



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
CURSO MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS

MATERIAL TEÓRICO
INGENIERÍA FORESTAL

UNIDAD DIDÁCTICA C5 (1 de 2)
Manejo de Suelos Ácidos

2018

*Material desarrollado sobre la base del capítulo
"Calcio y Magnesio. Manejo de Fertilización y Enmiendas"
Dra. M. Vázquez, Dr. A. Pagani - 2013*

OBJETIVO

Establecer las causas naturales y antrópicas que dan origen a la acidez de los suelos y conocer la susceptibilidad de las distintas especies a la problemática. Analizar las consecuencias de dicha problemática sobre componentes de la fertilidad edáfica. Brindar elementos sobre bases científicas para el diagnóstico en diferentes tipos de suelos y pautas para su tratamiento.

RESUMEN

La necesidad y exportación de calcio y magnesio de los diferentes cultivos es muy variable, siendo en general las leguminosas y algunos cultivos intensivos, las especies más exigentes. La acidez de los suelos puede ser natural provocada por la meteorización y lavado de bases, como en las zonas subtropicales o tropicales, ó antrópica, fundamentalmente por la exportación de bases por las cosechas sin reposición y la fertilización nitrogenada. Esta última es un problema emergente en varias regiones templadas como la Pampeana Argentina. Los perjuicios de la acidez son la toxicidad de Al en situaciones de pH muy ácido, deficiencia/desbalance de nutrientes básicos algunos efectos secundarios como disminución de actividad microbiana y hasta problemáticas físicas. El pH actual y potencial, el contenido de Al intercambiable y la saturación básica son los principales elementos de diagnóstico en zonas tropicales, mientras que el pH actual y potencial, la saturación básica general y de cada base en particular, así como relaciones entre las bases intercambiables, son los elementos de diagnóstico utilizados en zonas templadas. Estas relaciones pueden brindar pautas para la elección de la enmienda, a los fines de no aumentar la deficiencia relativa de alguna base en particular. Existen algunos métodos de diagnóstico adicionales como las incubaciones, titulaciones y los denominados métodos de "buffer". Todos ellos requieren de calibraciones para los sistemas productivos (suelo-clima-cultivo) donde se utilicen. El tratamiento de la problemática denominado genéricamente encalado, utiliza calcita, dolomita, óxido e hidróxido de calcio y conchilla como principales enmiendas. Existe una norma IRAM que regula estos productos. La eficiencia de los mismos depende del poder de neutralización del producto, su pureza y tamaño de partícula. Las dosis varían desde unos cientos de kg para regiones templadas hasta varias toneladas/ha para ámbitos tropicales. En situaciones extremas de acidez se y cultivos sensibles se aplican anualmente, en ámbitos templados se lo hace cada 2-4 años. Existen experiencias en el ámbito templado argentino que evidencian respuesta positiva en cultivos como alfalfa y soja. Entre los efectos adversos del encalado pueden citarse deficiencias inducidas de fósforo y zinc, y hasta aumento de la resistencia a la penetración en dosis altas en suelos de acidez media.

ÍNDICE

| | |
|--|---------------|
| REQUERIMIENTOS DE CALCIO Y MAGNESIO DE LOS CULTIVOS..... | - 2 - |
| PRINCIPALES FUENTES DE ACIDEZ..... | - 3 - |
| DIAGNÓSTICO DE NECESIDADES DE ENCALADO | - 5 - |
| TIPOS DE ENMIENDAS CALCÁREAS Y TECNOLOGÍA DEL ENCALADO..... | - 11 - |
| REACCIÓN DE LOS CORRECTORES | - 12 - |
| DOSIS DE APLICACIÓN Y RESPUESTA DE ALGUNOS CULTIVOS | - 13 - |
| ALGUNOS EFECTOS SECUNDARIOS DEL ENCALADO | - 17 - |
| CUESTIONARIO | - 19 - |
| BIBLIOGRAFÍA GENERAL CONSULTADA | - 20 - |

REQUERIMIENTOS DE CALCIO Y MAGNESIO DE LOS CULTIVOS

A los fines de analizar el efecto de las distintas especies en el proceso de acidificación de los suelos y potencialidad de respuesta al agregado de correctores básicos se ilustran en la Tabla 1 los requerimientos y/o exportación de Ca y Mg de diferentes cultivos. Los valores de exportación de estos nutrientes son sumamente variables, dependiendo de la especie y los rendimientos.

Tabla 1. Requerimientos y/o exportación de Ca y Mg para diferentes cultivos.

| Especie | Rendimiento | Requerimiento | | Exportación | | Referencia |
|--|--------------|------------------|-----|---------------|-----|---------------|
| | | Ca | Mg | Ca | Mg | |
| Cereales, oleaginosas cultivos industriales | $t\ ha^{-1}$ | | | $kg\ ha^{-1}$ | | |
| Maíz | 9 | 27 | 27 | 2 | 8 | Andrade |
| Trigo | 5 | 15 | 15 | 2 | 8 | et al. (1996) |
| Arroz | 6 | 17 | 14 | 1 | 6 | Malavolta |
| Soja | 4 | 64 | 36 | 12 | 11 | et al. (1989) |
| Girasol | 3,5 | 63 | 39 | 5 | 11 | |
| Caña de azúcar | 75 | - | - | 31 | 26 | |
| Tabaco | 2,2 | - | - | 83 | 20 | |
| Frutales | $t\ ha^{-1}$ | | | $kg\ t^{-1}$ | | |
| Durazno | | 0,8 | - | 0,2 | 0,3 | Ciampitti |
| Pera | | 5,8 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | y |
| Manzana | | 4,6 | 0,9 | 0,6 | 0,1 | García |
| Uva | | 5,8 | 1,0 | 2,7 | 0,7 | (2008) |
| Limón | | - | - | 0,7 | 0,2 | |
| Mandarina | | - | 0,6 | 0,7 | 0,2 | |
| Naranja | | - | 0,7 | 1,0 | 0,4 | |
| Pomelo | | - | - | 0,4 | 0,1 | |
| Pasturas | $t\ ha^{-1}$ | $kg\ t^{-1}\ MS$ | | | | |
| Alfalfa | | 11-13 | 2-4 | | | Ciampitti |
| Pasto ovillo | | - | 2 | | | y |
| Festuca | | 5 | 2 | | | García |
| Raigrás | | 5-6 | 2 | | | (2008) |
| Sorgo forrajero | | - | 1 | | | |
| Gramilla | | - | 0,6 | | | |

Como se desprende de la Tabla 1 las leguminosas en general como por ejemplo, alfalfa y soja, y algunos cultivos intensivos como la caña de azúcar y el tabaco, son grandes consumidoras y exportadoras de estas bases, por lo que también suelen responder a la corrección de la acidez.

PRINCIPALES FUENTES DE ACIDEZ

La acidez edáfica puede afectar el crecimiento de las plantas en forma directa, pero también indirecta, incidiendo negativamente en la disponibilidad de nutrientes, los niveles de elementos fitotóxicos, la actividad microbiana y hasta en las condiciones físicas de los suelos. Este problema es considerado como uno de las principales limitantes para la producción agropecuaria a nivel mundial. Aproximadamente 25-30% de los suelos del mundo están de alguna manera afectados por problemas de acidez y muchos de ellos se encuentran en las regiones más productivas (Havlin *et al.*, 2005a).

En regiones tropicales y subtropicales la problemática se origina en procesos genéticos naturales que provocan la pérdida de los elementos básicos contenidos en los materiales originales. Esto se debió, en la mayor parte de los casos, a materiales originales alterables de carácter ígneo básico, como por ejemplo el basalto en el NO argentino, y un clima agresivo de alta temperatura y pluviosidad. En esas condiciones, dichos materiales se meteorizaron intensamente y las bases, además de gran parte del Si, fueron lixiviadas. En estos ambientes sólo pueden desarrollarse especies vegetales adaptadas por su bajo requerimiento en estos elementos y tolerancia a efectos de toxicidad causados por el Al, Fe, Mn e H, que insaturan el complejo de cambio.

En regiones templadas el proceso de acidificación se genera fundamentalmente por razones antrópicas. Una de las causas de este proceso es la exportación de bases a través de la producción agropecuaria durante largos periodos de tiempo, particularmente en regiones donde no ha existido historia de reposición de las mismas, mediante fertilización o aplicación de enmiendas básicas. A título de ejemplo se ilustra en la Figura 1 la exportación de Ca, Mg y K causada por la producción extensiva en la provincia de Santa Fe, durante 40 años comprendidos entre 1970 y 2010 (García y Vázquez, 2011).

