



Universidad Nacional de Río Cuarto  
Facultad de Agronomía y Veterinaria

TRABAJO FINAL  
PARA OPTAR AL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO

**Título**

**INFLUENCIA DEL AGREGADO DE UNA CAL AGRÍCOLA  
SOBRE LA ACIDEZ Y EL COMPLEJO DE CAMBIO DE  
SUELOS REPRESENTATIVOS DEL SUR DE CÓRDOBA**

**Por: Pezzini, Matías  
DNI: 32.705.440**

**Director: Cisneros, José Manuel  
Codirector: Moreno, Inés Selva**

Río Cuarto – Córdoba  
Agosto de 2010



# CERTIFICADO DE APROBACIÓN

## INFLUENCIA DEL AGREGADO DE UNA CAL AGRÍCOLA SOBRE LA ACIDEZ Y EL COMPLEJO DE CAMBIO DE SUELOS REPRESENTATIVOS DEL SUR DE CÓRDOBA

**ALUMNO: MATÍAS PEZZINI**

**DNI: 32705440**

**DIRECTOR: ING. AGR. MSC. JOSÉ MANUEL CISNEROS**

**CODIRECTOR: ING. AGR. MSC. INÉS SELVA MORENO**

**Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión  
Evaluadora:**

**ING. AGR. MSC. JOSE MANUEL CISNEROS**

\_\_\_\_\_

**ING. AGR. MSC. CARMEN CHOLAKY**

\_\_\_\_\_

**ING. AGR. MSC. MIGUEL ANGEL REYNERO**

\_\_\_\_\_

**Fecha de presentación: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_.**

**Aprobado por la secretaría académica: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_.**

\_\_\_\_\_  
**Secretario Académico**

## ÍNDICE GENERAL

<b>Índice general</b> .....	<b>1</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>2</b>
<b>Índice de gráficos</b> .....	<b>3</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>4</b>
<b>Summary</b> .....	<b>5</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>6</b>
<b>Antecedentes</b> .....	<b>8</b>
I. <i>Acidez del suelo</i> .....	<b>8</b>
II. <i>Influencia del encalado sobre las propiedades del suelo</i> .....	<b>8</b>
III. <i>Necesidades de encalado en suelos argentinos</i> .....	<b>9</b>
IV. <i>Tipos de cales utilizadas</i> .....	<b>10</b>
V. <i>Dosis de encalado y sus efectos sobre las propiedades del suelo</i> .....	<b>11</b>
VI. <i>Suelos genéticamente ácidos</i> .....	<b>12</b>
VII. <i>Procesos que pueden conducir a la acidificación del suelo</i> .....	<b>12</b>
<b>Hipótesis</b> .....	<b>14</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>14</b>
<b>Materiales y métodos</b> .....	<b>15</b>
I- <i>Área de estudio</i> .....	<b>15</b>
II- <i>Características Físico-químicas de los suelos estudiados.</i> .....	<b>17</b>
III- <i>Tratamientos y diseño experimental</i> .....	<b>17</b>
IV- <i>Determinaciones:</i> .....	<b>20</b>
V- <i>Interpretación de los resultados</i> .....	<b>20</b>
<b>Resultados y discusiones</b> .....	<b>22</b>
<i>Ensayo de encalado</i> .....	<b>22</b>
A- <i>Análisis individual de cada suelo</i> .....	<b>22</b>
B- <i>Análisis comparativo de los 4 suelos</i> .....	<b>27</b>
<b>Conclusión</b> .....	<b>30</b>
<b>Líneas de investigación futura</b> .....	<b>31</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>32</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1:</b> Localidad, ubicación, superficie que ocupan y tipos de suelos representativos seleccionados para el ensayo.....	<b>15</b>
<b>Tabla N° 2:</b> Datos analíticos de los suelos estudiados.....	<b>17</b>
<b>Tabla N° 3:</b> Esquema del diseño experimental realizado en el ensayo.....	<b>18</b>
<b>Tabla N° 4:</b> Porcentaje de Ca objetivo y dosis de Ca (OH) <sub>2</sub> colocadas en cada suelo.....	<b>18</b>
<b>Tabla N° 5:</b> pH y porcentaje Ca obtenidos con cada una de las dosis asignadas para cada suelo, expresadas en equivalente a CO <sub>3</sub> Ca (kg /ha).....	<b>22</b>
<b>Tabla N° 6:</b> Dosis de CO <sub>3</sub> Ca (kg/ha) requeridas para elevar en distintas unidades el pH en los cuatro suelos contrastantes.....	<b>24</b>
<b>Tabla N° 7:</b> Dosis de CO <sub>3</sub> Ca (kg/ha) requeridas para elevar en un determinado porcentaje el valor de % Ca intercambiable en los cuatro suelos contrastantes.....	<b>26</b>
<b>Tabla N° 8:</b> Análisis de Masa de los cuatro suelos contrastantes.....	<b>27</b>
<b>Tabla N° 9:</b> Capacidad buffer, CIC, MO y arcilla de cada suelo representativos.....	<b>28</b>



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Grafico N° 1:</b> Correlación entre la dosis de $\text{CO}_3\text{Ca}$ (kg/ha) colocadas y su respuesta en el pH en los cuatro suelos contrastantes.....	<b>23</b>
<b>Grafico N°2:</b> Correlación entre las dosis de $\text{CO}_3\text{Ca}$ (kg/ha) colocadas y su respuesta en el % Ca intercambiable en los cuatro suelos contrastantes.....	<b>25</b>
<b>Grafico N° 3:</b> pH logrado en los 4 suelos contrastantes con dosis crecientes de $\text{CO}_3\text{Ca}$ .....	<b>28</b>
<b>Grafico N° 4:</b> Relación existente entre las variables CIC, % MO y % de arcilla con la capacidad buffer de cada suelo representativo estudiado.....	<b>29</b>

## RESUMEN

La acidificación de los suelos generada por la intensa explotación de los mismos, produce cambios en sus propiedades físico-químicas, originando disminución de su productividad y posterior influencia en los rendimientos. Su tratamiento mediante el agregado de enmiendas cálcicas o cálcico- magnésicas, podría mejorar propiedades físico-químicas tanto estacionarias como dinámicas. El objetivo del presente trabajo es evaluar la incidencia del agregado de diferentes dosis de Hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) sobre el pH y el porcentaje de calcio (% Ca) intercambiable presente en el complejo de intercambio en suelos representativos del Sur de Córdoba, área de influencia de la UNRC, perteneciente a la Pradera Pampeana Argentina. Para ello se trabajó con suelos de diferentes características texturales, muestreándose los primeros 15 cm superficiales. El ensayo de encalado se realizó en laboratorio, aplicando dosis variables de cal según la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de cada suelo, cuyo rango expresado en equivalente a Carbonato de calcio ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) fue de 700 a 5500 kg/ha; las muestras presentaban un pH entre 5,5 y 6,6, y un % de Ca intercambiable entre 49 y 60 %.

La estabilización de las variables medidas se logró a las cuatro semanas de incubación, incrementándose el pH en más de una unidad y el porcentaje de calcio por encima de los valores normales en el intercambio (60%), en las 4 localidades evaluadas (Mackenna, Río Cuarto, Cabrera y Dalmasio Vélez) con la mayor dosis para cada suelo. Se determinó también que las muestras tenían distinta capacidad amortiguadora, no encontrándose una relación lineal con la CIC de cada suelo, como así tampoco con el % de materia orgánica (MO) y % de arcilla.

A fines prácticos, se obtuvo una relación que permite estimar la dosis de carbonato de calcio ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) o calcita, necesaria para incrementar el pH a valores cercanos a la neutralidad, o bien llevar el porcentaje de calcio intercambiable a valores normales en el complejo de intercambio, en cada uno de los suelos representativos del Sur de Córdoba.

**Palabras claves:** Acidificación, dosis Hidróxido de calcio, dosis de carbonato de calcio, calcita, pH, % calcio, encalado, CIC, MO, arcilla, capacidad amortiguadora.

## SUMMARY

The acidification of soils caused by the intense exploitation of them, generate changes in their physicochemical properties, resulting in decreased productivity and its subsequent influence on performance. His treatment by adding amendments or calcium-magnesium-calcium could improve physical and chemical properties both stationary and dynamic. The aim of this study was to evaluate the impact of adding different doses of calcium hydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) on pH and the percentage of calcium (% Ca) present in the exchangeable complex exchange in soils representative of southern Córdoba, area influenced by the UNRC, belonging to the Argentina pampas. This work was done on representative samples of soil (0-15 cm depth), liming carried out the laboratory test using varying doses depending on the cation exchange capacity (CEC) of each soil, whose range expressed as equivalent calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) was 700 and 5500 kg/ha; to samples with pH between 5.5 and 6.6; and a % of exchangeable Ca between 49 and 60%.

Stabilization of pH was achieved after four weeks of incubation, increasing the pH in more than one unit and % Ca above the normal values in the exchange (60%), for all cases with the highest dose for each soil. It was determined that the samples had different buffering capacity, found no linear relationship with the CEC of each soil, as well even with the % organic matter (MO) and clay.

For practical purposes, relationship was obtained to estimate the dose of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) or calcite, which is necessary to increase the pH to near neutrality, or bring the % of exchangeable Ca to normal values in the exchange complex.

**Keywords:** Acidification, calcium hydroxide dose, dose of calcium carbonate, calcite, pH, % calcium, liming, CIC, MO, clay, buffering capacity.

## INTRODUCCIÓN

La acidificación de los suelos responde a causas naturales y antrópicas (Bremen, 1991). Con respecto al primer caso se encuentran los suelos rojos (Oxisoles y Espodosoles) de zonas cálidas y húmedas, muy meteorizados, donde la descomposición de los minerales primarios y las arcillas 2:1 es prácticamente completa, habiendo una intensa lixiviación de bases y silicio (Si), lo que trae aparejado una desaturación del coloide, disminución del pH y concentración residual de óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al) (Schelling, 1970). Estos tipos de suelos en nuestro país se encuentran ubicados en el extremo noreste.

También se encuentran suelos orgánicos denominados turbas (Histosoles), generalmente ubicados en zonas pantanosas y frías, en nuestro país se pueden encontrar en el sur, donde hay una acumulación de materia orgánica poco descompuesta en condiciones generalmente de saturación y anaerobiosis. Estas turbas pueden llegar a ser ácidas cuando exista una baja saturación de bases (Schelling, 1970).

