íntimamente ligado a los iones mencionados, particularmente a la dinámica del Al. La actividad del  $\text{Al}^{3+}$ , en equilibrio con las diferentes formas presentes en el suelo, decrece aproximadamente 1.000 veces por cada unidad de incremento en el valor de pH.

La fitotoxicidad del  $\text{Al}^{3+}$  involucra un efecto deletéreo directo del ion en el crecimiento de las plantas y una reducción de la disponibilidad del P, causado por la precipitación de fosfato de Al. Este elemento es también capaz de inhibir la absorción de  $\text{Ca}^{2+}$ , bloqueando canales en la membrana plasmática y de  $\text{Mg}^{2+}$ , haciendo lo propio con sitios de enlace de las proteínas de transporte (Lindsay, W.L. 1979).

El principal efecto de la disminución del pH edáfico sobre los cultivos es la restricción del desarrollo radical por la cual las raíces reducen el volumen de suelo a explorar y se tornan ineficientes para absorber nutrientes y agua, generando así deficiencias nutricionales en los cultivos. La acidificación también inhibe los procesos microbianos que suministran nutrientes a las plantas (Sadzawka, R.A. y Campillo, R. 1993).

Distintas especies y variedades vegetales muestran diferente susceptibilidad frente a distintos niveles de pH. Así, por ejemplo, las leguminosas que reciben N desde la fijación simbiótica son más sensibles que las que reciben N inorgánico por fertilización. Es conocido que uno de los primeros efectos de la acidificación del suelo se produce sobre la nodulación de las raíces de soja por parte de bacterias fijadoras de N (Gallardo, A.F. y Borie, B. 1999). Por otra parte, en el caso de especies gramíneas se ha estudiado que la reducción de la división celular de la raíz, y por consiguiente su crecimiento, es el proceso fisiológico que primero se afecta a bajo valores de pH. 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 (Pérez Habiaga et al., 2012).

#### **1.4. Corrección del pH en el suelo**

Para tratar esta problemática, se utilizan productos correctores o enmiendas, tales como calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), cal viva o apagada fórmula, yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), entre otros. Estos productos, que contienen  $\text{Ca}^{2+}$  y/o  $\text{Mg}^{2+}$  en distintas proporciones, han dado origen a la práctica denominada encalado.

El agregado de estos productos correctores de la acidez produce la liberación del  $\text{Ca}^{2+}$  y/o  $\text{Mg}^{2+}$  hacia la solución del suelo. Estos elementos liberados entran en equilibrio con las formas intercambiables, dando lugar a que sean absorbidos por las plantas, a que sean utilizados por los microorganismos del suelo en el proceso de humificación, o a perderse por lixiviación hacia las capas freáticas más profundas .

La práctica de encalado eleva el pH, neutralizando los  $\text{H}^+$  del suelo, y produce otros efectos también importantes. Entre ellos, aumento de la estabilidad estructural del suelo; aumento de los iones  $\text{HO}^-$  (oxidrilo); disminución de la solubilidad de los cationes  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  que a determinadas concentraciones pueden ser tóxicos; aumento de la

solubilidad del P, fenómeno denominado “efecto del fósforo extra” (Haygarth, P.M. y Jarvis, S.C. 1999); y estimulación de los microorganismos del suelo; entre otros.

Es importante aclarar que el  $\text{Ca}^{2+}$  proveniente de la disolución de la calcita, o carbonato de calcio, no interviene en las reacciones que conducen a la elevación del pH, sino que pasa a ocupar sitios en el complejo de cambio. El verdadero responsable de la elevación del pH es el carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) que al hidrolizarse produce  $\text{HO}^-$ , y éstos son los que elevan el pH del suelo.

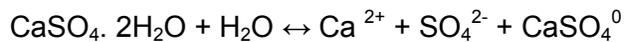
El efecto de la aplicación de estos productos está restringido al lugar donde se la aplica, ya que luego de la hidrólisis el  $\text{CO}_3^{2-}$  se disipa a la atmósfera como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Para lograr mayor eficiencia se debe mezclar los primeros 15 a 20 cm de suelo. Esto, además, colabora en la disolución de los productos.

Debe tenerse en consideración que los carbonatos adolecen de muy baja solubilidad, por lo que deben aplicarse finamente molidos. Este aspecto cobra relevancia en planteos de siembra directa, pues las aplicaciones superficiales deben movilizarse a capas más profundas para ejercer efecto. Esto también debe considerarse cuando se aplican en suelos no muy ácidos donde se dificulta la disolución.

En cuanto al yeso, se trata de un producto mineral abundante en yacimientos naturales, generalmente de origen evaporítico-sedimentario. Puede obtenerse también como subproducto industrial en la fabricación de fertilizantes fosforados (superfosfato triple, fosfatos amónicos) donde la roca fosforada es atacada con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ácido sulfúrico). Si bien se trata de una sal neutra y no modifica inicialmente el pH, el yeso agrícola provee de S (14-18%), elemento muy importante en la nutrición de las plantas, y Ca (17-20%) soluble que mejora la condición físicoquímica de suelos sódicos; como así también suelos ácidos y/o acidificados por el uso agrícola (Torres Duggan et al., 2012).

Otro aspecto a destacar es su mayor solubilidad respecto de los carbonatos. El yeso tiene una solubilidad de  $2,5 \text{ g l}^{-1}$ , mientras que el  $\text{CaCO}_3$ ,  $0,013 \text{ g l}^{-1}$ , a  $25^\circ\text{C}$ . Cuando

se tratan suelos trabajados en siembra directa no existe la posibilidad de mezclar el corrector con el suelo, y las aplicaciones superficiales de carbonatos tienen escasa probabilidad de corregir problemáticas subsuperficiales. La combinación de los mismos con yeso, permiten el aporte de Ca a capas inferiores. La reacción de disolución del yeso es como sigue:



El  $\text{CaSO}_4^0$  sin disociar se puede mover a través del perfil, mientras que el  $\text{Ca}^{2+}$  en solución puede intercambiarse en el complejo de cambio, liberando  $\text{Al}^{3+}$ . Este  $\text{Al}^{3+}$  forma un par iónico con los sulfatos y puede migrar en el perfil, disminuyendo la toxicidad de este elemento en el ambiente radical.