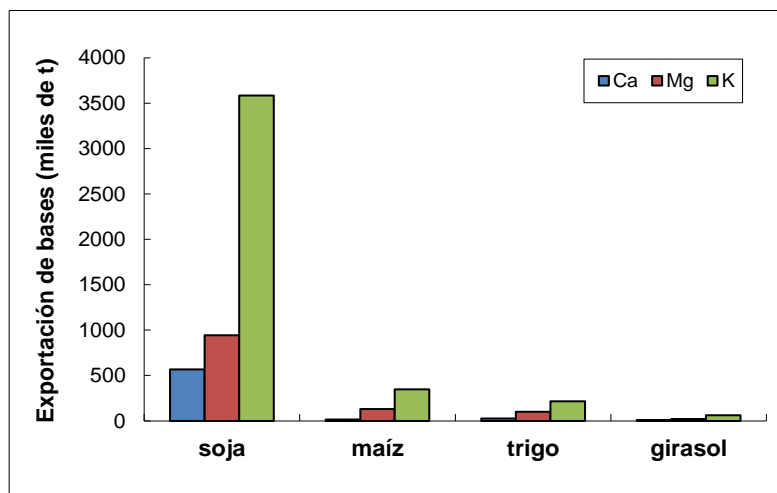
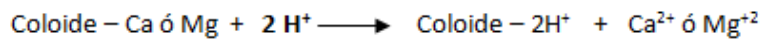
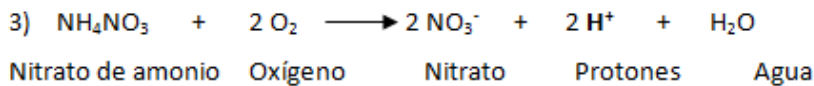
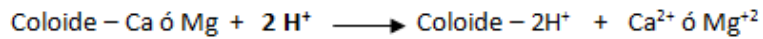
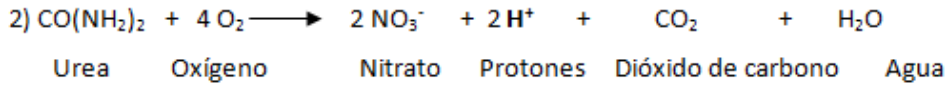
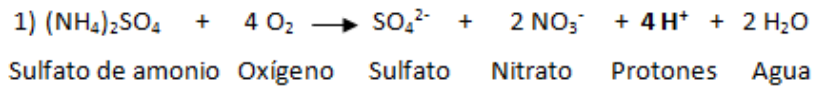


Figura 1. Exportación de bases de los suelos de la provincia de Santa Fe según cultivo para el período 1970-2010 (García y Vázquez, 2011).

Como puede observarse, el cultivo de soja es el responsable de la mayor exportación de bases debido a su gran expansión en la Pcia. De Santa Fe y en Argentina en las últimas décadas, sumado a los altos requerimientos de bases por parte de esta leguminosa.

Otra de las causas de la acidificación es el aumento de la aplicación de fertilizantes de alto índice de acidez, fundamentalmente los nitrogenados amoniacales o con grupo amino, como la urea, que producen una reacción general como la que se ilustra a continuación para el sulfato de amonio (1), la urea (2) y el nitrato de amonio (3):



Por cada mol de sulfato de amonio se producen 4 moles de H^+ y en el caso de la urea o del nitrato de amonio se generan 2 moles de protones. Estos son cálculos teóricos, ya que se demostró que en determinadas situaciones experimentales, la acidez generada por el sulfato de amonio era del 75% del valor teórico, mientras que la de urea o nitrato de amonio del 50%. Este aspecto magnifica la acidificación y posterior posibilidad de lixiviación de las bases causada por el sulfato de amonio. En la Figura 2 se ilustra el efecto de la fertilización con sulfato de amonio en dosis de 100 y 200 $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ a lo largo de 10 años, evaluado a través de un ensayo de simulación en macetas (Esterlich et al, 2012).

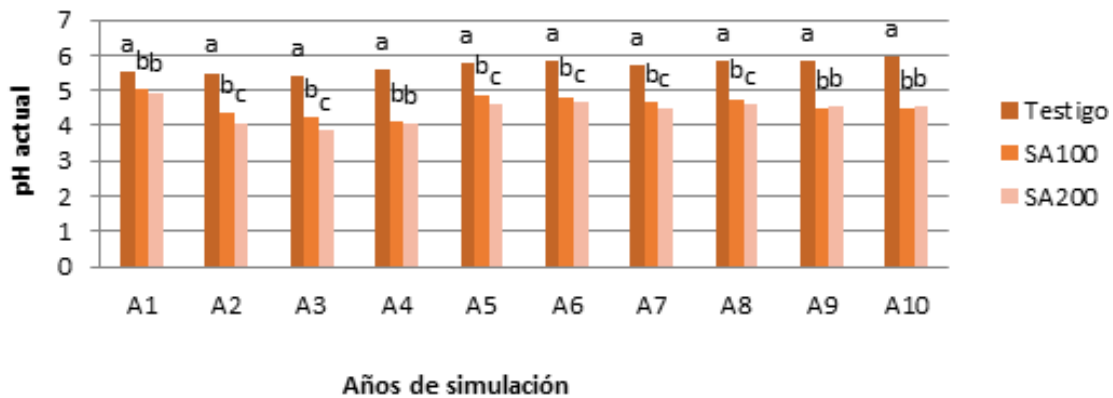


Figura 2. Evolución del pH actual a lo largo de 10 años (A) de simulación en macetas para 3 tratamientos (testigo, 100 y 200 $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) de un suelo Argiudol típico (EEJH, La Plata).

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,01$).

Otros procesos que pueden derivar en la acidificación y lixiviación de bases en el suelo, son la hidrólisis de hierro y aluminio, la oxidación de compuestos de S y N nativos, la secreción de protones por las raíces, así como la respiración de microorganismos y raíces. Estos procesos naturales de acidificación son de importancia secundaria en la región Pampeana Argentina en comparación con la magnitud de la remoción de bases y el uso de fertilizantes nitrogenados originados por la agricultura, particularmente de las últimas décadas.

DIAGNÓSTICO DE NECESIDADES DE ENCALADO

La aplicación de enmiendas básicas al suelo y particularmente, el encalado, han sido las prácticas más comúnmente utilizadas para neutralizar la acidez edáfica. Debido a la importancia de la problemática sobre la capacidad productiva de los suelos, se ha destinado mucho esfuerzo en investigación tendiente a determinar el pH óptimo para el crecimiento de cada cultivo y desarrollar métodos para establecer requerimientos de encalado.

La literatura científica ha citado en muchas oportunidades rangos de pH del suelo óptimos para el crecimiento de cada cultivo. Este rango varía en valores y amplitud con las diferentes especies. En general es ampliamente aceptado que condiciones de neutralidad o ligera acidez son apropiadas para el crecimiento de la mayoría de las plantas. En la Tabla 2 se señalan pH óptimos y algunos rangos de tolerancia para especies vegetales de importancia económica.

Tabla 2. pH óptimo y de tolerancia para especies vegetales cultivadas (Porta *et al.*, 1999).

| Especie | Óptimo | Rangos de tolerancia para rendimiento satisfactorio |
|---|---------|--|
| Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) | 6,5-7,5 | 6,0-8,0 |
| Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>) | 5,2-6,0 | 4,8-7,5 |
| Arroz (<i>Oryza sativa</i>) | 5,0-7,0 | 4,0-8,0 |
| Avena (<i>Avena sativa</i>) | 5,5-7,0 | 4,0-7,5 |
| Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) | 6,0-7,5 | 4,5-8,5 |
| Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) | 5,5-7,0 | 5,5-8,8 |
| Centeno (<i>Secale cereale</i>) | 5,5-6,5 | 4,0-7,7 |
| Girasol (<i>Helianthus annuus</i>) | | 6,0-7,5 |
| Maíz (<i>Zea mays</i>) | 5,5-7,0 | 5,0-8,0 |
| Soja (<i>Glycine max</i>) | 6,0-7,0 | 4,5-7,5 |
| Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>) | 5,5-7,0 | 6,0-7,0 |
| Trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>) | 6,0-7,0 | - |
| Trébol rojo (<i>Trifolium pratense</i>) | 6,0-7,0 | - |
| Trigo (<i>Triticum sp.</i>) | 6,0-7,0 | 5,8-8,5 |

Cabe aclarar, que los valores de pH como los citados en la Tabla 2, son sólo orientativos, ya que el nivel crítico informado por diferentes autores es variable y posiblemente esté relacionado con otras propiedades edáficas como los niveles de Al y Mn, el contenido de materia orgánica y particularmente, el material genético utilizado. A título de ejemplo para el caso de la soja, Weisz *et al.* (2003) verificaron incrementos de rendimiento hasta valores de pH 6,0 en suelos de Carolina del Norte en EEUU. Pierce y Warncke (2000) informaron un valor crítico de 5,9 en suelos de Michigan por debajo del cual habría respuesta al encalado. Bell (1996) sugirió que dicho valor es 5,1 en suelos de Lousiana de alta meteorización, mientras que Caires *et al.* (1998) no obtuvieron respuesta al encalado aún con niveles de pH de 4,5 y 32% de saturación de bases en Brasil. Pagani *et al.* (2009) determinaron pH críticos para maíz y soja de aproximadamente 6.5 en Molisoles del estado de Iowa, EEUU. Estos antecedentes sugieren que el pH puede tener connotaciones distintas en diferentes tipos de suelos y sistemas productivos, mostrando lo inconveniente de la extrapolación de niveles críticos para cualquier especie. A pesar de las posibles limitaciones de este indicador, el pH del suelo es la principal herramienta utilizada mundialmente para diagnosticar problemas de acidez.