Por otro lado, suelos del ámbito templado argentino, naturalmente ajenos a este problema, como los de la Región Pampeana, actualmente evidencian acidificación como consecuencia de la larga historia productiva sin reposición, generada por el lavado y extracción de bases y el empleo de fertilizantes ácidos, produciendo en estos suelos limitantes físico-químicas que perjudican el desarrollo normal de las especies vegetales (Gelati, 2006).

La mayoría de los nutrientes suministrados por el suelo son afectados químicamente por el pH del mismo. Los cationes, como calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), hierro ( $\text{Fe}^{+++}$ ) y otros, se tornan más solubles a medida que baja el pH. Los aniones, tales como los molibdatos (Mb), se tornan menos solubles cuando el pH decrece. La solubilidad del fósforo (P) en el suelo es afectada por el pH de una manera compleja. Con respecto a pH bajos el fósforo interactúa con Al y Fe formando sales insolubles que limitan la absorción por parte del vegetal (Hanlon y Rhoads, 1998). En suelos con pH inferior a 5, existe toxicidad debido a la presencia de iones  $\text{Al}^{+++}$  y  $\text{Mn}^{++}$ . La solubilidad de los mismos se incrementa con la disminución del pH, y la concentración creciente de estos iones en la solución del suelo tiene efectos adversos sobre el crecimiento de las raíces, (Foy, 1984).

Por otro lado, las menores disponibilidades de Mb afectan la supervivencia y actividad de los rizobias, previa a la nodulación, viéndose con ello afectada la fijación biológica del nitrógeno y la nutrición de las plantas leguminosas en este elemento (Porta, *et al.*, 1994).

A partir de la creciente especialización agrícola de la zona de influencia de la UNRC, de la alta extracción de bases que realizan cultivos como soja y maní, y de la baja difusión y errónea ubicación de la técnica del encalado, es que se planteó este trabajo, que pretende analizar la influencia de la técnica



sobre las variaciones de acidez y composición del complejo de intercambio de diferentes materiales de suelo típicos de la región centro-sur de Córdoba.

## ANTECEDENTES

### I. Acidez del suelo

En los suelos se pueden distinguir dos tipos de acidez, la *activa* que indica la cantidad iones  $H^+$  que se encuentran en la solución del suelo y es la que se determina con el pH, en una relación suelo agua 1:2,5 mediante el método potenciométrico, y la de *reserva* que es la porción de iones  $H^+$  que ocupan los sitios de intercambio de los cationes en las arcillas y materia orgánica. La acidez total (activa y reserva) del suelo no tiene relaciones inmediatas con el pH (acidez activa). Si se comparan dos suelos con el mismo pH, uno arenoso y otro rico en materia orgánica y arcilla, será necesario aproximadamente 20 veces más de cal para neutralizar el segundo que el primero (Duchaufour, 1975). Esto indica que para ajustar el pH del suelo se debe neutralizar la acidez activa y la de reserva, por lo que el pH no sería un buen indicador para recomendar dosis de encalado. Para ello se requiere una prueba adicional que incluya tanto la acidez de reserva como la activa (Hanlon y Rhoads, 1998). Esto se logra teniendo en cuenta la capacidad buffer, que nos orienta acerca de la acidez de reserva, y armar la curva de titulación (pH vs dosis) para cada suelo, obteniendo de esta manera mayor precisión para recomendar la dosis de cal.

### II. Influencia del encalado sobre las propiedades del suelo

Vázquez *et al.* (2008)(a), evaluaron la incidencia del agregado de diferentes dosis de conchilla y dolomita sobre la estabilidad estructural, dimensión fractal, cantidad, distribución de tamaño y forma de poros. Dosis medias de ambos correctores aumentaron la estabilidad de los agregados al agua. Los cambios en las propiedades evaluadas estarían asociados al aumento de la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  intercambiables, a causa del incremento de pH y su incidencia en las cargas variables.

Gallardo *et al.* (2004), estudiaron los cambios en las propiedades de un suelo forestal (Oxisol) tras la aplicación de un subproducto calizo. En primer lugar se hizo una comprobación *in vitro* determinando el efecto del  $CaCO_3$  sobre las propiedades del suelo, evidenciándose un incremento significativo en los valores de  $Ca^{++}$ , pH y CIC, mientras que se observó una disminución del  $Al^{+++}$  intercambiable. Cuando se realizó el ensayo *in situ* sólo el  $Ca^{++}$  mostró cambios notorios en los primeros 10 cm de suelo. Con respecto al pH, éste manifestó cambios más notables en la profundidad de 15 cm, lo que indica una baja disolución del material encalante. Estos resultados demuestran la necesidad de una efectiva mezcla entre el material encalante y el suelo para obtener resultados a corto plazo.

Torella *et al.* (2006), determinaron los efectos del encalado en combinación con la fertilización nitrogenada y fosforada sobre la producción inicial de Trébol Rojo (*Trifolium pratense*) en *Argiudoles típicos* del Norte bonaerense. Los ensayos se realizaron en la Universidad Nacional de Luján, pudiendo

observar que el encalado incrementó el pH, pero no aumentó la disponibilidad de fósforo. Por otro lado la materia seca disminuyó con aumentos de la dosis de encalante con P y N, hecho que se atribuye a la compleja interacción que existe cuando estos dos nutrientes se aplican en forma simultánea con  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .

### III. Necesidades de encalado en suelos argentinos

Carrizo *et al.* (2008), determinaron los distintos niveles de pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes intercambiables en *Argiudoles típicos* del centro de la provincia de Santa Fe con una historia de uso e intensificación de actividades agrícolas-ganaderas de 150 años aproximadamente, tomando como referencia una condición “cuasi” natural de la región. Llegaron a la conclusión que el valor medio de pH observado es medianamente ácido y una importante cantidad de lotes tienen porcentajes de saturación con calcio y magnesio menor al ideal por lo que es necesario la aplicación de enmiendas cálcicas y magnésicas.

Sainz Rozas y Echeverría (2008), realizaron un relevamiento del contenido de materia orgánica (MO) y el pH en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana y extrapampeana, abarcando las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Entre Ríos, Corrientes, Santiago del Estero, Tucumán y Salta. Con respecto al pH los suelos de la mayor parte de la región pampeana y extrapampeana presentaron valores dentro del rango considerado óptimo para el crecimiento de los principales cultivos de la región. Sólo algunos partidos del norte de Buenos Aires, centro, centro-sur de Santa Fe y noreste de Corrientes mostraron valores de pH ligeramente ácido (5.5-6). En estos casos, el encalado de los suelos podría ser una práctica de manejo recomendable.

Bachmeier *et al.* (2004), cuantificaron el efecto de cultivos agrícolas sobre la desorción de cationes intercambiables en suelos dominantes de la región central de la Provincia de Córdoba. Se evaluaron tres situaciones contrastantes para un mismo suelo con diferentes contenidos de materia orgánica. En el caso del  $\text{K}^+$  no mostró diferencias significativas debido a la reposición por parte de los feldspatos y micas, lo que no ocurrió con el  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , donde se observó una consistente disminución al incrementarse la intensidad de cultivo sobre el suelo.

Ron *et al.* (2004), estudiaron el efecto antrópico sobre los índices químicos de calidad edáfica en un lote del partido de Tosquita, provincia de Buenos Aires. Se determinó el pH seleccionando tres posiciones topográficas distintas, observándose que el pH se mantuvo estable en un nivel ligeramente ácido a neutro, confirmando la estabilidad de esta variable en sistemas mixtos, en contraposición de los sistemas netamente agrícolas, en donde se evidencia valores de pH ácido, sin encontrar diferencias en las distintas posiciones del relieve.

Pellegrini *et al.* (2004), evaluaron la producción de alfalfa ante la variación del contenido de nutrientes básicos ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ) con diferentes tratamientos de conchilla y dolomita. El ensayo fue realizado sobre un *Argiudol típico*, ubicado en la pampa ondulada, partido de La Plata. Se obtuvo como resultado un aumento en la producción, pero no advirtieron modificaciones del pH, lo que indica que el efecto de los correctores incidió positivamente en otros factores de la nutrición, como el aporte directo de nutrientes o modificación de sus relaciones en la capacidad de intercambio catiónico.

Por otra parte, Toniutti *et al.* (1997), estudiaron el efecto que produce la corrección del pH sobre la nodulación y producción de alfalfa en lotes del centro de la Provincia de Santa Fe. El pH fue corregido a valores entre 6,2 y 6,4, previo a la siembra del cultivo. Sus resultados muestran una diferencia importante en el número de nódulos, cuyo valor incidió notablemente en la producción de la alfalfa superando, en el primer año de producción, en un 150% la del testigo.

Pairetti y Gambaudo (2004), estudiaron un método de determinación de la tasa de disolución relativa de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , utilizando enmienda dolomítica con granulometría de 2 a 3 mm, aplicada a suelos en dos dosis diferentes, bajo condiciones controladas de laboratorio y distintos tiempos de incubación. El ensayo se realizó sobre un *Argiudol vértico* en la localidad de Rafaela. La metodología utilizada se basó en el método de extracción secuencial. En los 6 meses que duró el ensayo se efectuaron 4 tomas de muestras: a los 21 días, a los 2 meses, a los 4 meses y a los 6 meses. Según el método de extracción utilizado el  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  son de rápida disolución, observando la mayor concentración a los 2 meses. También se midió la variación de pH, no encontrando relación con los cationes observados en cada una de las mediciones, lo que estaría indicando que por sí solo el pH no puede tomarse como único elemento diagnóstico para la corrección de acidez edáfica.

Rodríguez *et al.* (2008), evaluaron el impacto del uso y manejo del suelo sobre las propiedades químicas en *Hapludoles típicos* de la cuenca del arroyo la Colacha, Provincia de Córdoba. Se seleccionaron sitios con los usos y manejos más representativos: siembra directa (SD), labranza reducida (LR) y convencional (LC); y dos naturales. Se obtuvo como resultado en este ensayo que el pH ha mostrado baja sensibilidad para diferenciar en el corto plazo el impacto de los sistemas de manejo sobre el suelo.