Paralelamente, los cationes adsorbidos ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) intercambiados con el  $\text{Ca}^{2+}$  del yeso agregado, luego también forman pares iónicos con los sulfatos y migrando de esta manera, enriquecen en cationes básicos las capas subsuperficiales.

Farina et al. (2000), Caires et al. (2003) y Vázquez et al. (2008) comprobaron que la aplicación conjunta de caliza y yeso mejora la movilización profunda del Ca, en aplicaciones superficiales de los productos, aún en condiciones moderadamente ácidas.

Resultados de Vázquez et al. (2008) obtenido en columnas de suelo sin disturbar de 20 cm de alto, en un suelo de tipo Hapludol thaptoargico del NO bonaerense, tratado superficialmente con diferentes correctores comprobaron que la migración en profundidad del  $\text{Ca}^{2+}$  aumenta considerablemente en las primeras 5 semanas en los tratamientos con agregado de yeso, respecto a igual dosis de caliza o dolomita. Esto demuestra que el yeso provoca un aporte inicial superior de  $\text{Ca}^{2+}$  en profundidad, lo cual puede ser de sumo interés, por ejemplo para el proceso de nodulación de leguminosas, entre otras cosas.

Si bien se produjeron importantes avances en el diagnóstico y tratamiento de estos tipos de problemáticas, aún persiste el inconveniente de la eficacia de las enmiendas

utilizadas, ya que en la mayor parte de los casos se trata de minerales insolubles (carbonatos), razón por la cual se aplican en forma pulverulenta. Este método de aplicación exige que las condiciones ambientales óptimas se den sólo cuando no haya viento para no generar grandes derivas, y así y todo no se garantiza la ausencia del problema. Cabe aclarar que se entiende por deriva a todo producto que abandona la máquina y no se deposita en el objetivo (en este caso el suelo). La deriva, puede producir una potencial contaminación sobre operarios, de lotes vecinos, fuentes de agua, animales que se encuentren en la proximidad de la aplicación, además de acarrear una pérdida económica al productor.

Este hecho hace necesario desarrollar enmiendas aperdigonadas con sustancias hidrosolubles, que nos permitan encontrarle una solución al método de aplicación actual.

### Hipótesis

El aperdigonado de dolomita pulverulenta con una sustancia hidrosoluble (lignolato de  $\text{Ca}^{2+}$ ) y enriquecimiento con yeso de la partícula, mejora la eficiencia del corrector tanto en el suelo como en la producción vegetal, y paralelamente, reduce problemáticas en la aplicación.

### Objetivos

Analizar comparativamente la eficiencia de distintas dosis de 2 productos aperdigonados para el encalado, en relación a un producto comercial pulverulento sobre:

1. propiedades químicas de los suelos relacionadas con la acidez actual y potencial, la dotación básica de calcio y magnesio absoluta y relativa;
2. la dinámica en profundidad de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ;
3. la producción de materia seca de planta índice (*Trifolium pratense* cv Reldan);
4. los contenidos de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en el vegetal.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

## 2.1. Selección de suelos de ensayo

Se seleccionaron 10 suelos ácidos del ámbito de la región pampeana argentina de las localidades de,,,,,

<i>Carlos Casares</i>	<i>Bolívar</i>	<i>González Moreno</i>	<i>25 de Mayo</i>	<i>Verónica</i>	<i>Los Hornos</i>	<i>Norberto de la Riestra</i>	<i>Lincoln</i>	<i>Bavio</i>	<i>General Belgrano</i>
-----------------------	----------------	------------------------	-------------------	-----------------	-------------------	-------------------------------	----------------	--------------	-------------------------

,,,,,..... . Los criterios considerados para la selección fueron:

- historia de uso intensiva
- características de la dotación cálcica/magnésica del suelo variable
- situación de acidez actual y potencial del suelo
- condiciones texturales variadas

Los suelos se muestrearon de 0-20 cm de profundidad según las siguientes normas:

- IRAM 29481-1 Calidad de suelo. Muestreo. Parte 1: Directivas para el diseño de programas de muestreo.
- IRAM 29481-4 Calidad del suelo. Parte 4: Directivas para muestreo de sitios naturales, poco alterados y cultivados.

Las características generales de los suelos seleccionados se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características generales de los suelos ensayados

## 2.2. Evaluación de aspectos químicos y físicoquímicos de los suelos seleccionados:

Sobre las muestras de los suelos preseleccionados se llevaron a cabo análisis físicos/químicos generales incluyendo determinaciones de textura, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo extractable, sulfatos, capacidad de intercambio catiónica efectiva y cationes intercambiables, pH actual y potencial.

Todas las determinaciones químicas se realizaron según protocolos SAMLA (SAMLA 2004) e IRAM en caso de protocolos normalizados:

- IRAM-SAGPyA 29570-1 Determinación de fósforo extraíble en suelos. Parte 1 - Método Bray Kurtz 1 modificado (Extracción con solución de fluoruro de amonio - ácido clorhídrico).

- IRAM-SAGPyA 29571-2 Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 2 - Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro.

### 2.3. *Conducción de ensayo de invernáculo:*

El ensayo se instaló en condiciones controladas de invernáculo con las siguientes características:

- diseño estadístico en bloques completamente al azar con arreglo factorial:
  - Suelos: 10
  - Tratamientos:
    - 1. Testigo (T)
    - 2. Producto 1 incorporado con dos dosis: baja (P1 I) y alta (P1 II)
    - 3. Producto 2 incorporado con dos dosis: baja (P2 I) y alta (P2 II)
    - 4. Dolomita incorporada con dos dosis: baja (D I) y alta (D II);
    - 5. Producto 1 superficial con dosis alta: (P1 II s)
    - 6. Dolomita superficial con dosis alta: (D II s)
  - Composición de los productos:
    - D: 100% dolomita.
    - P1: 70% dolomita/ 30% yeso.
    - P2: 80% dolomita/ 20% yeso.

Dolomita: CaO 24%; MgO 22%.

Yeso: CaO 32,6%.

- Dosis:
  - **Tabla 2.** Aporte de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  según producto y dosis

- 3 repeticiones/tratamiento
- Unidades experimentales: macetas de 1,5 l de capacidad con 1.000 g de suelo.