Existen diversos protocolos para la determinación del pH. Cuando se determina en suspensión suelo:agua (ó suelo CaCl₂ 0,01-0,02 M) de 1:1 a 1:2,5, es llamado "pH actual" en Argentina y en muchos otros países. Si bien el método más difundido es la determinación del pH del suelo en suspensiones suelo:agua, el uso de suspensiones suelo:CaCl₂ ha sido recomendado como más estable y menos variable

sobre todo en suelos con alto contenido de sales (Miller y Kissel, 2010), aunque no se han encontrado ventajas importantes de su utilización en suelos con bajos contenidos de sales (Pagani y Mallarino, 2011).

Esta determinación de pH actual, tanto en agua como en CaCl_2 , se realiza rutinariamente en los laboratorios. Dicho índice revela información acerca de la llamada "acidez activa" y cuantifica la actividad de H^+ en la solución externa del suelo (no afectada por la carga de los coloides), pero no informa sobre la acidez de reserva o la capacidad reguladora (buffer) de un suelo. La determinación del pH en suspensiones suelo:KCl 1N, denominada pH potencial, permite cuantificar la concentración de H^+ de la solución externa y adicionalmente los H^+ que se encuentran adsorbidos en el complejo de intercambio. Esta medida da idea de la reserva de H^+ . A título de ejemplo, dos suelos pueden tener igual pH actual, por ejemplo 6, y pH potencial 5,8 y 4,5, respectivamente. El segundo suelo tendrá una evolución más desfavorable a futuro y requerirá mayor cantidad de corrector para elevar el pH.

El pH actual es generalmente utilizado para decir si un suelo necesita o no corrección mediante la aplicación de enmiendas básicas, pero no para determinar los requerimientos de encalado, es decir la dosis de enmienda necesaria para elevar el pH del suelo a un valor dado. Por esta razón, se han desarrollado numerosos métodos analíticos tendientes a determinar la cantidad de enmienda necesaria para neutralizar la acidez edáfica. Estos incluyen incubaciones de suelo, titulaciones directas y soluciones buffers, entre otros.

Las incubaciones de suelo consisten en la adición de diferentes dosis de CaCO_3 u otra base en forma pura y finamente molida a un suelo. Luego el mismo se humedece y es incubado en cámara o invernáculo hasta alcanzar el equilibrio durante un periodo de semanas a meses, dependiendo de varios factores. Una vez que la base reacciona completamente, es decir se estabiliza el pH, se determina dicho valor de pH y el requerimiento de encalado puede ser determinado como se muestra en la Figura 3. El requerimiento de encalado determinado con esta metodología en laboratorio muchas veces no refleja (generalmente subestima) las necesidades de corrector a campo, por lo que se han propuesto factores de corrección con el fin de adaptar la información generada en condiciones controladas a condiciones de producción. Si bien este método se sugiere como ideal, es impráctico como análisis de rutina para laboratorios comerciales. Por lo tanto solo se lo utiliza como patrón para calibrar otros métodos más rápidos y convenientes (Hoskins y Erich, 2008).

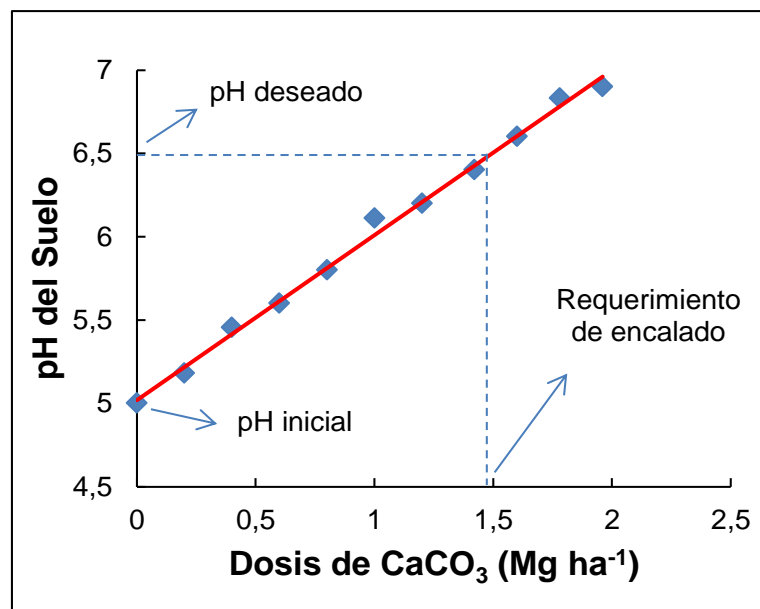


Figura 3. Determinación de requerimientos de encalado mediante incubación de suelo. El ejemplo utiliza un pH deseado de 6.5, que es el pH óptimo para el crecimiento de muchos cultivos.

Otra metodología utilizada para determinar acidez intercambiable y necesidades de encalado es la titulación simple (por única vez) con BaCl_2 -Trietanolamina a pH 8.2 (Bhumbla and McLean, 1965; Dietzel *et al.*, 2009). Si bien este método es muy efectivo para cuantificar la acidez de reserva de un suelo, no es comúnmente empleado por laboratorios comerciales debido a su laboriosidad. Además, algunos resultados han sido desalentadores acerca de su utilidad para determinar requerimientos de encalado a campo (Pagani y Mallarino, 2012a).

Debido a las dificultades prácticas y complejidad de los métodos descriptos, se han desarrollado métodos más sencillos y rápidos para determinar requerimientos de encalado en forma indirecta. Entre estos métodos se encuentran las soluciones reguladoras o buffers (mezcla de un ácido débil con una base conjugada) que resisten cambios de pH pero que resultan en una disminución lineal del pH a medida que la acidez potencial del suelo reacciona con el buffer (Sims, 1996). En la Figura 4 se muestra un esquema conceptual del funcionamiento de una solución buffer. Cuando el buffer se adiciona a una suspensión de suelo ácido y agua, se produce una disminución en el pH del sistema que es proporcional a la acidez de reserva de ese suelo, la cual está relacionada a la cantidad de cal necesaria para neutralizar dicha acidez. Se requiere un estudio de calibración regional para determinar la relación entre los requerimientos de encalado (cantidad de material básico necesario para elevar el pH del suelo a un valor dado) y los valores de cierto buffer (Sims, 1996).

Los buffers originalmente propuestos para el medio-oeste americano y otras regiones de Norte America fueron el SMP (Shoemaker *et al.*, 1961), buffer doble (Woodruff, 1948; Yuan, 1974); Adams-Evans (Adams y Evans, 1962) y Mehlich (Mehlich, 1976), entre otros. Sin embargo, estos métodos contienen reactivos tóxicos y peligrosos para el medioambiente como el p-paranitrofenol, K_2CrO_4 y $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Por lo tanto, recientemente se han propuesto métodos que no contienen componentes peligrosos pero que brindan resultados similares o correlacionados a los buffers originalmente desarrollados (Pagani y Mallarino, 2012a). Ejemplos de estos nuevos buffers son el Sikora (Sikora, 2006) y Mehlich modificado (Hoskins y Erich, 2008). Cabe destacar que la investigación relacionada con este tipo de determinaciones para el diagnóstico son prácticamente inexistentes en Argentina.