#### **IV. Tipos de cales utilizadas**

Vázquez *et al.* (2008)(b), analizaron la dinámica de las bases en los líquidos lixiviados en un ensayo de incubación en macetas en el que se utilizaron clinoptilolita-Ca y calicita ( $\text{CaCO}_3$ ). Se realizaron lixiviados semanales y se observó que los tratamientos con clinoptilolita-Ca produjeron aumentos de pH menores que los tratados con  $\text{CaCO}_3$ . A su vez, al final del ensayo, los tratamientos con clinoptilolita-Ca presentaron en los lixiviados concentraciones similares que los tratados con  $\text{CaCO}_3$ , lo que permitió

concluir que la incorporación de clinoptilolita-Ca no aumentó en forma significativa la concentración del Ca en la solución edáfica, en relación a la utilización de  $\text{CaCO}_3$ .

Hernández *et al.* (2006), evaluaron la dinámica del movimiento descendente de las bases en suelos tratados con caliza, dolomita, y yeso en planteos de aplicaciones superficiales sin incorporación. Los resultados obtenidos permiten afirmar que la aplicación conjunta de correctores de acidez y yeso sería una alternativa viable para la corrección de suelos ácidos bajo planteos de siembra directa.

Dorronzoro *et al.* (2006), compararon el rendimiento de soja aplicando distintas dosis de conchilla y dolomita en combinación con fósforo en suelos del noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Obtuvieron como resultado que la aplicación conjunta de P y esos correctores de acidez produjeron aumentos significativos del rendimiento de soja. A diferencia de este tratamiento, Vázquez *et al.* (2006), evaluaron la modificación del rendimiento utilizando como correctores diferentes dosis de caliza y dolomita, sin el agregado de P. Los tratamientos con dolomita superaron en rinde a los de caliza, seguramente por una carencia de Mg de los suelos. Sin embargo, comparando con el testigo, no se observan diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento a favor de los tratamientos con cales agrícolas.

García *et al.* (2008), evaluaron la respuesta de distintas dosis y combinaciones de caliza, dolomita y yeso, sobre el rendimiento de alfalfa en un suelo *Hapludol éntico*. El ensayo se realizó en un tambo de la localidad de Adelia María y se utilizaron materiales con la misma granulometría entre ellos, caliza (CaO 47%), dolomita (CaO/MgO) y yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Se dejó incubar 14 meses, observando que el pH actual y potencial se elevó en concordancia con las mayores dosis de enmienda, no alcanzando en ningún caso umbrales satisfactorios para la especie. Así mismo las mayores dosis de corrector calcáreo produjeron los mayores rendimientos, lo que demostraría procesos secundarios de la práctica y su incidencia en otras variables edáficas.

## V. Dosis de encalado y sus efectos sobre las propiedades del suelo

Gambaudo y Fontanetto (1996), evaluaron el efecto del encalado tratando con diferentes enmiendas suelos con pH entre 5,5 y 5,8. Los calcáreos utilizados fueron: Dolomita (38% de OCa) en dosis de 2000 y 4000 kg/ha; Filler calcáreo dolomítico MC-157 (40% de OCa) en dosis de 2300 y 4600 kg/ha y Filler 6968 (34% de OCa) en dosis de 2600 y 5200 kg/ha de producto comercial. Se obtuvieron incrementos significativos de rendimiento de grano, materia seca total de plantas y peso de nódulos como consecuencia de crear un ambiente más favorable para el crecimiento del cultivo de soja (*Glycine max*).

Estos mismos autores determinaron, de igual manera, el efecto en el rendimiento de trigo (*Triticum aestivum*), tratando el suelo con diferentes dosis de enmiendas cálcicas, observándose incrementos de 448 y 326 kg/ha con respecto al testigo, con tratamientos de 1,5 y 3 ton/ha, respectivamente.

Carrizo y Pilatti (2008), realizaron un ensayo de encalado en laboratorio sobre Argiudoles del centro de la Provincia de Santa Fe, aplicando el equivalente a 750 y 2250 kg CaCO<sub>3</sub>/ha a muestras de suelos con pH inferiores a 5,6. La estabilización del pH se logró a las cuatro semanas de incubación, incrementándose en más de una unidad con la mayor dosis. También se determinó que las muestras tenían distinta capacidad amortiguadora. Se obtuvo una relación que permite estimar la capacidad amortiguadora de estos suelos a partir de la CIC y con esa información calcular la dosis de CaCO<sub>3</sub>/ha a aplicar para incrementar el pH.

Álvarez *et al.* (2008), evaluaron la acidez actual y potencial, CIC, % Ca<sup>++</sup> y % Mg<sup>++</sup> intercambiables de un suelo *Argiudol típico* de la Provincia de Buenos Aires tratado con conchilla, dolomita y yeso, en diferentes combinaciones y dosis (1000, 2000 y 3000 kg/ha) Existe una tendencia al incremento de pH de la solución externa e interna de la capa de 0-20 cm, con la magnitud de dosis empleada. Hubo una tendencia al incremento del pH potencial con ambos correctores aplicados con yeso. El incremento del pH actual y potencial fue del orden de 0,4 unidades de pH como máximo. Las mayores dosis no permitieron alcanzar valores de pH actual considerado óptimo para especies de mayor difusión regional. La CIC, % Ca<sup>++</sup> y % Mg<sup>++</sup> intercambiables manifestarían una ligera tendencia al aumento con las mayores dosis, en concordancia con el pH.

## VI. Suelos genéticamente ácidos

Bordoli y Casanova (2004), evaluaron en un amplio rango de suelos arenosos, con diferentes niveles de aluminio intercambiable, la respuesta del encalado en el rendimiento en grano del cultivo de soja. Se realizaron ensayos a diferentes dosis, aplicadas tres meses antes de la siembra y se obtuvo como resultado que con dosis de 1500 kg/ha de caliza los rendimientos aumentaron en promedio 321 kg/ha y con 3000 kg/ha de caliza aumentaron 440 kg/ha. Estos resultados evidenciaron que realizar encalado en suelos ácidos disminuye el porcentaje de saturación en aluminio, mejora el pH y como consecuencia la disponibilidad de nutrientes.

## VII. Procesos que pueden conducir a la acidificación del suelo

Pascale *et al.* (2008) determinaron, entre otras cosas, el efecto de la fertilización con diferentes fuentes y dosis de fertilizantes fosforados sobre el pH en un *Hapludol típico* de la serie Junín, en el Noroeste de Buenos Aires, observando que la mayor dosis de aplicación del fertilizante (roca fosfórica, 100 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) redujo el pH del suelo de 6,7 a 5,91.

Di Nanno *et al.* (2006) estudiaron la posibilidad de acidificación y liberación de metales de sedimentos anaeróbicos del arroyo Piedrita (Buenos Aires), mediante una resuspensión de los mismos. Los ensayos



demonstraron que una resuspensión de los sedimentos puede acarrear una acidificación del mismo debido, en parte, a la oxidación de los sulfuros.

En la zona de influencia de la U.N.R.C., no se han aportado estudios sobre la acidificación de los suelos por causas antrópicas.



## **HIPÓTESIS**

El agregado de hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) en los suelos representativos de la región centro-sur de Córdoba va a incrementar el porcentaje de saturación de bases del coloide a expensas del intercambio de  $\text{Ca}^{++}$  por  $\text{H}^+$ . Estos últimos serán neutralizados por los  $\text{OH}^-$  generados por la reacción de la cal. Como consecuencia de ello se producirá una elevación del pH a niveles aceptables para la producción de cultivos regionales.

## **OBJETIVOS**

Evaluar la respuesta del agregado de una cal agrícola a diferentes suelos representativos de la región centro-sur de la Provincia de Córdoba, ubicados en la zona de influencia de la UNRC analizando la evolución del pH y el porcentaje de calcio intercambiable.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### I- Área de estudio

Se trabajó sobre cuatro suelos de distinta textura, representativos de la variabilidad textural de la zona de influencia de la UNRC: suelos franco limosos, franco y arenoso francos. La toma de muestras se realizó tomando como base cartográfica el Atlas de Suelos de Córdoba (Gorgas y Tassile, 2003), y la Zonificación de tierras del Departamento Río Cuarto (Cantero et al., 1986).

Los sitios de muestreo fueron georeferenciados y se trabajó con el material del epipedón mólico, (aproximadamente 0-15 cm).

El criterio por el cual se seleccionaron los lotes a muestrear fue en relación con su textura, eligiendo aquellos lotes con intensa historia de uso y de esta manera la sospecha de que presenten un pH ácido, no teniendo en cuenta la historia específica de uso de cada lote seleccionado. Es decir, se eligieron 4 lotes que representan la variabilidad textural de la zona, prefiriendo aquellos más degradados.