De acuerdo al análisis de fósforo extractable se dividió a los suelos en 4 grupos a los que se le aplicó diferentes dosis de fósforo mediante fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) a los fines de que el crecimiento de las plantas no estuviera condicionado por la deficiencia de éste elemento, ya que interactúa negativamente con los correctores y es especialmente requerido por las leguminosas.

**Tabla 3.** Agregado de fósforo según tipo de suelo

Con fecha 22/3/13 se sembraron 50 semillas por maceta de Trébol rojo (*Trifolium repens* cv.Red Land II) previamente inoculados con producto RIBOL, inoculante para trébol (*Rhizobium leguminosarum* *bv trifolii*) con una dosis de 8 g  $\text{kg}^{-1}$  de semilla.

Con fecha 12/4/13 se procedió al raleo de 10 plantas/maceta. Las macetas fueron regadas a 90% de capacidad de campo cada dos días durante todo el ensayo.

**2.4. Variables evaluadas:**

**2.4.1. Suelo:**

- pH actual y potencial (SAMPLA, 2004)
- evaluaciones absolutas de los contenidos de calcio y magnesio intercambiables
- evaluaciones relativas de estos elementos respecto de las bases en su conjunto y relaciones específicas entre las distintas bases
- evaluación de la capacidad de intercambio catiónica efectiva y la saturación básica total (SAMPLA, 2004)

#### 2.4.2. Dinámica vertical de los cationes:

Con fecha 8/9/13 y 15/1/14 se procedió a adicionar respectivamente un volumen de agua igual a 150% de la capacidad de campo a los fines de provocar lixiviación de los cationes nativos y adicionados mediante los productos correctores, con el objetivo de evaluar la solubilidad y movilidad de los mismos. En los lixiviados se analizó el contenido de calcio y magnesio.

#### 2.4.3. Materia Seca:

Se realizaron 2 cortes de material vegetal aéreo con fechas 9/10/13 y 6/1/14. Los mismos se realizaron por sobre el nivel de la corona. El material fue secado hasta constancia de peso a 60°C.

#### 2.4.4. Contenido de $\text{Ca}^{2+}$ y $\text{Mg}^{2+}$ en el vegetal:

El material resultante de cada uno de los cortes se llevó a mufla para realizar acenización a temperaturas de 550 °C, para luego solubilizar con ácido nítrico y hacer determinación por complejometría con EDTA (Jackson, M. 1964). Mediante titulación se obtuvieron los valores de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  correspondientes.

#### Análisis estadístico:

Todos los resultados de las variables evaluadas fueron analizados mediante método paramétricos de la varianza. Confirmadas diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) se procedió a la realización de pruebas de comparación múltiple mediante el método de Tuckey ( $p < 0,05$ ). En el caso de la materia seca total (dos cortes) el análisis de la varianza se hizo mediante arreglos factorial ( $3 \times 3 \times 2$ ), siendo los factores considerados producto, dosis y forma de aplicación. Se realizaron análisis de regresión simples y múltiples entre variables respuesta y variables diagnóstico (INFOSTAT, 2011).

Para realizar el análisis de la relación entre diferentes variables edáficas y el aumento de materia seca vegetal en estudio se realizaron modelos de regresión lineal y múltiple (STATGRAPHICS, 2004).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Características de los suelos seleccionados

Como se observa en la Tabla 1 los valores de pH actual de los suelos estudiados pueden calificarse entre fuertemente a moderadamente ácidos, y los de pH potencial, entre muy fuertemente a fuertemente ácidos (Schoeneberger *et al.*, 2000). Los mismos poseen pH potenciales mayoritariamente inferiores a 5, indicando la potencialidad de mayor acidificación y por ende, se ratifica la necesidad de corrección y su aptitud para la prueba comparativa de los productos desarrollados.

Los rangos de suficiencia relativa de las bases ampliamente aceptados son de 65-85% para el  $\text{Ca}^{2+}$ , 6 a 12% para el  $\text{Mg}^{2+}$  y 2 a 5% para el  $\text{K}^+$ , porcentajes referido al total de bases intercambiables del suelo (Vázquez, M. 2007). Los suelos estudiados poseen una saturación cálcica por debajo o cercana al límite inferior del rango, pero superiores al rango de normalidad para  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  (Fassbender, H.W.1980; Mora, M. y Demanet, R. 1999; Vázquez, M. y Rotondaro, R., 2005).

#### **Tabla 4.** Umbrales críticos orientativos de relaciones entre cationes intercambiables

Si se analizan las relaciones entre los cationes en el complejo de cambio y de acuerdo a umbrales críticos desarrollados por diversos autores (Tabla 4), puede apreciarse en la Tabla 1, que los suelos poseen en general baja relación  $\text{Ca}+\text{Mg}/\text{K}$  y  $\text{Ca}/\text{K}$ . Esta situación es coincidente con lo informado por otros autores para diferentes áreas de la región pampeana (Presutti *et al.*, 2016). Esta situación ocurre debido al elevado contenido de

micas e illitas en la fracción mineral del suelo. Este hecho provocaría deficiencias inducidas de  $\text{Ca}^{2+}$  y de  $\text{Mg}^{2+}$ . En algunos suelos del SE bonaerense, el alto nivel de  $\text{K}^+$  intercambiable interfiere con la absorción de  $\text{Mg}^{2+}$  (Darwich, N. 2006).

El uso de este tipo de índices relativos puede derivar en conclusiones erróneas respecto a la suficiencia de los nutrientes cuando son utilizados como única herramienta de diagnóstico, por lo tanto deberían considerarse como evaluaciones complementarias. Muchos autores, entre ellos Oliveira y Parra (2003) demostraron que la variación de estas relaciones tuvieron poca influencia sobre rendimientos de especies cultivadas, sin embargo existen investigaciones que por el contrario, entre ellas las de Muñoz Hernández y Silveira (1998), Büll et al. (1998), Anjos Reis et al. (1999), Borie et al. (1999), Demanet et al. (1999) y Loide (2004), destacaron la importancia de la saturación particular de los cationes y sus relaciones en el desarrollo de otras especies.

La variabilidad de la condición textural que se refleja en la capacidad de intercambio catiónica y las bases intercambiables, así como el contenido de materia orgánica, asegura un amplio espectro de suelos analizados de manera que las conclusiones que deriven del presente ensayo podrán ser utilizados en forma genérica.