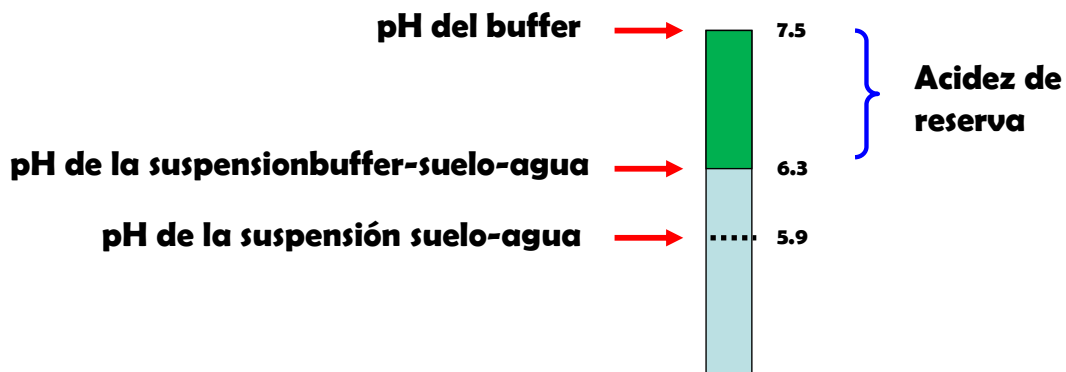


Figura 4. Esquema conceptual de la reacción de una solución buffer con el suelo.

Otro tipo de métodos de requerimientos de encalado que no requieren reactivos que comprometan el ambiente, son las titulaciones directas empleando adiciones simples de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Algunos estudios recientes en este sentido son los de Liu *et al.* (2005) y Kissel *et al.* (2007). Estos métodos se basan en el supuesto de que el incremento de pH de un suelo es lineal con la adición de una base en el rango entre 5 y 6.5 (Liu *et al.*, 2005; Hoskins y Erich, 2008). Considerando esta asunción, un solo punto es suficiente para calcular los requerimientos de encalado de manera análoga a la presentada en la Figura 4.

Existen algunas experiencias nacionales referidas a la evaluación de métodos de requerimientos de encalado recomendados en distintas publicaciones, cuando se utilizan cálculos teóricos no calibrados para el sistema específico de producción (suelo-clima-material genético), utilizados en algunos laboratorios comerciales en el país. Vázquez *et al.* (2002) demostraron la variabilidad de resultados obtenidos por la aplicación de algunas de estas metodologías de diagnóstico (Tabla 3) y la ausencia de correlación entre los resultados de los diferentes métodos, así como entre el diagnóstico efectuado por ellos y la respuesta de la alfalfa al agregado de caliza o dolomita en ambientes templados.

Tabla 3. Necesidad de encalado (CaCO₃) según diferentes técnicas diagnóstico (Vázquez *et al.*, 2002).

| Localidad | CT | BD | SMP | H ⁺ 1 vez | H ⁺ 2 veces | H ⁺ 3 veces |
|-----------------------|---|------|------|----------------------|------------------------|------------------------|
| | ----- kg ha ⁻¹ CaCO ₃ ----- | | | | | |
| Tres Arroyos | 1500 | 2730 | 1214 | 1340 | 2680 | 4020 |
| Lincoln | 1000 | 3569 | 1055 | 1560 | 3120 | 4680 |
| Bavio | 3720 | 5977 | 1684 | 910 | 1820 | 2730 |
| Pergamino | 1928 | 6067 | 1388 | 0 | 0 | 0 |
| Lujan | 2370 | 5140 | 1915 | 0 | 0 | 0 |
| Baradero | 2400 | 3782 | 1275 | 470 | 940 | 1410 |
| Azul | 6600 | 6077 | 1332 | 1120 | 2240 | 3360 |
| Carlos Casares | 750 | 2540 | 912 | 0 | 0 | 0 |
| Etcheverry | 3600 | 7337 | 1376 | 1780 | 3560 | 5340 |

CT: curva de titulación (Abruña y Vicente, 1955)

BD: buffer doble (Yuan, 1974)

SMP: buffer simple (Mc Lean *et al.*, 1978)

H⁺: H de cambio (Richter *et al.*, 1982)(Múltiplo 1, 2 y 3, de acuerdo a sugerencia de los autores)

Cabe aclarar que la utilización del valor de pH del suelo, la capacidad buffer o su reacción ante el agregado de un buffer como herramientas de diagnóstico y recomendación de encalado, tiene particular importancia en suelos cuyo pH está por debajo de 5,3-5,5, situación de solubilización del Al y por lo tanto, posibilidades de toxicidad de este elemento. Esto generalmente ocurre en suelos de áreas subtropicales-tropicales.

Cuando la situación de acidez es extrema, por ejemplo en Oxisoles y Ultisoles, y el porcentaje de saturación básica es muy bajo, problemática asociada a suelos de regiones tropicales y subtropicales, el objetivo puede ser reducir la acidez y con ella la toxicidad de Al, a la vez que elevar la saturación básica en su conjunto. En tales casos, puede emplearse un cálculo simple para estimar la cantidad de corrector (CaCO₃) a utilizar:

$$NC = CIC (V2 - V1) / EQ$$

NC: Necesidad de corrector (CaCO₃ (t ha⁻¹))

CIC: Capacidad de intercambio catiónica (cmol_c kg⁻¹)

V2: Saturación básica deseada (%)

V1: Saturación básica real (%)

EQ: Eficiencia química del corrector (%) (concepto que se abordará más adelante)

Por ejemplo, en un suelo con 20 cmol_c kg⁻¹ de CIC, 50 % de saturación básica real, 60% de saturación deseada y un corrector con 80% de eficiencia química, se tiene:

$$NC = 20 (60 - 50) / 80 = 2,5 \text{ t ha}^{-1}$$

En caso de utilizar otro producto deberá corregirse el resultado según las Tablas 5 y 6. Algunos autores modifican el resultado obtenido por esta ecuación, a través de un factor del orden de 1,5, con la finalidad de considerar reacciones paralelas de los correctores en la neutralización del Al no intercambiable relacionado con la materia orgánica (Cochrane *et al.*, 1980). En este tipo de suelos ácidos, otro elemento de juicio es el porcentaje de Al intercambiable. Las diferentes especies toleran cantidades variables de insaturación con Al intercambiable. Por ejemplo, trigo y soja no toleran porcentajes > 10%, sorgo > al 20% y maíz al > 25% (Carver y Ownby, 1995; Kollmeier *et al.*, 2000; Villagarcía *et al.*, 2001).

Numerosos estudios han demostrado extensa variabilidad espacial del pH del suelo y necesidades de encalado dentro de los lotes de producción. Pierce y Warncke (2000) sugieren la conveniencia de la aplicación de los productos encalantes mediante técnicas de agricultura de precisión (manejo de sitio específico a través del empleo de dosis variable) a los fines de evitar sub o sobreaplicaciones. En este sentido, Pagani y Mallarino (2012a) determinaron lotes contrastantes en cuanto a variabilidad espacial de pH del suelo, buffers y requerimientos de encalado en el estado de Iowa, EEUU. En la misma región,

Bianchini y Mallarino (2002) señalaron que la aplicación de cal en forma variable dentro del lote ayudaba a disminuir la variabilidad espacial del pH edáfico.

Al igual que para otros nutrientes, la tecnología de aplicación variable de cal, requiere de un muestreo de suelos intensivo, el cual puede ser en grillas regulares, en zonas o mediante el uso de instrumentos que colectan muestras de suelo y analizan su pH en tiempo real. Además, se requiere de aplicadores que, guiados por sistemas de geoposicionamiento global (GPS) y mapas de prescripción, puedan realizar aplicaciones efectuando cambios de dosis también en tiempo real. Si este sistema se utiliza correctamente, puede derivar en ahorros en la cantidad de material calcáreo, mayores eficiencias de uso de la enmienda y, eventualmente, en aumentos en la producción de los cultivos.

En el ámbito templado la necesidad de corrección de la acidez pasa más por aspectos nutricionales relacionados con Ca, Mg y K que con el pH en sí mismo. Es por ello que se han desarrollado metodologías diagnósticas con el objetivo de evaluar específicamente el contenido de estos elementos en los suelos, en situaciones donde la acidez no es el problema principal. Generalmente se recomienda tomar muestras de suelo en áreas lo más homogéneas posible, a la profundidad a la cual las calibraciones de ambos nutrientes fueron desarrolladas (generalmente 0-20 y 20-40 cm). En el laboratorio se determinan las formas solubles e intercambiables de ambos cationes extraídas con diferentes soluciones extractantes, generalmente acetato de amonio a pH 7.1N. Una vez obtenidos los valores de concentración de estos nutrientes en el suelo, se los compara con umbrales críticos desarrollados local o regionalmente para el cultivo de interés y se decide la conveniencia de efectuar una aplicación de estos elementos, utilizando, preferentemente las recomendaciones zonales. Por ejemplo, en la Tabla 4 se presentan los rangos de Ca y Mg intercambiables sugeridos como óptimos para el crecimiento del maíz en suelos Molisoles del estado de Wisconsin, EEUU. Se recomienda la aplicación de estos nutrientes cuando los niveles en el suelo son inferiores a estos valores.