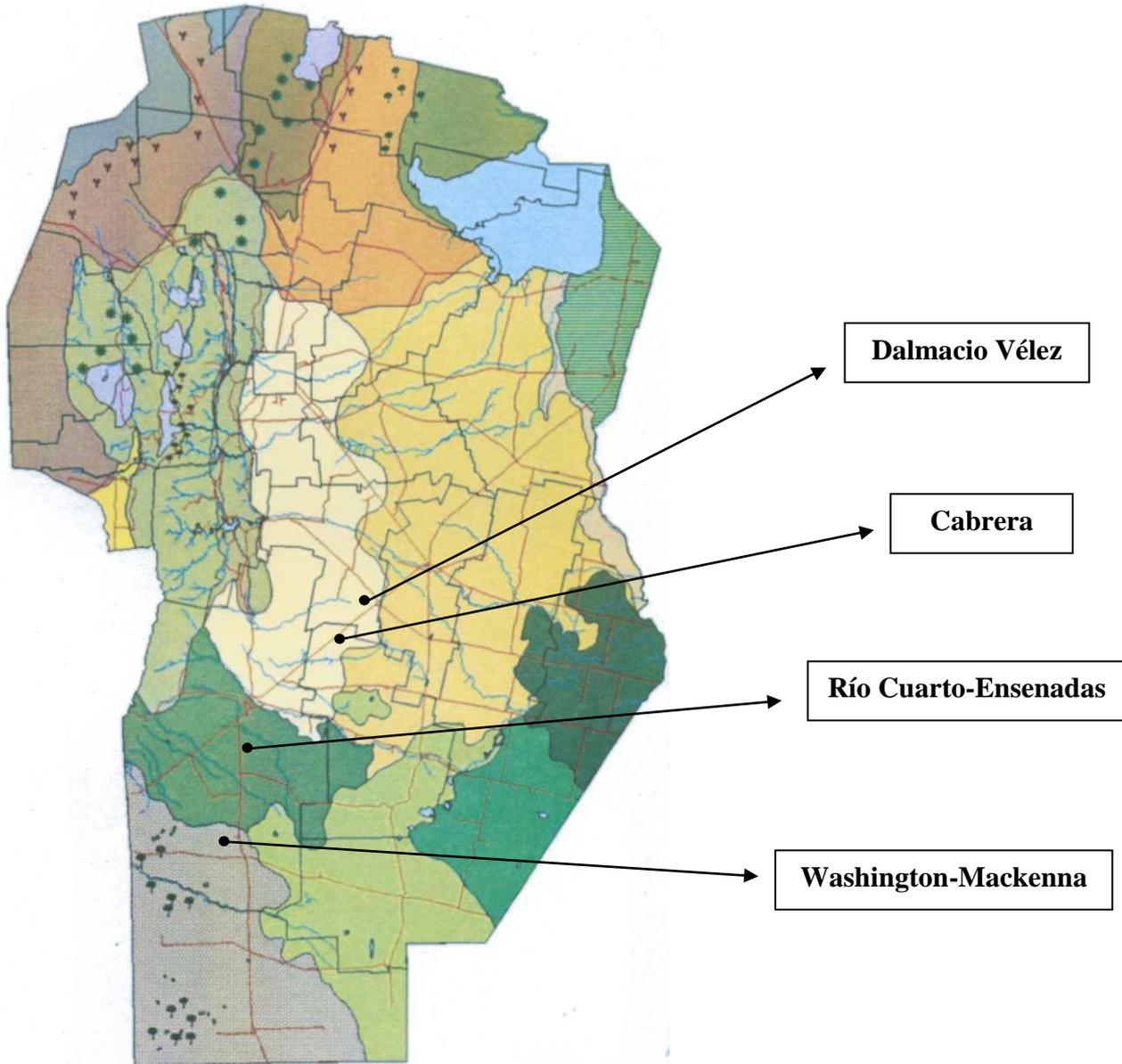
Teniendo en cuenta las pautas antes mencionadas se escogieron los siguientes materiales, que son representativos de aproximadamente 400.000 ha ubicadas en el área de influencia de la UNRC, (Tabla N° 1 y figura N° 1).

**Tabla N° 1: Localidad, ubicación, superficie que ocupan y tipos de suelos representativos seleccionados para el ensayo.**

Localidad	Coordenadas	Sup. (has.)	Suelo
Washington-Mackenna	33° 52' S 64° 41' O	86090,30	<i>Ustipsamment típico</i>
Cabrera	33° 50' S 63° 53' O	45567,70	<i>Haplustol éntico</i>
Río Cuarto-Ensenadas	33° 20' S 64° 25' O	79972,15	<i>Haplustol údico</i>
Dalmacio Vélez	32° 36' S 63° 34' O	193284,00	<i>Haplustol éntico</i>

Los datos de superficie y suelo se obtuvieron del Atlas de suelos (Gorgas y Tassile, 2003) y las coordenadas de Google Earth (versión 4.2, año 2007).

**Figura N° 1: Ubicación geográfica de los suelos muestreados en el centro-sur de la provincia de Córdoba.**



## II- Características Físico-químicas de los suelos estudiados.

En la tabla N° 2 se detallan los datos analíticos originales de interés de los suelos estudiados, determinados previo al ensayo de encalado.

**Tabla N° 2: Datos analíticos de los suelos estudiados.**

Localidad	CIC	M.O.	Arcilla	Limo	Arena	Textura	pH	% Ca
Washington-Mackenna	9,26	1,37	7,50	16,50	76,00	Arenoso franco	6,25	59,11
Cabrera	11,40	1,37	7,60	36,20	56,20	Franco arenoso	5,4	52,87
Río Cuarto-Ensenadas	16,24	2,89	14,80	34,00	51,20	Franco	5,76	50,20
Dalmacio Vélez	13,37	1,90	16,70	68,70	14,60	Franco limoso	5,74	59,23

Como se aprecia en la tabla N° 2, los suelos estudiados poseen diferentes porcentajes de arcilla, materia orgánica (MO) y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Estos valores cubren la gama regional de suelos correspondientes al área de estudio de la UNRC.

## III- Tratamientos y diseño experimental

Se tomaron cuatro muestras por cada tipo suelo, del horizonte A, a 0-15 cm según lo indicado por Pilatti y Orellana (1994).

Las muestras de cada localidad fueron secadas al aire, tamizadas por un tamiz con malla de 5 mm y mezcladas para unificarlas y evitar errores producidos por el azar. Posteriormente, con las muestras homogéneamente mezcladas, se tomaron alícuotas de 500 g de suelo y se colocaron en cada una de las macetas.

Inicialmente, se determinó pH, % Ca intercambiable, MO y CIC (ver tabla N° 2). Luego, en función de los datos analíticos obtenidos se calculó la dosis a aplicar de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , se colocó en cada maceta la dosis correspondiente y se mezcló vigorosamente para lograr uniformidad. Se llevó a capacidad de campo (CC) y se dejó incubar, monitoreando el contenido de humedad semanalmente, colocando agua destilada cuando era necesario para mantener la humedad.

A cada suelo se le colocó 5 dosis diferentes, con 3 repeticiones cada una. Es decir existían 15 macetas por suelo.

En la tabla N° 3 se muestra de manera esquemática el diseño realizado. Los diferentes números indican diferentes dosis de enmienda agregadas por cada 500 g de suelo, lo que representa una determinada cantidad de kilogramos de cal por hectárea que varía según su densidad aparente (DAP) y Capacidad de

Intercambio Catiónico (CIC). La enmienda cálcica utilizada fue  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , cuya dosis se calculó en función de la CIC de cada suelo, tomando como referencia los miliequivalentes necesarios de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  para elevar un determinado porcentaje de Ca intercambiable. De esta manera, se necesitan diferentes dosis para elevar un mismo % Ca, según la CIC que presente cada suelo. Es decir, partiendo de un % Ca inicial, se colocaron dosis crecientes para aumentar un 9 % el calcio en las sedes de intercambio con cada una de las dosis. Por ejemplo, si se parte de un suelo cuyo % Ca intercambiable inicial es de 63,8 %, la dosis 2 para ese suelo debe ser tal que eleve un 9 % el Ca intercambiable y lo lleve a 72,8 %, lo que en función de la CIC da una determinada cantidad de kg de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  que se debe colocar en los 500 gramos de suelo (ver ecuación).

**Tabla N° 3: Esquema del diseño experimental realizado en el ensayo.**

WD1	WD2	WD3	WD4	WD5	CD1	CD2	CD3	CD4	CD5
WD1	WD2	WD3	WD4	WD5	CD1	CD2	CD3	CD4	CD5
WD1	WD2	WD3	WD4	WD5	CD1	CD2	CD3	CD4	CD5
ED1	ED2	ED3	ED4	ED5	DD1	DD2	DD3	DD4	DD5
ED1	ED2	ED3	ED4	ED5	DD1	DD2	DD3	DD4	DD5
ED1	ED2	ED3	ED4	ED5	DD1	DD2	DD3	DD4	DD5

**Referencias**

W=Washington-Mackenna

C= Cabrera

E= Río Cuarto-Ensenadas

D= Dalmacio Vélez

Esto se realiza sucesivamente con las siguientes dosis. Cabe aclarar que la dosis 1 corresponde al tratamiento testigo, en donde no se colocó enmienda. De esta manera, en función de lo antes mencionado y utilizando las ecuaciones desarrolladas a continuación se obtuvieron las dosis de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  que se detallan en la tabla N° 4.

**Tabla N° 4: Porcentaje Ca objetivo y dosis de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  colocadas en cada suelo.**

<i>Washington- Mackenna</i>			
Dosis	% Ca objetivo	Dosis (g cal/500 g)	Dosis (kg/ha)
D1	63,81%	0	0
D2	72,81%	0,1417	540
D3	81,81%	0,2834	1080
D4	90,81%	0,425	1619
D5	99,81%	0,5667	2159

<i>Cabrera</i>			
Dosis	% Ca objetivo	Dosis (g cal/500 g)	Dosis (kg/ha)
D1	47,02%	0	0
D2	56,02%	0,1744	712
D3	65,02%	0,3488	1425
D4	74,02%	0,5233	2137
D5	83,02%	0,6977	2850

<i>Río Cuarto – Ensenadas</i>			
Dosis	% Ca objetivo	Dosis (g cal/500 g)	Dosis (kg/ha)
D1	52,22%	0	0
D2	61,22%	0,2485	1006
D3	70,22%	0,4969	2013
D4	79,22%	0,7454	3019
D5	88,22%	0,9939	4025

<i>Dalmacio Vélez</i>			
Dosis	% Ca objetivo	Dosis (g cal/500 g)	Dosis (kg/ha)
D1	60,10%	0	0
D2	69,10%	0,2046	810
D3	78,10%	0,4091	1620
D4	87,10%	0,6137	2430
D5	96,10%	0,8182	3240

Como se aprecia en la tabla N° 4, se llevó la dosis a kg/ha y a valores equivalentes de carbonato de calcio (CO<sub>3</sub>Ca) mediante la utilización del valor de neutralización (Tabla N° 5). Se procedió sumándole a la dosis de Ca (OH)<sub>2</sub> un 36%, ya que esta enmienda posee un valor de neutralización 36 veces mayor que el CO<sub>3</sub>Ca. Este material es de más fácil acceso en el mercado y de menor precio, por lo que desde el punto de vista práctico posee mayor importancia.