### *3.2. Evaluación de los productos correctores*

#### *3.2.1. Dinámica vertical de los productos*

En las Tablas 5 y 6 se exponen los datos de contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , respectivamente, correspondientes al primer lixiviado, para los diferentes suelos. En las mismas se consignan, además, los resultados del análisis estadístico realizado entre los distintos tratamientos.

**Tabla 5.** Masa de  $\text{Ca}^{2+}$  determinada en el primer lixiviado para los diferentes tratamientos y suelos ensayados.

**Tabla 6.** Masa de  $\text{Mg}^{2+}$  determinada en el primer lixiviado para los diferentes tratamientos y suelos ensayados.

Si se analiza el efecto de los tratamientos con incorporación de los correctores en la masa de suelo (Tabla 5), se observan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos con igual dosis. Para dosis I ( $1.500 \text{ kg ha}^{-1}$ ), en 5 de los 10 casos ambos productos aperdigonados desarrollados mostraron mayor masa de  $\text{Ca}^{2+}$  lixiviada ( $p < 0,05$ ) respecto a la dolomita. Esto respondería a la mayor cantidad de  $\text{Ca}^{2+}$  aportada por los mismos a la vez que mayor solubilidad de dichos productos, debido al aporte de yeso y a su aglutinante (lignosulfonato de Ca). Con un aporte de 11% más de  $\text{Ca}^{2+}$  con P1 y 7% con P2 se verificaron incrementos en la masa lixiviada en el rango de 150% a 900%. En dos casos por lo menos uno de los productos mostró mayor lixiviación, y en 3 suelos no hubo diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). La mayor cantidad aportada y solubilidad también es puesta de manifiesto con la dosis superior (II) ( $3.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ), siendo la masa de  $\text{Ca}^{2+}$  extraída en los tratamientos con los productos evaluados superior a la dolomita en el 80 % de los casos. Esto puede deberse no sólo al mayor aporte de  $\text{Ca}^{2+}$  del sulfato de calcio en los productos, sino también a una disolución más rápida, manifestándose con más evidencia en las dosis mayores. Vázquez et al. (2008) encontraron resultados similares trabajando en un suelo de tipo Hapludol thaptoargico del NO bonaerense, tratado superficialmente con diferentes correctores. Los autores comprobaron que la migración en profundidad del  $\text{Ca}^{2+}$  aumenta considerablemente en los tratamientos con agregado de yeso. Millán et al. (2010) también destacaron la potencial acción solubilizadora que esta sal podría tener sobre los carbonatos contenidos en calizas y dolomitas.

Si se analiza la respuesta de cada producto en relación a las diferentes dosis, se observa que los tratamientos con dolomita no manifestaron diferencias entre ambas dosis excepto un caso (Tablas 5 y 6). Paralelamente, P2 evidenció diferencias a favor de la dosis II en la mitad de los casos ( $p < 0,05$ ), al igual que para P1. Estos resultados se deberían al mayor aporte de  $\text{Ca}^{2+}$  en los productos de síntesis respecto de la dolomita, y la solubilidad de la fuente. A pesar del beneficio de los mencionados productos, algunos efectos secundarios deberían ponerse en análisis. Según Vázquez et al. (2009) dosis elevadas de estos elementos podrían promover la acción cementante ejercida por los carbonatos de calcio y/o magnesio poco solubles, acarreando consecuencias mecánicas negativas para el crecimiento de las plantas.

En la comparación entre P1 y P2, se puede observar que para la mayoría de los suelos no existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en lo que respecta a la dosis I. Con la dosis II en 3 de los 10 casos se observa una mayor masa de  $\text{Ca}^{2+}$  lixiviada para los tratamientos con agregado del P1. De la misma manera, esto se correspondería con su mayor aporte de  $\text{Ca}^{2+}$  (para dosis II es de 569,6 kg en P1 y 551,2 kg en P2) (Tabla 2) y eventual efecto de solubilidad.

En lo que respecta a los correctores aplicados superficialmente (Tabla 5), P1 en la dosis más alta ( $3.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ) superó en el 90% de los casos la masa de  $\text{Ca}^{2+}$  lixiviada en relación a la dolomita ( $p < 0.05$ ), mostrando claramente la mayor solubilidad que aporta el yeso y permitiendo prever su eficacia en planteos de siembra directa. Por otro lado la comparación de los tratamientos de P1 con aplicación superficial con respecto a la aplicación incorporada a la masa de suelo (4 contra 2), arrojó resultados más favorables de este último debido a la mayor profundización del catión, dado el tiempo transcurrido desde aplicación y evaluación del primer lixiviado.

En la Tabla 6 se observan los resultados correspondientes para la masa lixiviada de  $\text{Mg}^{+2}$ . Analizando los tratamientos con correctores incorporados, algunos casos de los

tratamientos con aperdigonados (2 casos con la dosis I y 4 con la dosis II) superaron en masa de  $Mg^{2+}$  lixiviada a los tratamientos con dolomita. La mayor o igual masa lixiviada a pesar del menor aporte de  $Mg^{2+}$  con los productos P1 y P2 (Tabla 2) indicaría una mayor solubilización de la dolomita por efecto de los sulfatos.

No se manifestaron diferencias en la masa de  $Mg^{2+}$  lixiviado al aumentar la dosis con ninguno de los productos ( $p < 0,05$ ) (Tabla 6).

Si se comparan P1 y P2, empleando la dosis I en 1 de los 10 casos se observan diferencias significativas a favor del P2, mientras que para dosis II no se manifestaron diferencias ( $p < 0,05$ ) (Tabla 6).

Por último, comparando tratamientos con aplicación superficial donde se empleó la dosis II, P1 superó a la dolomita ( $p < 0,05$ ), en 2 de los 10 casos, mientras que en los restantes no se encontraron diferencias. Dentro del P1, el tratamiento con aplicación incorporada superó al de aplicación superficial en un solo caso.

En las Tabla 7 y 8 se exponen los datos del contenido de  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ , respectivamente, correspondientes al segundo lixiviado, para los diferentes suelos. En las mismas se consignan, además, los resultados del análisis estadístico realizado entre los distintos tratamientos.