Tabla 4. Niveles óptimos de Ca y Mg intercambiables para maíz para dos clases texturales de suelos de Wisconsin, EEUU (Bundy, 2004).

| Nutriente | Textura del suelo | |
|-----------|---------------------------------|----------|
| | Arenoso | Franco |
| | ----- mg kg ⁻¹ ----- | |
| Ca | 400-600 | 600-1000 |
| Mg | 50-250 | 100-500 |

En algunos casos estas evaluaciones de valores absolutos se enmarcan, para un diagnóstico más ajustado, en la saturación básica del suelo ($(S = \sum \text{Ca, Mg, K, Na intercambiables} / \text{CIC}) * 100$), considerándose valores apropiados entre el 60-85%.

Además de la determinación de los contenidos absolutos de las formas intercambiables de Ca⁺² y Mg⁺² en el suelo, se han propuesto determinaciones de las cantidades relativas de estos cationes. En este sentido, el índice más difundido es el porcentaje de cada catión con respecto a la saturación básica del suelo (suma de bases intercambiables), concepto desarrollado originalmente por Bear y Toth (1948) y luego suscripto por numerosos autores, entre ellos, Zalewska (2003; 2005). De esta manera se propuso el concepto de una "relación ideal" entre algunos de los cationes que se encuentran adsorbidos a la CIC del suelo. Esta relación sugerida originalmente fue de 65% de Ca, 10% Mg, 5% de K y 20% de hidrogeno (H). Dicho concepto fue desarrollado luego de 8 años de trabajo en alfalfa en suelos de Nueva Jersey, EEUU. Si bien esta idea de una relación ideal entre cationes ha sufrido severas críticas por parte de muchos investigadores desde su aparición, actualmente se la considera como parcialmente válida y existen ciertos resultados en la bibliografía donde se ha señalado su utilidad para diagnosticar deficiencia de algunos cationes para la nutrición vegetal. Se aceptan, en términos generales, saturaciones de cada uno de los nutrientes básicos respecto a la suma total de bases del orden de 65-85% de Ca, 6-12% de Mg y 2-5% de K.

Debe advertirse, sin embargo, que la evaluación de la saturación básica en su conjunto, como la de Ca, Mg o K en particular, empleando el método del acetato de amonio 1N pH 7, ampliamente difundido en el mundo y en Argentina, puede conducir a errores en el diagnóstico. La regulación a pH 7 provocada por el extractante en un suelo ácido, provoca un aumento artificial de la CIC, a través del aumento de las cargas variables de los coloides del suelo, resultando en porcentajes de saturación de estas bases bajos pero irreales. Es por este motivo que en suelos ácidos o tratados con correctores básicos deben utilizarse para la evaluación de la CIC, técnicas analíticas sin bufferación, poco difundidas en Argentina. Millán *et al.* (2010) evaluaron este efecto para suelos del ámbito pampeano, corroborando el hecho. Bajo este principio se propone utilizar en lugar de la CIC, la denominada capacidad de intercambio catiónico no bufferada (CICnb) determinada con cloruro de potasio (KCl 1 N), siendo:

$$CICnb = \sum Ca, Mg, K, Na, Al$$

$$Saturación\ de\ bases\ (\%) = (\sum Ca, Mg, K, Na) * 100 / CICnb$$

Zalewska (2008) informó que para girasol, la saturación óptima sería de 60% de Ca, 8,4 % de Mg y 4,2% de K. Saturaciones potásicas por debajo de 3% y por encima de 8% resultarían en considerables reducciones de rendimiento. La autora establece que la relación de saturación de Mg:K debe ser del orden de 2:1 para maximizar el rendimiento de este y otros cultivos (Zalewska 2003, 2005). Cabe destacar, sin embargo, que estos valores pueden cambiar considerablemente con la naturaleza coloidal en distintos suelos. Por ejemplo, Kamprath (1984) concluyó a través de un número de estudios, que saturaciones cálcicas de 20-30%, con 1 cmol_c kg⁻¹ de Ca intercambiable en suelos altamente meteorizados, dominados por caolinita y óxidos, fueron suficientes para la nutrición de la mayoría de las especies. Esto demuestra que las cifras citadas, son sólo orientativas, y en principio, no válidas para suelos muy evolucionados de ambientes subtropicales/tropicales.

La saturación de cada uno de estos cationes en el complejo de intercambio, redundando en relaciones particulares entre los elementos básicos. Si bien no existen calibraciones regionales en el país y considerando que es común encontrar variación de los umbrales según otras condiciones edafo-climático-culturales, pueden, sólo a título de ejemplo, citarse algunos criterios de diagnóstico elaborados partir de una amplia revisión bibliográfica (Tabla 5).

Tabla 5. Umbrales críticos orientativos de relaciones entre cationes intercambiables.

| Relación de cationes intercambiables | Umbral crítico |
|--------------------------------------|--|
| | ---- relación en cmol _c kg ⁻¹ ---- |
| Ca+Mg/K | 7-11/1 |
| Ca/Mg | 3-15/1 |
| Ca/K | 13/1 |

Un valor superior a estos umbrales indicaría deficiencias relativas de los elementos del denominador. Por ejemplo, altos niveles de K a causa de un elevado contenido de micas e illita en la fracción mineral en el suelo, provocarían deficiencias inducidas de Ca y particularmente Mg. Esta situación está presente en muchas áreas de la Región Pampeana. Otros factores como baja temperatura, baja disponibilidad de P y condiciones de saturación hídrica, son predisponentes a estas deficiencias. De manera similar, este fenómeno puede producirse debido a altas dosis de fertilización potásica, las que suelen conducir a deficiencias relativas de Ca y Mg, aún en situaciones de adecuados contenidos de estos elementos en el pool intercambiable. Este hecho ha sido registrado en tabaco, caña de azúcar, papa y cebada. Darwich (2006) informó que la relación Ca/Mg no debe ser superior a 7/1.

La relación K/Mg también se ha utilizado para identificar situaciones de hipomagnesemia o tetania de los rumiantes (Moseley y Baker, 1991). En general con valores de K/Mg superiores a 0,8 – 1,6/1 (en peso) en el suelo, es esperable esta alteración nutricional en animales que se alimentan mediante pasturas que crecen en estas condiciones. Concentraciones de Mg en forrajes menores a 2 g kg⁻¹ y relaciones K/Ca+Mg mayores a 2,2, son factores predisponentes al problema. Según Darwich (2006) la relación K/Mg

óptima para hortalizas, expresada en $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, se encuentra entre 1-1,5. En algunos suelos del SE bonaerense, el alto nivel de K intercambiable interfiere con la absorción de Mg (Darwich, 2006). De igual manera fue citada la deficiencia relativa de Mg a causa de elevados tenores de Ca para otros ámbitos de la Región Pampeana (Culot, 1967).

El problema principal que presenta este tipo de índices relativos es que su empleo puede derivar en conclusiones erróneas respecto a la suficiencia de ambos nutrientes. Esto ocurre porque una misma relación puede significar deficiencia o suficiencia de ambos nutrientes. Por ejemplo, si se consideran dos suelos, uno con 100 mg kg^{-1} de Ca^{+2} y 20 mg kg^{-1} de Mg^{+2} y otro con 300 mg kg^{-1} de Ca^{+2} y 60 mg kg^{-1} de Mg^{+2} , ambos presentan la misma relación Ca/Mg (5). Sin embargo, el primer suelo seguramente será deficiente en ambos cationes mientras que el segundo presentará niveles adecuados de Ca y Mg para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Es por esta razón que estas relaciones son evaluaciones complementarias a las de los valores absolutos para un correcto diagnóstico.