#### Ecuación para determinar la dosis de Ca (OH)<sub>2</sub>

$$\text{meq Ca(OH)}_2 \text{ requeridos} = (\% \text{ Ca objetivo} - \% \text{ Ca inicial}) \times \text{CIC}$$

$$\text{g Ca(OH)}_2 \text{ requeridos} = (\text{meq Ca(OH)}_2 \times 34 \text{ mg Ca(OH)}_2) / 1000$$

$$\text{kg Ca(OH)}_2/\text{ha} = [\text{g Ca(OH)}_2] \times \underbrace{((10000 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} \times \text{DAP (Mg/m}^3)/0,000006)/100 \text{ g suelo})}_{\text{gramos de suelo por ha}} \times 1000$$

$$\text{g Ca(OH)}_2/500 \text{ g suelo} = (\text{g Ca(OH)}_2/\text{ha}) \times 500 \text{ g suelo} / \text{g suelo/ha}$$

#### *Referencias:*

- **meq requeridos:** son los meq requeridos para aumentar el % Ca inicial al objetivo
- **% Ca objetivo:** corresponde al 9% superior al anterior para cada dosis. (Tabla N° 4)
- **DAP:** densidad aparente (tn/m<sup>3</sup>) insitu del suelo:
  - Washington- Mackenna: **1,27 tn/m<sup>3</sup>**
  - Cabrera: **1,36 tn/m<sup>3</sup>**
  - Río Cuarto-Ensenadas: **1,35 tn/m<sup>3</sup>**
  - Dalmacio Vélez: **1,32 tn/m<sup>3</sup>**

Se tomo como criterio para seleccionar las dosis aumentar el % de Ca intercambiable, no utilizando una dosis fija e idéntica para los cuatro suelo, ya que interesa la tendencia de las variables analizadas en cada situación particular y realizar recomendaciones para cada ambiente representativo.

Cada 4 semanas, utilizando un pequeño sacabocado, se tomó una submuestra de cada maceta (cada una desde la superficie hasta el fondo del recipiente) en la que se determinó pH y % de Ca intercambiable. Este procedimiento se continuó por 4 meses para observar si las variables medidas continuaban modificándose en el tiempo. Sin embargo, se observó una estabilización del pH y porcentaje de calcio en las primeras 4 semanas, cuyos datos se utilizaron para realizar las conclusiones (gráfico N° 1)

#### **IV- Determinaciones:**

Se realizaron las siguientes determinaciones, con sus respectivas metodologías:

- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): por saturación del complejo de intercambio con sodio y determinación de éste por espectrofotometría de absorción atómica (EEA) (Page, 1982).
- Porcentaje de calcio intercambiable: por desplazamiento con acetato de amonio y determinación por EAA (Page, 1982).
- pH: Relación suelo agua 1:2,5, método potenciométrico
- Materia orgánica: Se determinó el contenido de carbono orgánico del suelo, utilizando el método de MEBIUS modificado (Kononova, 1982)
- Densidad aparente: Se utilizó el método del cilindro (Coile, 1936).

#### **V- Interpretación de los resultados**

Para evaluar la respuesta del encalado se utilizó el método de titulación (Mc Lean et al., 1960 y Pratt & Bair, 1962) determinando el pH y % de Ca generado en cada suelo a diferentes dosis, remitiéndonos a procedimientos también realizados por Carrizo y Pilatti (2008). Del mismo modo, teniendo en cuenta la hipótesis de que el calcio va a ir a ocupar las sedes de intercambio, se evaluó la respuesta de la enmienda utilizando como metodología el análisis de masas, en donde se determinó la relación entre los gramos de Ca (OH)<sub>2</sub> agregados y el % Ca intercambiable logrado.

Las relaciones entre la dosis y las variables medidas (pH y % Ca intercambiable) fueron sometidas a análisis de correlación y ajuste lineal, a los fines de obtener las diferentes capacidades amortiguadoras de los distintos suelos.



Estos resultados permitieron establecer una aproximación a los requerimientos de corrector de los suelos. Por otro lado, para la interpretación de los datos también se utilizó estadística descriptiva y análisis de la varianza con el programa InfoStat (Grupo InfoStat, 2006).

Lo dicho anteriormente se realizó para evaluar la respuesta de cada suelo y realizar recomendaciones para cada uno en particular. Por otro lado se trabajó realizando análisis comparativos entre suelos. Entre ellos se comparó la variación de pH experimentada con el aumento de dosis. También evaluó la correlación entre la capacidad buffer y características del suelo como CIC, % de arcilla y % MO.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Ensayo de encalado

En las primeras 4 semanas hubo una rápida reacción de la cal agregada, mientras que en el resto de las mediciones no se encontraron aumentos que superaran al ya experimentado. Debido a este comportamiento, se usaron para el análisis los datos obtenidos en la primera medición.

A continuación, en la tabla N° 5, se observan los resultados de los ensayos, para cada suelo, realizando un promedio de las 3 repeticiones para cada dosis.

**Tabla N° 5: pH y porcentaje de Ca obtenidos con cada una de las dosis asignadas para cada suelo, expresadas en equivalente a CO<sub>3</sub>Ca (kg /ha).**

Washington-Mackenna				Cabrera			
Submuestra	Dosis CO <sub>3</sub> Ca (kg /ha)	pH	% Ca	Submuestra	Dosis CO <sub>3</sub> Ca (kg /ha)	pH	% Ca
1	0	6,2533	59,11%	1	0	5,4800	49,43%
2	734	6,6900	62,60%	2	969	6,1967	52,87%
3	1468	6,9367	64,08%	3	1938	6,3133	55,93%
4	2202	7,5533	70,00%	4	2907	6,3067	65,73%
5	2936	7,7967	77,00%	5	3876	6,2900	65,70%

Río Cuarto - Ensenadas				Dalmacio Vélez			
Submuestra	Dosis CO <sub>3</sub> Ca (kg /ha)	pH	% Ca	Submuestra	Dosis CO <sub>3</sub> Ca (kg /ha)	pH	% Ca
1	0	5,7567	50,20%	1	0	5,7400	59,23%
2	1369	6,2100	53,43%	2	1102	6,4200	60,47%
3	2737	6,6367	54,03%	3	2203	6,8100	61,20%
4	4106	7,1833	55,93%	4	3305	7,3400	63,20%
5	5474	7,5000	61,20%	5	4407	7,4933	65,47%

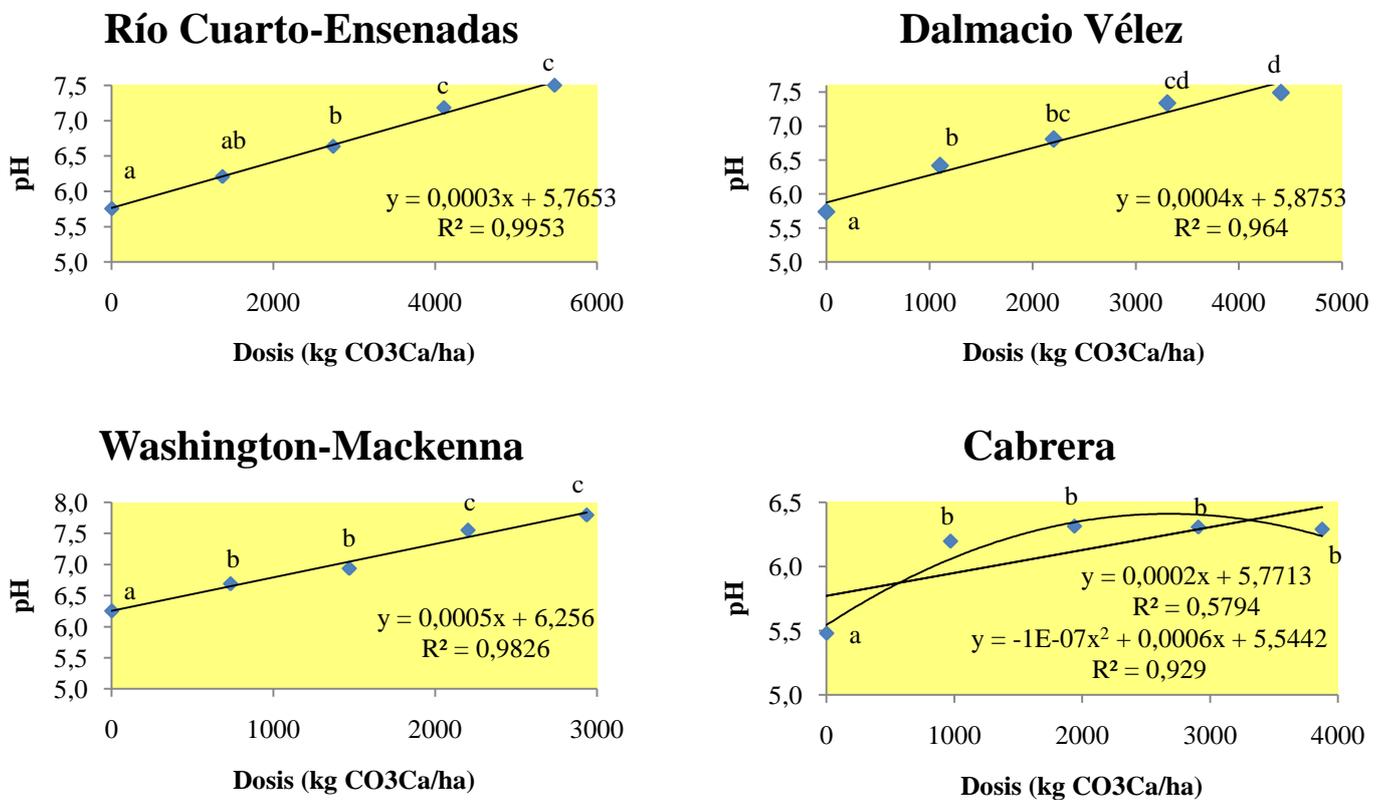
Se realizó el análisis, por un lado individual de cada suelo para determinar su comportamiento, y también se estableció una comparación estudiando los cuatro suelos en su conjunto.

#### A- Análisis individual de cada suelo

En esta etapa se determinó la respuesta de cada suelo al agregado de la enmienda cálcica. Se analizó el comportamiento del pH y el porcentaje de calcio, obteniendo una curva de titulación para cada suelo y cada variable.

### 1- Curvas de titulación

En todos los casos se observó un incremento del pH con el agregado creciente de dosis de cal, similar a lo obtenido por Carrizo y Pilatti (2008) en Argiudoles del centro de la Provincia de Santa Fe. Hay una alta correlación lineal entre las variables ( $R^2 > 0,95$ ), salvo en Cabrera donde la relación fue menor (gráfico N° 1), seguramente debido a la existencia de otros factores que afectan el comportamiento del suelo generado por la historia en particular del lote muestreado. En este caso se aproxima más a una respuesta cuadrática ( $R^2 = 0,929$ ), observándose un incremento importante con la segunda dosis y una respuesta cada vez menor con las siguientes. Habría que estudiar este suelo de manera más precisa para poder definir a que se debió este comportamiento.