**Tabla 7.** Masa de  $Ca^{2+}$  determinada en el segundo lixiviado para los diferentes tratamientos y suelos ensayados.

**Tabla 8.** Masa de  $Mg^{2+}$  determinada en el segundo lixiviado para los diferentes tratamientos y suelos ensayados.

Analizando los tratamientos correspondientes a la aplicación incorporada, la Tabla 7 muestra que la superioridad de los productos aperdigonados por sobre los tratamientos con dolomita se mantiene, aunque ésta no sea tan evidente como en la primera

extracción. Para dosis I y II, en la mitad de los casos alguno de los productos evaluados arrojaron valores mayores de  $\text{Ca}^{2+}$  lixiviado en relación a la dolomita ( $p < 0,05$ ) (Tabla 7).

En cuanto a la comparación entre dosis de cada producto, P2 arrojó diferencias significativas en la masa lixiviada al aumentar la dosis en 3 suelos, P1 en un sólo caso y dolomita en 2 de los 10 suelos.

Comparando los productos aperdigonados a igual dosis el P1 sigue mostrando valores superiores, pero en menos tratamientos de lo que se dio para el primer lixiviado. 2 casos para dosis I y 3 para dosis II.

En el análisis de aplicación superficial se observa que el aperdigonado superó en 4 casos a la dolomita. Y comparando entre las diferentes formas de aplicar P1, en un suelo la aplicación superficial supera a la incorporada ( $p < 0,05$ ).

En la Tabla 8 se puede visualizar que en la mayoría de los casos la masa de  $\text{Mg}^{2+}$  lixiviada no presenta diferencias estadísticamente significativa entre tratamientos, ya sea entre productos, entre dosis o entre formas de aplicación.

### 3.2.2. Materia seca

En la Tabla 9 se exponen los datos del peso de la materia seca correspondientes al primer corte, junto a los resultados del análisis estadístico realizado entre los distintos tratamientos.

**Tabla 9.** Materia seca vegetal determinada en el primer corte para los diferentes suelos y tratamientos realizados.

A igualdad de dosis, si se comparan los productos incorporados a la masa de suelo (Tabla 9), en 3 suelos los productos aperdigonados superan al testigo y a la

dolomita con la dosis I. Los restantes 7 casos no manifiestan diferencia significativa alguna ( $p < 0,05$ ). Con el empleo de la dosis II en solo 2 casos alguno de los productos superó a la dolomita en materia seca vegetal determinada.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en ningún caso entre dosis de un mismo corrector. Si se comparan P1 y P2, tampoco se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con ambas dosis (Tabla 9).

Si se analizan los tratamientos de aplicación superficial, en 3 casos el producto aperdigonado fue superior a la dolomita ( $p < 0,05$ ), mientras que el resto de los suelos no presentaron diferencias (Tabla 9). Si se comparan tipos de aplicación del mismo producto aperdigonado a dosis alta, la masa seca fue igual para ambos tratamientos en todos los casos.

En la Tabla 10 se observan los incrementos porcentuales que cada tratamiento manifestó con respecto a los testigos. A pesar de la ausencia de significancia estadística en la mayor parte de los casos en la evaluación de materia seca (Tabla 9), puede apreciarse que los productos desarrollados son responsables de mayores incrementos de producción, con valores entre el 11% y de hasta el 270% respecto a su testigo, mientras que con dolomita estos incrementos fueron entre 5 y 142%. La variabilidad de los resultados de materia seca entre repeticiones de cada tratamiento no permite hacer afirmaciones sobre base estadística, aunque los resultados señalarían la tendencia mencionada. Vázquez et al. (2012) trabajando sobre suelos de la Provincia de Buenos Aires y Santa Fe también verificaron una tendencia de mayor rendimiento de un cultivo de soja en respuesta a la adición conjunta de yeso con enmiendas básicas. García et al. (2008) informaron incrementos en la producción de materia seca entre el 12 y 22% con enmiendas de caliza, yeso o dolomita en un cultivo de alfalfa trabajando en el campo experimental de la EEA INTA Gral. Villegas. Gambaudo et al. (2001) trabajando en un

campo de Santa Fe, determinaron incrementos de peso seco de alfalfa respecto al testigo de 34 y 61% al emplear calcáreo calcítico y del 17 y 36% con conchilla.

**Tabla 10.** Incremento porcentual de producción de materia seca vegetal de los distintos tratamientos respecto al testigo en el primer corte realizado

En la Tabla 11 se exponen los datos del peso de materia seca correspondientes al segundo corte, junto a los resultados del análisis estadístico realizado entre los distintos tratamientos.

**Tabla 11.** Materia seca vegetal determinada en el segundo corte para los diferentes suelos y tratamientos realizados.

Si se analizan los tratamientos con correctores incorporados en el suelo (Tabla 11) en algunos casos los productos evaluados superan a la dolomita ( $p < 0,05$ ). Esto ocurrió para dosis I en los suelos de Carlos Casares, Bolivar, Lincoln y Gral Belgrano, y para dosis II en los suelos de Lincoln y Gral Belgrano.

No existen diferencias en producción de materia seca entre los tratamientos con las distintas dosis dentro de cada producto, y tampoco las hay entre ambos productos aperdigonados a iguales dosis.

Si se analiza la aplicación superficial se observan dos casos en los que el P1 muestra superioridad ante la dolomita. La aplicación superficial del P1 arrojó valores similares de materia seca que la aplicación mezclada en la masa de suelo, señalando su excelente performance para planteos de siembra directa que constituyen en la actualidad una problemática en el cultivo de soja para la práctica.

Al igual que para el primer corte, se observa en la Tabla 12 que en varios casos los tratamientos con productos aperdigonados generan importantes incrementos porcentuales en la producción de materia seca en comparación con los testigos. Se registraron en el segundo corte valores máximos de hasta 430% para los productos aperdigonados y de más de 200% para la dolomita comercial.

**Tabla 12.** Incremento porcentual de producción de materia seca vegetal de los distintos tratamientos respecto al testigo en el segundo corte realizado

### 3.2.3. Contenido de $\text{Ca}^{2+}$ y $\text{Mg}^{2+}$ en el vegetal

Las Tablas 13, 14, 15 y 16 muestran los contenidos porcentuales de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en materia seca vegetal, con los resultados del análisis estadístico realizado entre los distintos tratamientos.