La literatura internacional es controvertida en el empleo de la saturación de las diferentes bases como elemento de diagnóstico. Varios autores, entre ellos Oliveira y Parra (2003), demostraron que grandes variaciones en la saturación de estos cationes tuvieron poca influencia sobre el rendimiento de especies cultivadas. De la misma manera, otros autores como Oliveira (1993), desestimaron el empleo de la relación Ca/Mg con este fin. Sin embargo varias investigaciones, 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), por el contrario, verificaron la importancia de la saturación particular de estos cationes y sus relaciones, en el desarrollo de otras especies. Estos resultados permitirían concluir que el diagnóstico de suficiencia/deficiencia de los nutrientes básicos, debe ser calibrado para cada ambiente y cultivo a desarrollar, no pudiendo hacerse generalizaciones en este sentido, si bien los datos bibliográficos pueden servir de orientación para situaciones de cultivo/suelo comparables.

La evaluación de la suficiencia relativa de cada base (Ca, Mg, K) puede ayudar a elegir el producto más conveniente. Por ejemplo si la relación Ca/Mg y el porcentaje de saturación cálcica fueran muy elevados en detrimento del Mg, sería conveniente agregar dolomita y no caliza, ya que esta última agravaría la situación adversa en las relaciones. Si por el contrario, fuera Ca el elemento en deficiencia relativa, se indicaría el empleo de caliza, por ejemplo. Este razonamiento no siempre se corresponde con los resultados encontrados a campo, pues la diferente solubilidad de los productos y el contenido de otros elementos, por ejemplo micronutrientes, por tratarse de productos de minería, podría hacer que hubiera mayor respuesta a la enmienda no sugerida por las relaciones entre las bases.

TIPOS DE ENMIENDAS CALCÁREAS Y TECNOLOGÍA DEL ENCALADO

Tradicionalmente para la corrección de acidez se han usado productos correctores o enmiendas, tales como calcita, dolomita y cal viva o apagada, entre otros. Estos productos que contienen Ca y/o Mg en diferentes proporciones, han dado origen a la práctica denominada encalado. La aplicación de materiales básicos como CaCO_3 , CaO o Ca(OH)_2 , produce 2 efectos en el suelo, uno meramente nutricional, que es el suministro de Ca y/o Mg, y por otro, produce un incremento en el pH del suelo, neutralizando los H^+ y disminuyendo la solubilidad del Al^{+3} . Los productos utilizados con mayor frecuencia como encalantes, así como su valor de neutralización se indican en la Tabla 5. Si bien el pH del suelo podría elevarse a través del agregado de otros compuestos, generalmente se emplean los cálcico/magnésicos con el objetivo de reponer estos elementos con funciones nutricionales para los cultivos, así como de estructurantes edáficos en suelos de regiones templadas, ya que mejoran la dinámica del aire y el agua del suelo.

Tabla 5. Equivalentes en carbonato de calcio de los materiales calcáreos más utilizados para uso agropecuario (Norma IRAM 22451).

| Tipo | Designación IRAM | Composición química | Equivalente en CaCO ₃ ----- % ----- |
|------|------------------------------------|--|---|
| I | Caliza | CaCO ₃ | 100 |
| II | dolomita | CaCO ₃ .MgCO ₃ | 100x + 119y † |
| III | conchilla | CaCO ₃ | 100 |
| IV | cal viva calcítica | CaO | 178 |
| V | cal viva dolomítica | CaO.MgO | 178x + 250y |
| VI | cal hidratada cálcica (apagada) | Ca(OH) ₂ | 135 |
| VII | cal hidratada dolomítica | Ca(OH) ₂ .Mg(OH) ₂ | 135x + 172y |

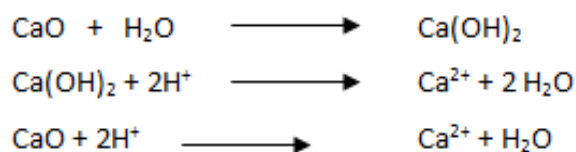
† x e y representan la composición porcentual de cada componente

Los valores de equivalentes de CaCO₃ presentados son considerados teóricos ya que algunos estudio como el de Alcarde y Rodella (1996) demostraron que la presencia de fosfatos, sulfatos o de cristales de Si en los productos correctores, podrían modificar esta equivalencia teórica.

Para agregar CaCO₃ puede utilizarse caliza, la cual contiene alrededor de 40% de CaCO₃, o dolomita, que posee alrededor de 21% de CaCO₃ y 13% de MgCO₃. Estos valores son variables por tratarse de productos de minería. De la misma manera puede utilizarse conchilla molida, que cuenta con un porcentaje de CaCO₃ mayor al 90%. La cal viva (CaO) se obtiene por calcinación del CaCO₃, es un producto cáustico y de alta higroscopicidad, aunque de gran velocidad de reacción y poder de neutralización. La cal apagada (Ca(OH)₂) se obtiene hidratando la cal viva. Existen otros productos utilizados con este fin, tales como espumas azucareras, residuos calcáreos de la fabricación del papel, la cola de cal, un subproducto de la fabricación del cemento y residuos de la industria del acero, que contienen elevados porcentajes de silicatos de Ca y Mg, conocidos como Escorias Thomas, las que además se caracterizan por un cierto contenido de P, por lo que son usados como fertilizantes fosforados.

REACCIÓN DE LOS CORRECTORES

Las reacciones de neutralización para el CaO se presentan a continuación:



Debido a la alta solubilidad del CaO y del Ca(OH)₂, estos productos son de reacción rápida comparativamente con el CaCO₃, especialmente en condiciones de moderada acidez o climas fríos.

La reacción del CaCO₃ es la siguiente:



Los silicatos de las escorias básicas, subproducto de la industria del acero, reaccionan en el suelo de forma aun más lenta que los CaCO₃ y reaccionan en el suelo de la siguiente manera:



La disolución de los materiales de encalado también depende del tamaño de partícula. Es así que la eficiencia química (EQ) se define como el porcentaje del producto corrector que reacciona en forma inmediata. Dicha eficiencia depende de la pureza del producto y el tamaño de partícula. De acuerdo a la Norma IRAM 22451 (Tabla 6) la eficiencia será inferior al 5% para productos con tamaños de partícula mayores a 2,36 mm y del 100% para partículas de 75 µm o menores. La eficiencia química puede calcularse de la siguiente manera:

$$EQ (\%) = P \times \text{Sumatoria } (\% \text{ de } c/\text{tamaño} \times \text{eficiencia relativa})$$

EQ: eficiencia química

P: pureza del material (tanto por uno)

A título de ejemplo si un material fuera 90% puro y tuviera 50% de partículas de 850 µm y otro 50% de 425 µm, el cálculo sería:

$$EQ (\%) = 0,90 \times [(50 \times 0,17) + (50 \times 0,30)]$$

$$EQ = 21,2\%$$

Por lo tanto, la dosis estipulada debe multiplicarse por 100/21,2, es decir 4,72, para obtener la dosis final.

Tabla 6. Granulometría y eficiencia relativa de los materiales calcáreos para uso agropecuario (Norma IRAM 22451).

| Tamiz IRAM µm | Eficiencia relativa |
|------------------|---------------------|
| 850 | 0,17 |
| 425 | 0,30 |
| 250 | 0,55 |
| 150 | 0,80 |
| 75 | 1,00 |
| <75 | 1,25 |

DOSIS DE APLICACIÓN Y RESPUESTA DE ALGUNOS CULTIVOS

Las tasas de aplicación de los materiales para encalar van desde unos cientos de kg ha⁻¹, hasta cifras del orden de las 4-6 t de producto ha⁻¹ o superiores. Las cantidades requeridas varían de acuerdo al criterio del empleo de estos productos. En caso de suelos de pH realmente bajo, donde el objetivo es reducir la acidez y disminuir la toxicidad de Al, por ejemplo, la cantidad a aplicar depende justamente de la acidez actual y potencial del suelo, del contenido de Al intercambiable, del poder buffer, así como del pH o porcentaje de saturación básica que se desean alcanzar. Mientras que en situaciones donde la acidez no es pronunciada, como generalmente ocurre en la Pradera Pampeana, la cantidad y tipo de corrector a elegir, dependerán de la necesidad de Ca y/o Mg, analizados desde el punto de vista de la nutrición vegetal. En general las cantidades a que se arriba en este segundo caso son significativamente menores y se suelen aconsejar dosis que van desde unos cientos de kilos hasta 2 t ha⁻¹ como máximo. Vázquez *et al.* (2002) demostraron que en suelos de la provincia de Buenos Aires, la alfalfa respondió en forma diferencial en algunos casos, al agregado de caliza y dolomita (Figura 5) demostrando la necesidad específica de alguna de las bases, mientras que en otros casos la respuesta a estos productos fue equivalente.