**Grafico N° 1: Correlación entre la dosis de  $CO_3Ca$  (kg/ha) colocadas y su respuesta en el pH en los cuatro suelos contrastantes. (Letras diferentes indican diferencias significativas con un  $p \leq 0,05$ ).**

Esta correlación encontrada indica la elevada respuesta de los suelos y permite determinar la cantidad necesaria de enmienda cálcica a colocar para la elevación del pH a un determinado valor. Las diferencias en las dosis requeridas para elevarlo, tiene una fuerte dependencia con la capacidad buffer de cada suelo (Tabla N° 6).

**Tabla N° 6: Dosis aproximada de CO<sub>3</sub>Ca (kg/ha) requeridas para elevar en distintas unidades el pH en los cuatro suelos contrastantes.**

Localidad	pH			
	0,5	1	1,5	2
Washington-Mackenna	1000	2000	3000	4000
Cabrera	2500	5000	7500	10000
Río Cuarto-Ensenadas	1500	3500	5000	6500
Dalmacio Vélez	1500	2500	4000	5000

En la tabla N° 6 se detallan las dosis necesarias para elevar cada valor de pH en los cuatro suelos representativos estudiados. Las mismas se obtuvieron mediante la aplicación de la ecuación de regresión de los gráficos (Ver gráfico N° 1). Solo se consideró la elevación en 2 puntos el pH, debido a que fue la variación obtenida en el ensayo. Cabe aclarar que se redondeó para su mejor comprensión.

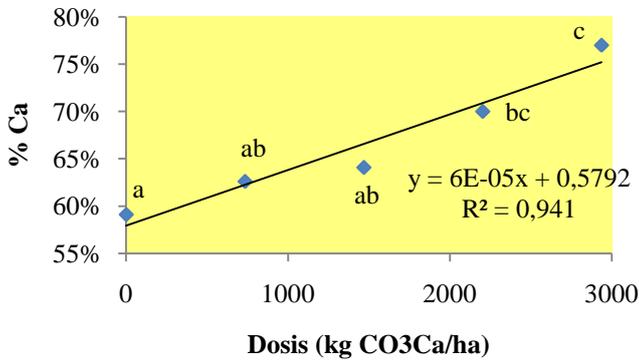
Con estos datos podemos recomendar la dosis de CO<sub>3</sub>Ca que requiere un determinado suelo para llegar a valores de pH cercanos a la neutralidad. Por ejemplo si un suelo presenta pH 5 y se quiere llevar a 6,5, se necesitara elevar 1,5 puntos el pH, lo que equivale, según la capacidad buffer, a una determinada dosis de CO<sub>3</sub>Ca/ha.

Al comparar estos resultados con los datos iniciales de los suelos, sería necesario elevar el pH entre 0,5 a 1,5 puntos para alcanzar valores ideales en cada situación. Esta elevación requiere diferentes dosis de CO<sub>3</sub>Ca según se trate de uno u otro suelo. Las dosis no siguen una relación razonable con las características químicas de los suelos, debido a que no existe correlación entre las mismas con la capacidad buffer de los mismos. Este punto se explicara más adelante en el análisis comparativo de los 4 suelos.

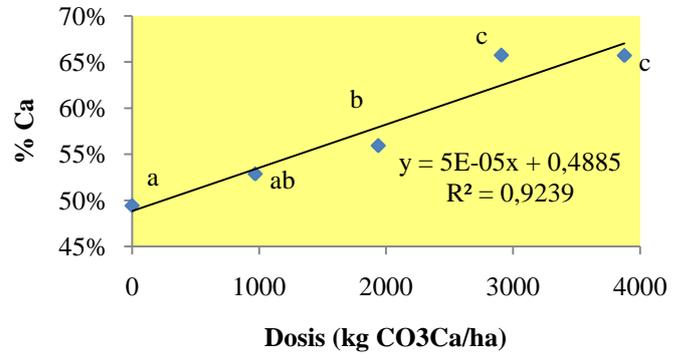
También se puede apreciar que las dosis en general, expresadas en kg de CO<sub>3</sub>Ca/ha, son muy elevadas. Para lograr elevar el pH a los valores objetivos, se hace necesaria la manipulación de mucho material encalante y quizás la utilización de encaladoras específicas para estas tareas.

De manera similar se analizó el porcentaje calcio intercambiable, cuyas curvas de titulación son las siguientes (gráfico N° 2)

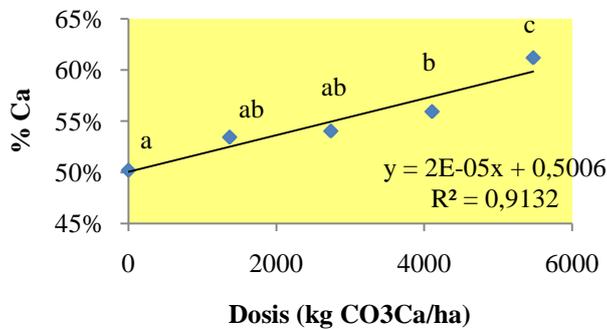
### Washington-Mackenna



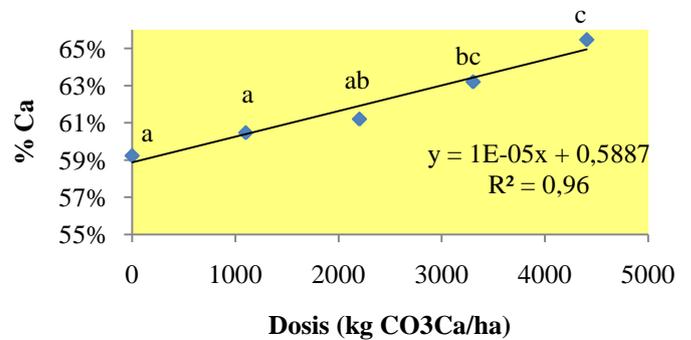
### Cabrera



### Río Cuarto-Ensenadas



### Dalmacio Vélez



**Grafico N° 2: Correlación entre las dosis de CO<sub>3</sub>Ca (kg/ha) colocadas y su respuesta en el % Ca intercambiable en los cuatro suelos contrastantes. (Letras diferentes indican diferencias significativas con un  $p \leq 0,05$ ).**

En ambas curvas de titulación (dosis vs pH; dosis vs % Ca) se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, observando para este ensayo diferencias según las dosis aplicadas (letras en los gráficos 1 y 2).

Con respecto al grafico N° 2 se puede observar que en todos los suelos el comportamiento fue similar, teniendo un ajuste lineal con una alta correlación ( $R^2 > 0,9$ ). De manera similar al análisis hecho con la curva de pH, ésta también nos permite determinar los kg de CO<sub>3</sub>Ca/ha requeridos para alcanzar un valor objetivo de Ca<sup>++</sup> en el complejo de intercambio, en caso que sea éste el criterio usado para la corrección del suelo, (Tabla N° 7).

**Tabla N° 7: Dosis aproximada de CO<sub>3</sub>Ca (kg/ha) requeridas para elevar en un determinado porcentaje el valor de % Ca intercambiable en los cuatro suelos contrastantes.**

Localidad	% Ca			
	5%	10%	15%	20%
Washington-Mackenna	1000	1500	2500	3500
Cabrera	1000	2000	3000	4000
Río Cuarto-Ensenadas	2500	5000	7500	10000
Dalmacio Vélez	5000	10000	15000	20000

Si aplicamos esta tabla, por ejemplo, para un suelo en el que se quiera lograr 60 % de Ca en el intercambio y se encuentra con 45 %, debemos aumentar 15 %, lo que se logra con una dosis determinada según la capacidad buffer del suelo de cada localidad. Por ejemplo para Cabrera se requieren 3000 kg de CO<sub>3</sub>Ca/ha. Los valores de esta tabla, al igual que los de la tabla N° 6, se obtuvieron mediante la aplicación de la fórmula de regresión obtenida, en este caso, del gráfico N° 2. Solo se determinó la dosis requerida para elevar hasta un 20 % el calcio en el intercambio ya que fue la variación lograda en el ensayo. Cabe aclarar que las dosis son aproximadas para mejorar la comprensión.

Observando los datos iniciales de cada suelo antes del ensayo, se requiere aumentar entre un 5 a 10 % el calcio en el intercambio para llegar a valores normales en el complejo de intercambio (60-65%).

## **2- Análisis de masa**

Teniendo en cuenta la hipótesis de que el calcio colocado con la enmienda ocupa la sedes de intercambio a expensas del intercambio de Ca<sup>++</sup> por H<sup>+</sup>, se estableció una comparación entre los kg/ha de CO<sub>3</sub>Ca colocados y los kg de calcio/ha obtenidos (tabla N° 8). De esta manera se puede establecer la eficiencia con que el calcio cumplió la función deseada y que porcentaje se perdió por otros procesos. Para determinar esto se calculó los kg/ha de calcio que representan cada una de las dosis. Luego al porcentaje de calcio logrado se le descontó el inicial, es decir se determinó en que porcentaje se elevó con cada dosis. A éste valor se lo llevó a kg/ha para establecer la comparación entre los kg/ha de calcio colocado y obtenidos.