**Tabla 13.** Contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  en materia seca (%) en el primer corte para los diferentes suelos y tratamientos realizados.

**Tabla 14.** Contenido de  $\text{Mg}^{2+}$  en materia seca (%) en el primer corte para los diferentes suelos y tratamientos realizados.

**Tabla 15.** Contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  en materia seca (%) en el segundo corte para los diferentes suelos y tratamientos realizados.

**Tabla 16.** Contenido de  $\text{Mg}^{2+}$  en materia seca (%) en el segundo corte para los diferentes suelos y tratamientos realizados.

Al analizar la concentración porcentual de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en el material vegetal se puede observar que los testigos presentaron valores similares e incluso mayores en comparación con los tratamientos de encalado. Este hecho se conoce como “efecto de

dilución” y es provocado por el mayor aumento de la materia seca ante con el agregado de los productos correctores, en comparación con la absorción de estos nutrientes. Este hecho conduce a que expresiones porcentuales sobre materia seca sean superiores en los tratamientos con menor rendimiento en materia seca. Es decir, el mayor consumo, particularmente de  $\text{Ca}^{2+}$ , y en menor medida de  $\text{Mg}^{2+}$ , es destinado a mayor producción de forraje y no al aumento de la concentración foliar de los mismos (Vázquez et al., 2010).

Si se toman como referencia los umbrales establecidos para esta especie (0,9%-1,1%), puede afirmarse que la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  es generalizadamente normal en esta situación experimental. En el segundo corte se determinaron valores mayores y se correspondería con el estado fenológico más avanzado del cultivo (Tabla 15). Si se analiza la concentración de  $\text{Mg}^{2+}$  también puede considerarse normal (0,2-0,3 %) (Junta de Extremadura, 1992).

En cuanto a la diferencia entre tratamientos existe variabilidad en los resultados, que no permiten hacer generalizaciones acerca de productos o dosis. Cuando la expresión se hace con  $\text{Ca}^{2+}$  o  $\text{Mg}^{2+}$  total absorbido, se pone en evidencia que la absorción ha sido superior en los tratamientos con encalado.

En las Tablas 17 y 18 se exponen los datos de contenido total de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  respectivamente, en el material vegetal correspondientes al primer corte, para los diferentes suelos, mientras que las Tablas 19 y 20 exponen los datos correspondientes al segundo corte. En las mismas se consignan, además, los resultados del análisis estadístico realizado entre los distintos tratamientos.

**Tabla 17.** Contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  en vegetal en el primer corte para los diferentes suelos y tratamientos realizados.

**Tabla 18.** Contenido de  $\text{Mg}^{2+}$  en vegetal en el primer corte para los diferentes suelos y tratamientos realizados.

**Tabla 19.** Contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  en vegetal en el segundo corte para los diferentes suelos y tratamientos realizados.

**Tabla 20.** Contenido de  $\text{Mg}^{2+}$  en vegetal en el segundo corte para los diferentes suelos y tratamientos realizados.

Si se analizan los datos estadísticos que se presentan en las tablas, el contenido de estos elementos por unidad de superficie en el forraje pone en evidencia una clara superioridad de los productos evaluados en relación a la dolomita, tanto aplicados superficialmente como incorporados en la masa de suelo.

En cuanto a los tratamientos con productos incorporados, tomando ambas dosis y ambos cortes se observa que en el 95% de los casos los productos aperdigonados mostraron mayor masa de  $\text{Ca}^{2+}$  extraída ( $p < 0,5$ ), mientras que el  $\text{Mg}^{2+}$  también se vio favorecido con los tratamientos P1 y P2 en el 75% de los casos.

Si se comparan los tratamientos con aplicación superficial, para  $\text{Ca}^{2+}$ , P1 arrojó valores superiores a la dolomita en el 90% de los casos, y lo mismo para  $\text{Mg}^{2+}$  en el 60% de los casos. Mientras que entre aplicación superficial e incorporada para P1 a dosis alta, se observan algunos casos en que los tratamientos con la incorporación del aperdigonado superan al superficial. Este hecho es gravitante en la calidad forrajera de especies pastoriles como tréboles o alfalfas, susceptibles a estas deficiencias, ya que carencias de estos elementos provocan alteraciones sanitarias múltiples en el ganado (osteoporosis, irregularidades de celos, infecciones post-parto, tetania, entre otras) (Mufarrege, D.J. 1999).

### 3.2.4.- Asociación entre el incremento de materia seca y las variables edáficas.

**Tabla 21.** Funciones de regresión lineal. Variable dependiente: aumento de materia seca. Variables independientes: capacidad de intercambio catiónica (CIC), saturaciones cálcica y magnésica, pH y relación Ca/Mg.

En la Tabla 21 se observan los resultados del ajuste de modelos de regresiones simples para describir la relación entre el aumento de materia seca y variables edáficas de los suelos tratados.

Si se analizan los coeficientes de regresión y los valores de probabilidad del modelo se observa que, ya sea para todos los tratamientos juntos, o para cada tratamiento en particular, en la mayoría de los casos las variables que mostraron una asociación ( $p < 0,05$ ), son la CIC y los porcentajes de saturación cálcica y magnésica. Es decir, que cambios en estas variables edáficas son causa de cambios en el aumento de materia seca. Cabe destacar que la pendiente de las regresiones simples para estas 3 variables independientes es en casi la totalidad de las situaciones, de signo negativo. Es decir, se espera un mayor incremento de materia seca cuanto más bajo es el poder de intercambio y las saturaciones cálcicas y magnésicas de los suelos tratados, cualquiera sea el tratamiento aplicado.

**Tabla 22.** Funciones de regresión explicativas del incremento de materia seca (todos los suelos y tratamientos). Variable dependiente: aumento de materia seca. Variables independientes: capacidad de intercambio catiónica (CIC), saturaciones cálcica y magnésica, pH y relación Ca/Mg.

La Tabla 22 muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre el aumento de materia seca y las 5 variables independientes consideradas.