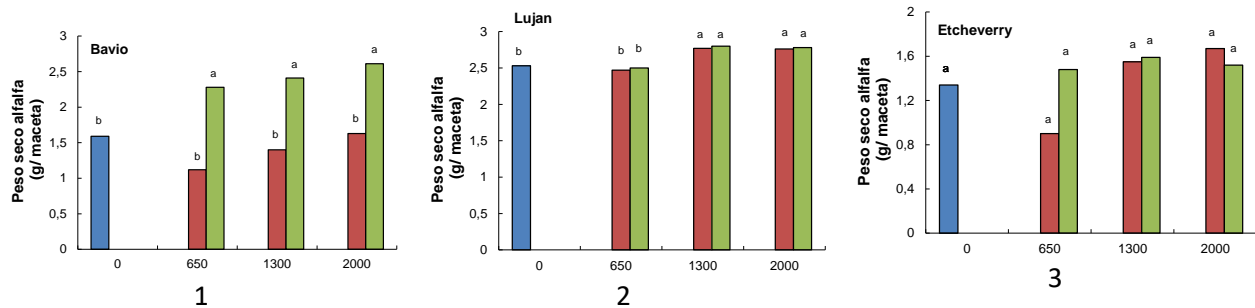


Figura 5. Respuesta de la alfalfa al agregado de diferentes dosis (kg ha^{-1}) de caliza (CaCO_3)(rojo) y dolomita ($\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$)(verde) en 3 suelos de la Pcia. de Buenos Aires: 1. Bavio, 2. Luján, 3. Etcheverry (Vázquez et al., 2002).

Loide (2004), Järvan (2004) y Järvan y Põldma (2004) demostraron la incidencia del tipo de corrector sobre el rendimiento de diversas especies, a igualdad de dosis, explicando el fenómeno a través del pH alcanzado en cada caso y el balance catiónico de los mismos. Pagani y Mallarino (2012b) observaron menores incrementos de pH del suelo con dolomita que con calcita (con similares valores de equivalentes de CaCO_3) y explicaron parcialmente este efecto a través de la menor solubilidad del MgCO_3 presente en la dolomita con respecto al CaCO_3 de la calcita. En la Figura 6 puede apreciarse la modificación del pH producido en tres suelos de la Pcia. de Buenos Aires por el agregado de caliza y dolomita en diferentes dosis (Vázquez et al., 2002).

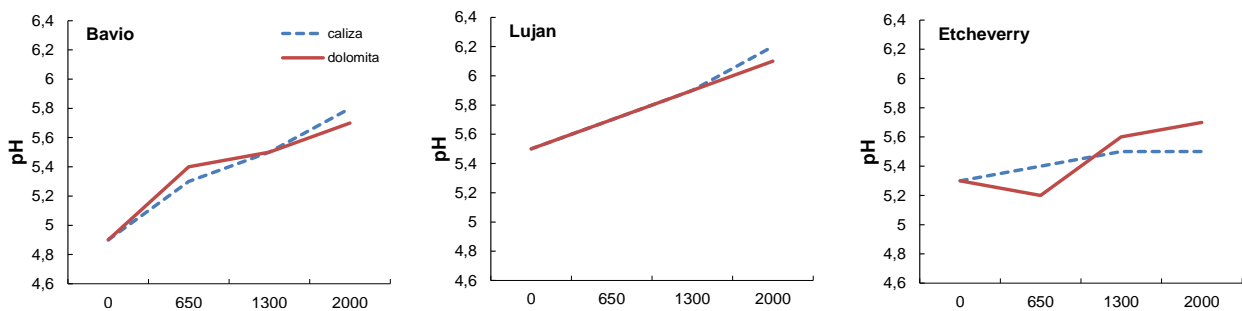


Figura 6. Evolución del pH ante el agregado de 3 dosis (kg ha^{-1}) de caliza (CaCO_3)(línea intermitente) y dolomita ($\text{CaCO}_3.\text{Mg CO}_3$)(línea continua) en 3 suelos de la Pcia. de Buenos Aires (Vázquez et al., 2002).

Estos productos pueden aplicarse en cualquier época del año. En general se anticipan algunos meses a los cultivos de mayor sensibilidad, incorporándolos al suelo, para permitir su solubilización. Sin embargo, en planteos de siembra directa Ciotta et al. (2004) y Amaral et al. (2004) demostraron que la aplicación en superficie de caliza puede tener efecto hasta los 20 cm de profundidad. 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.

Vázquez et al. (2010, 2012) comprobaron respuesta a campo de la práctica para los cultivos de alfalfa (Figura 7, 8 y 9) y soja (Figura 10) en suelos de la Región Pampeana. En general resultaron más eficientes las dosis menores de encalado. En el apartado siguiente se expondrán algunas posibles razones.

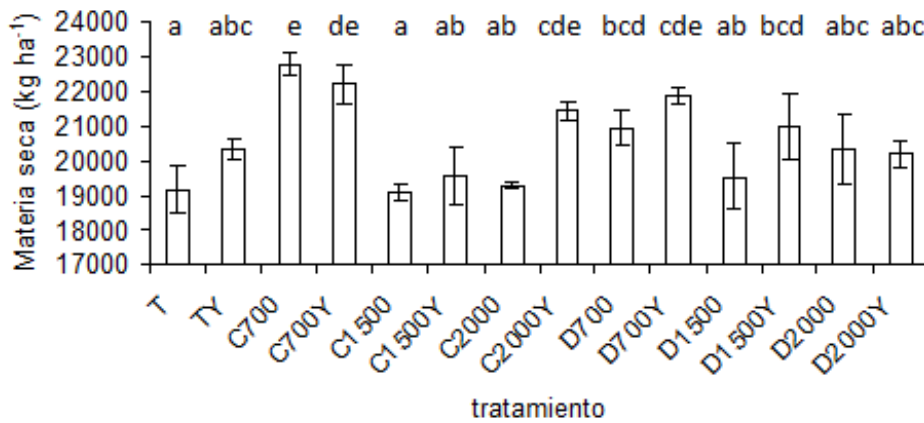


Figura 7. Efecto del tratamiento de encalado sobre la producción de materia seca de alfalfa en 10 cortes en un suelo Hapludol entico con pH 5,1 de la localidad de Laboulaye, Prov. de Córdoba. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. Referencia: T: testigo; C: caliza; D: dolomita. Dosis: 700, 1500 y 2000 kg ha⁻¹.

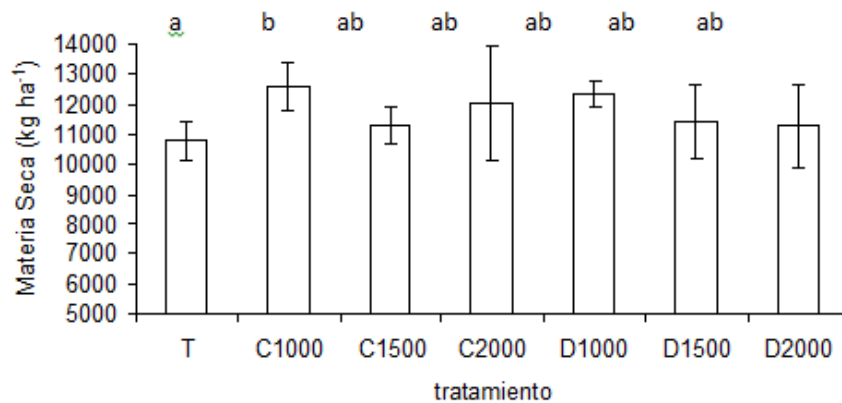


Figura 8. Rendimiento total de 5 cortes de un alfalfar ubicado en La Plata, Buenos Aires Referencia: T: testigo; C: conchilla; D: dolomita; 1000, 1500 y 2000: dosis en kg ha⁻¹ (Letras distintas indican dif. est. sign. ($p < 0,05$) entre tratamientos)