**Tabla N° 8: Análisis de Masa de los cuatro suelos contrastantes.**

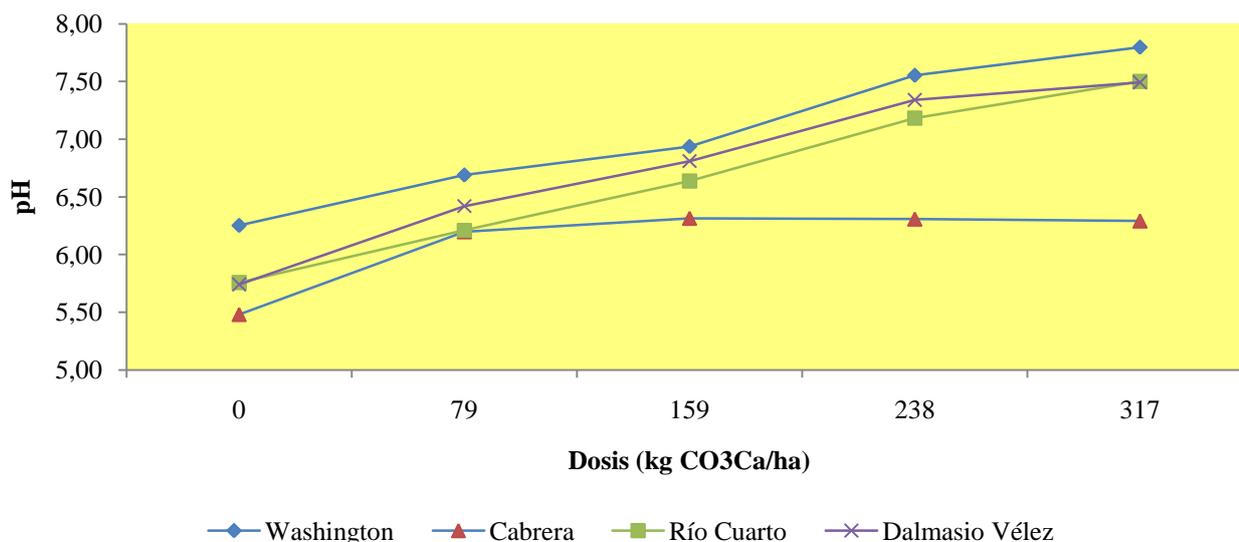
Localidad	Dosis CO <sub>3</sub> Ca (kg /ha)	Kg Ca/ha colocados	Kg Ca/ha obtenidos	Eficiencia
Washington-Mackenna	0	0,00	0	-
	734	293,65	123,36	<b>42,01%</b>
	1468	587,29	175,58	<b>29,90%</b>
	2202	880,94	384,32	<b>43,63%</b>
	2936	1174,59	631,29	<b>53,75%</b>
Cabrera	0	0,00	0	-
	969	387,58	159,88	<b>41,25%</b>
	1938	775,17	302,68	<b>39,05%</b>
	2907	1162,75	759,04	<b>65,28%</b>
	3876	1550,34	757,49	<b>48,86%</b>

Localidad	Dosis CO <sub>3</sub> Ca (kg /ha)	Kg Ca/ha colocados	kg Ca/ha obtenidos	Eficiencia
Río Cuarto-Ensenadas	0	0,00	0	-
	1369	547,43	212,66	<b>38,85%</b>
	2737	1094,87	252,13	<b>23,03%</b>
	4106	1642,30	377,09	<b>22,96%</b>
	5474	2189,73	723,49	<b>33,04%</b>
Dalmacio Vélez	0	0,00	0	-
	1102	440,67	65,3	<b>14,82%</b>
	2203	881,35	104,13	<b>11,81%</b>
	3305	1322,02	210,02	<b>15,89%</b>
	4407	1762,69	330,03	<b>18,72%</b>

Parte del calcio colocado con la aplicación de la enmienda, ocupa las sedes y parte se pierde por otros procesos no formando parte del complejo de intercambio. Esto indica que existe gran ineficiencia en la técnica, en donde más de la mitad del calcio colocado, para todos los casos, no se dirige hacia el complejo, reaccionando con otros componentes del suelo. Esta temática no se abordó en el trabajo, pero es importante tener presente la eficiencia con la que se trabaja, desde el punto de vista del balance de calcio.

#### **B- Análisis comparativo de los 4 suelos**

Para poder realizar una comparación de los 4 suelos, y teniendo en cuenta que las cantidades de enmienda agregada fueron diferentes según la CIC de cada uno, se procedió realizando el cociente entre la dosis y la CIC, obteniendo los kg de CO<sub>3</sub>Ca/punto de CIC. De esta manera se obtuvieron las dosis que se utilizaron para realizar el siguiente gráfico comparativo:



**Gráfico N° 4: pH logrado en los 4 suelos contrastantes con dosis crecientes de CO<sub>3</sub>Ca.**

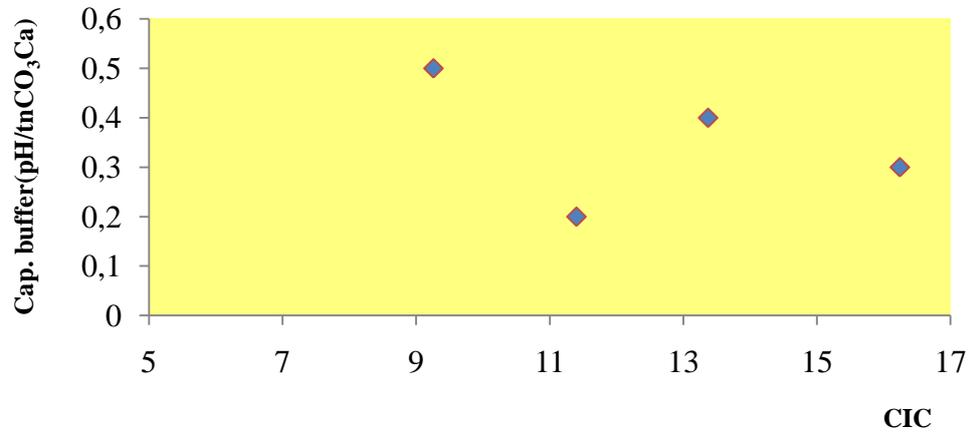
El incremento del pH en función de la dosis creciente de cal se ajusta a una ecuación lineal. Esta relación se observa en todos los suelos con en  $R^2$  mayor a 0,95, salvo en Cabrera, en donde el ajuste es menor. Éste es un suelo muy degradado que viene con una extensa historia de maní, donde se supone que hay otras variables que están interviniendo, por lo que habría que estudiarlo más específicamente y tratar de dilucidar a que se deben estas respuestas (gráfico N° 3). Salvo este comportamiento particular, en general se observa que los suelos no difieren en gran medida su capacidad buffer. Esto se puede explicar observando que no existe relación entre la CIC, % de MO y % arcilla con la capacidad buffer de cada suelo (Tabla N° 9 y gráfico N° 5). Esta última se obtuvo realizando el cociente entre  $\Delta y/\Delta x$ , es decir la pendiente del gráfico (Gráfico N° 1, pH vs dosis).

**Tabla N° 9: Capacidad buffer, CIC, MO y arcilla de cada suelo representativos**

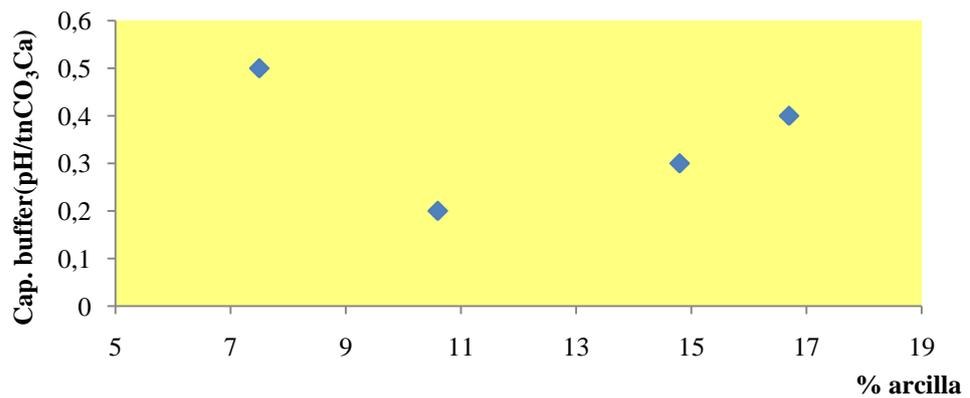
Localidad	CIC (meq/100 g suelo)	% M.O	% Arcilla	Capacidad Buffer (pH/tn de CO <sub>3</sub> Ca)
Washington-Mackenna	9,26	1,37	7,5	0,5
Cabrera	11,4	1,37	10,6	¿0,2?
Río Cuarto-Ensenadas	16,24	2,89	14,8	0,3
Dalmacio Vélez	13,37	1,9	16,7	0,4

En general, afirmando lo dicho anteriormente, la capacidad amortiguadora obtenida en este ensayo no varía ampliamente entre suelos. El único valor fuera del rango es el encontrado en Cabrera, donde se puede pensar que existe algún otro componente que está interfiriendo en la respuesta de la cal sobre el pH.

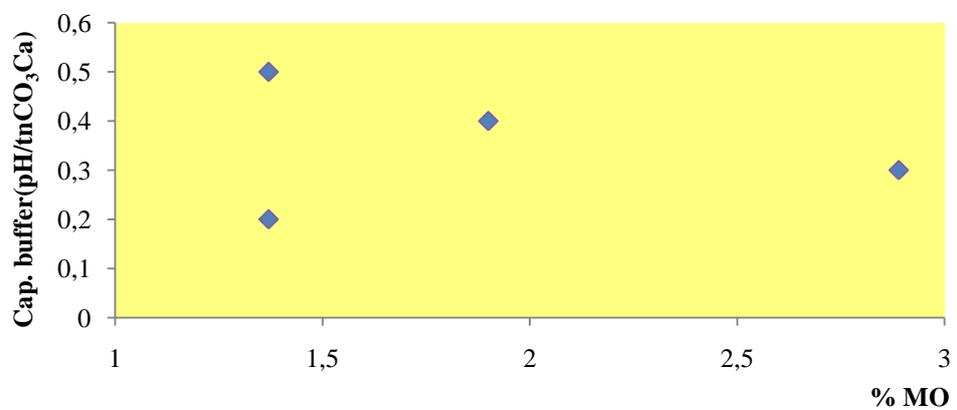
**CIC vs Cap. buffer**



**% arcilla vs Cap. buffer**



**% MO vs Cap. buffer**



**Grafico N° 5: Relación existente entre las variables CIC, % MO y % de arcilla con la capacidad buffer de cada suelo representativo estudiado.**

## CONCLUSIÓN

Existen valores de pH y % de Ca intercambiable que se encuentran por debajo del umbral que necesitan las especies vegetales, utilizadas hoy en día en la agricultura extensiva, para poder desarrollarse con normalidad, lo que se hace imprescindible la aplicación de este tipo de enmiendas para garantizar que el suelo tenga un pH cercano a la neutralidad y el coloide con sus bases en equilibrio.

En todos los casos evaluados se incrementó el porcentaje de saturación con calcio, lo que generó un aumento del pH y % de Ca intercambiable de los suelos a valores aceptables para el desarrollo de los cultivos regionales.