El incremento de rendimiento de materia seca, en las condiciones en las que se realizó el ensayo, podría ser explicado por variables edáficas analizadas como la CIC y las saturaciones cálcicas y magnésicas. Sin embargo, no se comprobó que exista relación con otras variables analizadas como pH, o la relación Ca/Mg. Esto estaría indicando que la acción de los productos agregados es fundamentalmente, la adición de los nutrientes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , más que otros efectos secundarios derivados de la modificación de pH. La tolerancia a la acidez de la especie vegetal utilizada y el rango de pH de los suelos ensayados podría ser la causa de tales resultados. Asimismo, la especie respondería a la saturación con estos elementos y no a la relación particularizada entre ellos. Otros investigadores encontraron resultados comparables en distintos cultivos, entre ellos Vivas et al., (2001), Gonzalez et al., (2001) y Gambaudo et al., (2007).

#### 4. CONCLUSIONES

- La movilización de las bases en sentido vertical fue considerablemente superior para los productos desarrollados en comparación al tratamiento con dolomita comercial.
- Se evidenció una mayor solubilización en el primer lixiviado realizado a los 6 meses de aplicados dichos productos. En el segundo lixiviado llevado a cabo a los 10 meses, aunque con la misma tendencia, la variabilidad en los resultados fue mayor. Este hecho señala la superioridad de los productos desarrollados en el corto-mediano plazo, destacando su aptitud, especialmente para su empleo en especies anuales.
- En la mayoría de los casos los tratamientos con los productos en evaluación arrojaron valores superiores de materia seca de Trébol rojo (*Trifolium repens* cv.Red Land II) respecto de los tratamientos testigo y con dolomita comercial.
- Se evidenció una tendencia al aumento de productividad con el incremento de las dosis para ambos productos en varios de los suelos ensayados. Si bien la variabilidad de los resultados no permite hacer esta afirmación desde el punto de vista estadístico, no se aconsejarían dosis superiores a las 1.500 kg.ha<sup>-1</sup> (dosis I) de los productos desarrollados.
- La cantidad de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> en el vegetal por unidad de superficie fue significativamente superior en los tratamientos con los productos desarrollados, mejorando la calidad forrajera de la especie tratada.
- El incremento de materia seca vegetal producido por la aplicación de los productos correctores mostró asociación negativa con la CIC y los porcentajes de saturación cálcica y magnésica de los suelos, mostrando su mayor beneficio en suelos con bajos valores de estas variables.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- **Anjos Reis, R., P.C. Rezende Fontes, J.C. Lima Neves, & N. Terra Santos.** 1999. Total soil electrical conductivity and critical soil  $K^+$  to  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  ratio for potato crops. *Soil Agric.* 56(4): 993-997.
- **Borie, B.F., F.A. Gallardo, M.L.G. Mora & J.C. García.** 1999. Sensibilidad y tolerancia a la acidez de los cultivos en condiciones de campo. *Frontera Agrícola* 5 (1-2): 19-28.
- **Büll, L.T., R.L. Villas Bôas & J. Nakagawa.** 1998. Variações no balanço catiônico do solo inducidas pela adubação potássica e efeitos na cultura do alho vernalizado. *Sci. Agric.* 55(3): 456-464.
- **Caires, E.F., J. Blum, G. Barth, F.J. Garbuio & M.T. Kusman.** 2003. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 27(2): 275.
- **CIAFA (Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos).** 2012. <http://www.ciafa.org.ar/informes/Mercado/ConsumoFertilizantes2012.pdf>
- **Conti, M.** 2000. Principios de edafología, con énfasis en suelos argentinos. Segunda edición. Editorial Facultad Agronomía. Argentina. 430 p.
- **Darwich, N.** 2006. Los nutrientes secundarios: azufre, calcio y magnesio. En *Manual de Fertilidad de Suelos y uso de Fertilizantes*. Cap. VII, p. 131-150. 3º Edición. Fertilizar Asoc. Civil, Mar del Plata. ISBN 987-43-9313-0. 289 p.
- **Demagnet, R.F., B.M. Schnettler & M.L.G. Mora.** 1999. Efecto del encalado y su relación con los nutrientes sobre la producción de pasturas en suelos ácidos. *Frontera Agrícola* 5 (12): 95-110.
- **Echeverría, H. & F. García.** 2005. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Capítulo 11: Calcio y Magnesio. Manejo de fertilización y enmiendas. Ed. INTA. Balcarce, Buenos Aires. 525 p.
- **Farina, M.P.W., P. Channon & G.R. Thibaud.** 2000. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity: I. Long-term growth effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 646-651.
- **Fassbender, H.W.** 1980. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Ed. IICA. San José, Costa Rica. 398 p. 286201734

- **Gallardo, A.F. & F. B. Borie.** 1999. Sensibilidad y tolerancia de especies y cultivares a condiciones de acidez. Tests rápidos de diagnóstico. *Frontera Agrícola* (Chile) 5(1-2): 3-18.
- **Gambaudo, S., A. Zampar, L. Tomatis & O. Quaino.** 2001. Respuesta de la alfalfa a la aplicación de dos enmiendas calcáreas. Anuario INTA 2001. En: [http://rafaela.inta.gov.ar/info/documentos/anuarios/anuario2000/a2000\\_p93.htm](http://rafaela.inta.gov.ar/info/documentos/anuarios/anuario2000/a2000_p93.htm) Ultimo acceso: Mayo, 2016.
- **Gambaudo, S., L. Picco, P. Soldano & A. Cervetti.** 2007. Fertilización compuesta con calcio, magnesio y azufre en soja. Resultados experiencias campaña 2006/2007. INTA. EEA Rafaela. Información Técnica cultivos de verano. Publicación Miscelánea N° 108.
- **García, M., A. Terminiello, G. Ardanaz, A. Casciani & M. Vázquez.** 2008. Respuesta de una pastura base alfalfa al encalado en un tambo del SO de Córdoba. Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los funes (San Luis), Mayo. CD.
- **González, B., S. Gambaudo, D. Bersano, D. Tenorio, J. Neifert & D. Osenda.** 2001. Enmiendas en trigo. *Fertilizar* 6 (23): 18-19.
- **Haygarth, P.M. & S.C. Jarvis.** 1999. Transfer of phosphorus from agricultural soils. En. *Advances in Agronomy*. Academic Press. 66:195-249.
- **INFOSTAT.** 2011. InfoStat. Software Estadístico. Versión Libre. <http://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=46> (último acceso 15/9/16).
- **IRAM** – Instituto Argentino de Normalización y Certificación<sup>1</sup>; IRAM 29481-1; IRAM 29481-4; SAGPyA – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos-; IRAM y SAGPyA 29570-1; IRAM y SAGPyA 29571-2.
- **Jackson, M. L.** 1964. Chemical composition of soils. *Chemistry of the Soil*, 2, 71-141.
- **Junta de Extremadura.** 1992. Diagnóstico nutricional. Ed. Mundi Prensa. Madrid 205-209.
- **Lindsay, W. L.** 1979. Chemical equilibrium in soils. John Wiley & Sons, New York, USA, 449 p.
- **Loide, V.** 2004. About the effect of the contents and ratios of soil's available calcium, potassium and magnesium in liming of acid soils. *Agron. Res.* 2(1): 71-82.

---

<sup>1</sup> Autora: Lic Viviana Fiorani (VFIORANI@iram.org.ar)

- **Millán, G., M. Vázquez, A. Terminiello & D. Santos Sbuscio.** 2010. Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana. *Ciencia del Suelo* 28(2): 131-140.
- **Mora, M. & R. Demanet.** 1999. Uso de enmiendas calcáreas en suelos acidificados. *Frontera Agrícola (Chile)* 5(1-2): 43-58.
- **Mufarrege, D. J.** 1999; Los minerales en la alimentación de vacunos para carne en la Argentina. Trabajo de Divulgación Técnica, INTA-EEA Mercedes, Corrientes Argentina Bibliografía: p. 57-64
- **Muñoz Hernández, R.J. & R.I. Silveira.** 1998. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). *Sci. Agric.* 55(1): 79-85.
- **Oliveira, E.L. & M.S. Parra.** 2003. Resposta do feijoeiro a relações variáveis entre cálcio e magnésio na capacidade de troca de cátions de latossolos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 27(5): 859-866.
- **Parisi, V.** 1980. Biología y Ecología del suelo. Blume Ecología N° 6, Barcelona.
- **Peineman, N.** 1998. Conceptos de edafología y nutrición vegetal. Editorial Universidad Nacional del Sur, 227 p.
- **Pérez Habiaga G., D.E. Buschiazzo & M. Díaz-Zorita.** 2012. pH edáfico y rendimiento de cultivos estivales en la región pampeana. Actas del XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Abril. CD.
- **Presutti M. et al.** 2016. Regionalización de la capacidad buffer y necesidad de enmienda calcárea en provincia de Buenos Aires. Actas del XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Río Cuarto, Junio. Trabajo N° 98. CD.
- **Rearte, D.** 2007. La producción de la carne en Argentina. Buenos Aires: INTA. URL: [http://www.inta.gov.ar/balcarce/Carnes/ProdCarneArg\\_esp.pdf](http://www.inta.gov.ar/balcarce/Carnes/ProdCarneArg_esp.pdf) (07-09-10).
- **Sadzawka, R. & A.R. Campillo.** 1993. Problemática de la acidez de los suelos de la IX Región. I. Génesis y características del proceso. *Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca* 12(3): 3-7.
- **SAMLA.** 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos, Agua, Vegetales y Enmiendas Orgánicas. Primera edición, SAGPyA, Dirección de Agricultura, 2004. CD Rom. ISBN 987-918440-8.
- **Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocky, E.C. Benham & W.D. Broderson.** 2000. Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos. Versión 1.1. Instituto de Suelos, Centro de Recursos Naturales, Instituto Nacional de Tecnología

Agropecuaria, Argentina. Traducción en español del «Field Book for Describing and Sampling Soils», 1998. Centro Nacional de Relevamiento de Suelos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Dto. de Agricultura EE.UU., Lincoln, Nebraska 9 (10) p.

- **STATGRAPHICS.** 2004. Statgraphics Centurion XVI. Software Estadístico. Versión Libre. (último acceso 16/03/17).
- **Teruggi, M.E.** 1957. The nature and origin of Argemtime loess: J. Sed. Petrology, 27 (3): 322-332.
- **Torres Duggan, M., M.B. Rodríguez & J.A. Lamelas.** 2012. Tecnología de fertilización azufrada en la Región Pampeana argentina: una revisión. Presentado por los autores en el 19th World Congress of Soil Science (Brisbane, Australia), 1-6 de agosto de 2012.
- **Vázquez, M. & R. Rotondaro.** 2005. Acidificación de los suelos en el Sur de Santa Fe y Norte de Buenos Aires. Acaecer XXX (350):26-32.
- **Vázquez, M.E.** 2007. Calcio y Magnesio del suelo. Encalado y enyesado. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed. Echeverría H, García F. INTA, Cap. 8: 161-188. 525 p.
- **Vázquez, M., A. Terminiello & G. Millán.** 2008. Lixiviación de iones en un suelo tratado con enmiendas carbonáticas y yeso. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16/5/08, Potrero de Funes, San Luis. ACTAS: 342. Trabajo completo versión electrónica.
- **Vázquez, M., A. Terminiello, A. Duhour, M. García & F. Guilino.** 2009. Efecto del encalado sobre propiedades físicas de un suelo de la pradera Pampeana. Asociación con propiedades químicas. Ciencia del suelo 27 (1): 67-76.
- **Vázquez, M., A. Terminiello, A. Casciani, G. Millán, P. Gelati, F. Guilino, J. García Díaz, J. Kostiria & M. García.** 2010. Evaluación del efecto de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y propiedades edáficas en ámbitos templados argentinos. Ciencia del Suelo. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 28 (2):131-140.
- **Vázquez, M., A. Terminiello, A. Casciani, G. Millán, D. Cánova, P. Gelatti, F. Guilino, A. Dorrnoro, Z. Nicora, L. Lamarche & M. García.** 2012. Respuesta de la soja (GLICINE MAX L. Merr) a enmiendas básicas en suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. Ciencia del suelo 30 (1): 43-55.

- **Vivas, H.S., H. Fontanetto & R. Albrecht.** 2001. Fertilización con calcio, magnesio y azufre sobre la producción de maíz en dos sitios del centro de Santa Fe. Información Técnica de Cultivos de Verano. INTA, EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N°95, N°4: 1-5.