Este ensayo aporta una herramienta de manejo para diagnosticar la necesidad de enmiendas calcáreas, determinado los kg/ha de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  a colocar para lograr un determinado valor de pH o % de Ca intercambiable en cada uno de los suelos representativos ubicados en el área de influencia de la UNRC.

La aplicación de enmiendas cálcicas para la corrección de la acidez de los suelos, generada por la intensa extracción de bases, es sin duda una técnica más a incorporar en los sistemas productivos del área influenciada por la UNRC.



## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA

Es necesaria más investigación sobre esta temática, incorporando otro tipo de materiales de uso comercial como el carbonato de magnesio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), Carbonato de calcio ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), etc., que brinden más información sobre el comportamiento de los suelos ante el agregado de otro tipo de cales agrícolas y determinar la más eficiente para cada uno.

Sería necesario llevar a cabo estos ensayos a campo donde el ambiente interactúe permanentemente con los suelos, lo que daría resultados aún más reales para realizar recomendaciones a los productores de cada zona representativa, incluyendo la respuesta biológica de los vegetales a las modificaciones del pH y saturación de bases, como lo realizado por Gambaudo y Fontanetto (1996), quienes utilizaron como material al  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (Dolomita) y evaluaron la respuesta biológica, obteniendo incrementos significativos del rendimiento en soja (*Glycine max*).

Por otro lado sería interesante estudiar las técnicas de aplicación de la cal agrícola y determinar la maquinaria más apropiada y menos costosa para realizar esta labor.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, A., Guaymasi, D., Millán, G., Terminiello, A. y M. Vázquez.** 2008. *Efecto de agregado de correctores de la acidez sobre un suelo Argiudol típico de la Pcia. de Buenos Aires.* XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, 2008. Comisión 4. pp 63-130.
- Bachmeier, O. A., Rollán, A. A. y R. Sereno.** 2004. *Desorción de iones intercambiables. Efecto de la intensidad de cultivo.* XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. pp 66-536.
- Bordoli, J. M. y O. N Casanova.** 2004. *Encalado en soja en el N.E. de Uruguay.* XIX Congreso argentino de la ciencia del suelo, Paraná, Santa Fe, Argentina, 2004. pp 184-536.
- Bremen, N.** 1991. *Soil acidification and alkalization.* In Ulrich, B., M.E. Sumner (eds): *Soil acidity.* Springer-Verlag.
- Cantero, A., Bricchi, E., Becerra, V. H., Cisneros, J. M. y H. Gil.** 1986. *Zonificación y descripción de las tierras del Departamento Río Cuarto (Córdoba).* Publicación de la UNRC, 80 pag. una carta.
- Carrizo, M. E., Pilatti, M. A. y O. Felli.** 2008. *Complejo intercambiable y acidez del suelo en Argiudoles del centro de Santa Fe.* XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, 2008. Comisión 1. pp 44-94.
- Carrizo, M. y M. Pilatti.** 2008. *Dosis de encalado para Argiudoles del centro de Santa Fe. Propuesta preliminar de un procedimiento para estimarla.* XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, 2008. Comisión 4. pp 68-130.
- Coile, T.S.** 1936. *Soil saraplers.* Soil Sci. 42:139-141.
- Dorronzoro, A., Hernández, J. P., Casciani, A. y M. Vázquez.** 2006. *Efecto de agregado de P y correctores básicos sobre el rendimiento de soja y sus componentes.* XX Congreso argentino de la ciencia del suelo, provincia de Salta y Jujuy, Argentina, 2006. Comisión 3. pp 251-523.
- Di Nanno, M. P., Curutchet, G. y S. Ratto.** 2006. *Riesgo de acidificación y liberación de metales por resuspensión de sedimentos anaeróbicos.* XX Congreso argentino de la ciencia del suelo, provincia de Salta y Jujuy, Argentina, 2006. Comisión 1. pp 61-112.
- Duchaufour, P.** 1975. *Manual de edafología.* Toray-Masson, S.A. Barcelona.
- Foy, C. D.** 1984. *Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil.* En F. Adams (ed). *Soil acidity and liming.* Agronomy 12:57-98.

- Gallardo, J. F., Gonzáles, M. I. y J. J. Obrador.** 2004. *Evolución de las propiedades de un suelo forestal tras la aplicación de un subproducto calizo*. XIX Congreso argentino de la ciencia del suelo, Paraná, Santa Fe, Argentina, 2004. pp 58-536.
- Gambaudo, S. y H. Fontanetto.** 1996. *Respuesta del cultivo de soja al encalado*. INTA EEA Rafaela. Área de investigación agronomía. Información técnica n° 201. 3p.
- García, M., Terminiello, A., Ardanaz G., Casciani, A. y M. Vázquez.** 2008. *Respuesta de una pastura base alfalfa al encalado en un tambo del SO de Córdoba*. XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, 2008. Comisión 4. pp 36-130.
- Gelati, P.** 2006. *Acidificación de los suelos en ámbitos templados, diagnóstico y tratamientos*. XX Congreso argentino de la ciencia del suelo, provincia de Salta y Jujuy, Argentina, 2006. Mesa redonda 2. pp 1-4.
- Google Ehart.** 2007. Explorador de imágenes satelitales. Versión 4.2.
- Gorgas, J. y J. Tassile.** 2003. *Los suelos de la Provincia de Córdoba*. Escala 1:500.000. Agencia Córdoba Ciencia, provincia de Córdoba, Argentina.
- Grupo Infostat.** 2006. InfoStat/Profesional 2006p.2 <http://www.infostat.com.ar>. Acceso 21/01/2010.
- Hanlon, E. A. y F. M. Rhoads.** 1998. *Principles of ecology in plant production*. Agronomy department, University of Florida, USA.
- Hernández, J., Vázquez, M., Terminiello, A. y M. García.** 2006. *Movimiento descendente de bases en un suelo tratado con correctores de acidez y yeso*. XX Congreso argentino de la ciencia del suelo, provincia de Salta y Jujuy, Argentina, 2006. Comisión 3. pp 336-523.
- Kononova, M.** 1982. *Materia orgánica del suelo. Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Oikos-Tau, S.A., edición Barcelona- España.
- Mc Lean, E. O., Shoemaker, H. E. y W. R. Hourigan.** 1960. Some effects of aluminum on lime requirement test of soils. Transtaction of 7<sup>th</sup> int. Con. Of soil sci. v.2, pp. 142-151.
- Page, A. L. (ed).** 1982. *Methods of soil analysis*. Part 1 Number 9 American society of agronomy, Inc. Soil Science society of América, Inc. Segunda edición. Madison, Wisconsin. USA. 1159 pags.
- Pairetti, N. A. y S. Gambaudo.** 2004. *Determinación de la tasa de disolución de una enmienda dolomítica en un suelo*. XIX Congreso argentino de la ciencia del suelo, Paraná, Santa Fe, Argentina, 2004. pp 233-536.

- Pascale C., Heredia, O. S., Perón, R. y J. Spotorno.** 2008. *Cambios en propiedades químicas del suelo por efecto de los fertilizantes fosforados bajo cultivo de maíz.* XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, 2008. Comisión 1. pp 21-94.
- Pellegrini, A. E., Lanfranco, J. W., Millán, G. y M. E. Vázquez.** 2004. *Calcio y magnesio en el suelo. Efectos sobre el cultivo de alfalfa.* XIX Congreso argentino de la ciencia del suelo, Paraná, Santa Fe, Argentina, 2004. pp 191-536.
- Pilatti M. A. y J. A. Orellana.** 1994. *Instrucciones para tomar muestras de suelos.* 2ª Ed., corregida y ampliada. Comunicaciones FAVE, C-002- AD-002; 10pp.
- Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M. y C. Roquero de Laburu.** 1994. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Pratt, P. F. y F. L. Bair.** 1962. *Buffer methods for estimating lime and sulphur applications for pH control of soils.* Soil Sci. 93: 329-332.
- Rodríguez, M. L., Becker, A. R., Cantú, M. P., Schiavo, H. F., Parra, B. J. y J. C. Bedano.** 2008. *Evaluación del impacto del uso y manejo del suelo sobre las propiedades químicas en Hapludoles Típicos en la cuenca del arroyo la Colacha, Provincia de Córdoba, argentina.* XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, 2008. Comisión 4. pp 123-130.
- Ron, M. M., Facchinetti, C., Mandolesi, M. E. y R. J. Kiessling.** 2004. *Efecto de la acción antropica sobre índices químicos de calidad edáfica en un lote productivo del partido de Tornquist.* XIX Congreso argentino de la ciencia del suelo, Paraná, Santa Fe, Argentina, 2004. pp 150-536.
- Sainz Rozas, H. y H. E. Echeverría.** 2008. *Relevamiento de la concentración de fósforo asimilable en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana.* XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, 2008. Comisión 3. pp 36-101.
- Schelling, J.** 1970. *Soil genesis, soil classification and soil survey.* Geoderma 4: 165-193.
- Toniutti, M., Fornasero, L., Baraibar, A., Mollo, J. y D. Tenorio.** 1997. Conferencia dictada en las II Jornadas Nacionales de Corrección y Mejoramiento de Suelos con Encalado. Vaquerías. Córdoba.
- Torella, J. L., Faita, E. C., Introcaso, R. M. y J. M. Guecaimburu.** 2006. *Encalado y fertilización nitrófosfatada: efecto en la producción inicial de trébol rojo (Trifolium pratense L.).* XX Congreso argentino de la ciencia del suelo, provincia de Salta y Jujuy, Argentina, 2006. Comisión 3. pp 43-523.
- Vázquez, M., Casciani A., Cánova, D. y A. Terminiello.** 2006. *Efectos de correctores básicos sobre el rendimiento de soja en un Argiudol Vértico de Santa Fe.* XX Congreso argentino de la ciencia del suelo, provincia de Salta y Jujuy, Argentina, 2006. Comisión 3. pp 250-523.



**Vázquez, M., Terminiello, D., Duhour, A. y C. Brussino.** 2008. (a). *Efecto de los correctores de acidez sobre la estructura y porosidad de un Argiudol típico de la pradera pampeana.* XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, 2008. Comisión 1. pp 1-94.

**Vázquez, M., Millán, G., Agosto, F., Botto L., Lombardi L. y L. Juan.** 2008. (b) *Estudio de la dinámica de las bases en la solución del suelo con el uso de clinoptilolita-ca como corrector de la acidez en un suelo bonaerense.* XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, 2008. Comisión 3. pp 22-101.