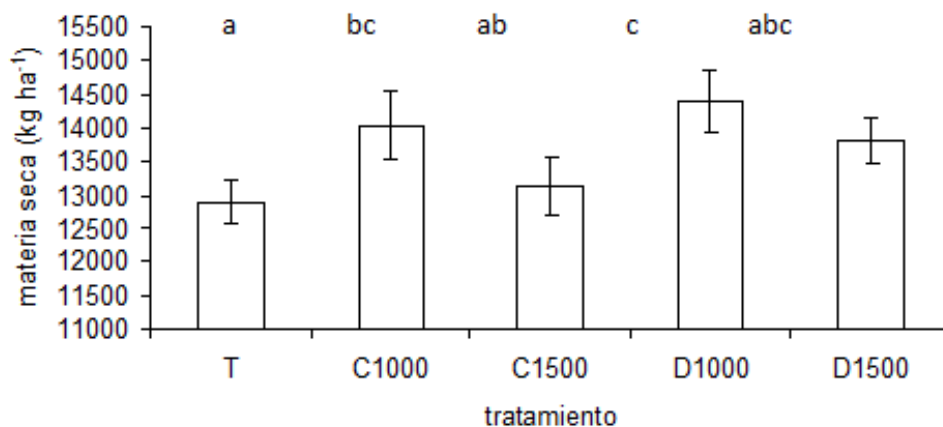


Figura 9. Rendimiento total de 6 cortes de un alfalfar ubicado en Suardi, Santa Fe. Referencia: T: testigo; C: caliza; D: dolomita; 1000 y 1500: dosis en kg ha⁻¹ (Letras distintas indican dif. est. sign. ($p < 0,05$) entre tratamientos)

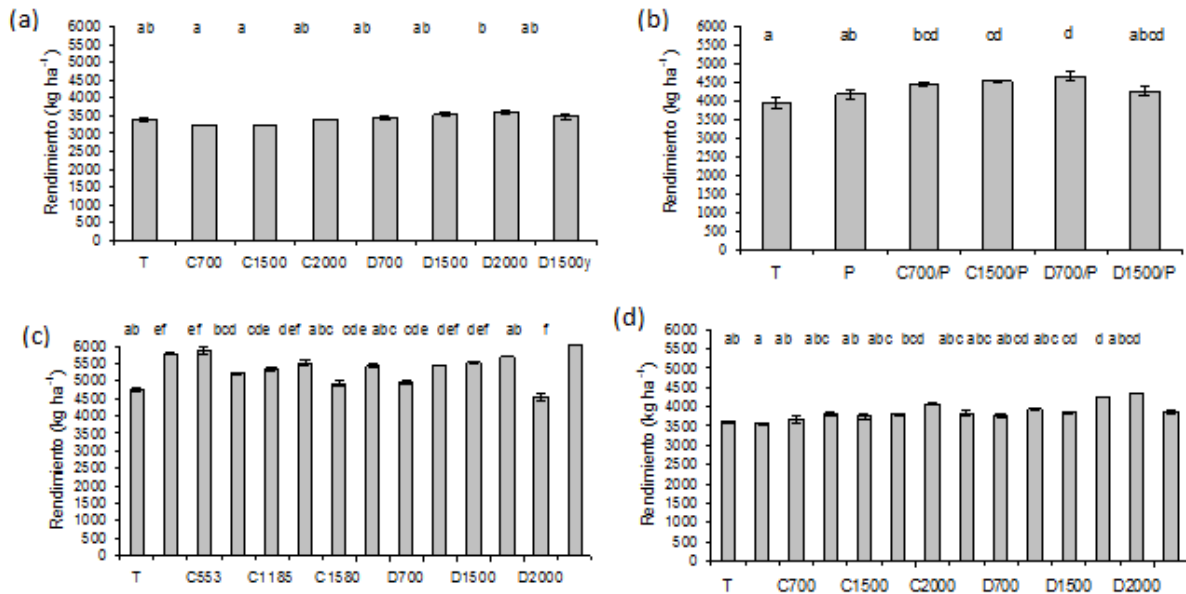


Figura 10. Efecto de los tratamientos de encalado sobre el rendimiento de soja en el suelo
 (a) Argiudol vértico de Rosario (Santa Fe); (b) Argiudol thaptoárgico de Lincoln; (c) Hapludol éntico de Saladillo y
 (d) Hapludol éntico de Norberto de la Riestra (Buenos Aires)
 (Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos).
 Referencia: T: testigo; C: caliza; D: dolomita; y: yeso. Dosis en kg ha^{-1}

Cabe destacar que en algunos casos de suelos encalados se ha demostrado respuesta a la aplicación de fertilizantes fosforados, aun a valores de P extractable no señalados como limitantes para los cultivos. Este hecho deriva de la inmovilización temporaria de P provocada por la precipitación con Ca/Mg contenidos en los correctores. La Figura 10b ilustra una situación de esta naturaleza en un suelo con 24 mg kg^{-1} de P extractable por método Bray-1.

La periodicidad de la aplicación de los correctores va desde frecuencias anuales, en situaciones de elevada acidez y cultivos sensibles, a encalados cada 2-4 años, en situaciones menos limitantes. La periodicidad depende de su residualidad en cada sistema suelo-planta. El efecto residual de los productos correctores depende de la velocidad de su reacción. Entre los factores que intervienen en este proceso pueden mencionarse:

- Condición de clima y suelo: alta temperatura y humedad, así como acidez del suelo, favorecen la solubilidad de los correctores, por lo tanto la residualidad de las enmiendas básicas se ve reducida en ambientes tropicales. En este tipo de suelos y en situaciones de texturas gruesas, el movimiento profundo de las bases es mayor y por lo tanto se reduce la residualidad.
- Naturaleza química del corrector: los óxidos e hidróxidos de bases fuertes reaccionan más rápido que las sales de bases débiles, tales como los carbonatos, incidiendo de esa manera en la residualidad de la práctica.
- Tamaño de partícula: cuanto mayor es el tamaño de partícula, menor la reacción inmediata y mayor el efecto a más largo plazo.
- Dosis del corrector: a menor dosis, menor residualidad
- Fuentes de acidificación: a mayor exportación de bases por la producción y mayores dosis de fertilizantes de carácter ácido, a posteriori de la práctica, menor la residualidad del producto.

En la Figura 11 se muestra el rendimiento relativo (en calado-testigo/testigo) porcentual a través de los años en un ensayo sobre alfalfa en la localidad de Laboulaye (Córdoba) (Vázquez et al., 2010).

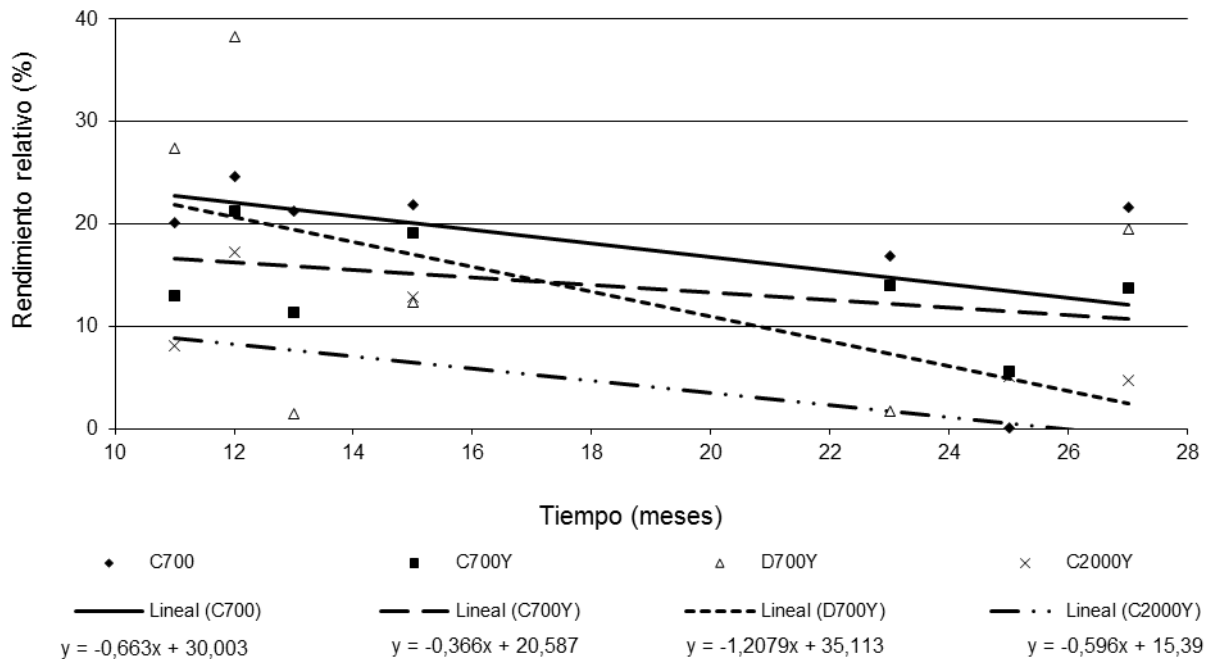


Figura 11. Rendimiento relativo al testigo de los tratamientos de mayor respuesta al encalado a lo largo del tiempo de evaluación en el ensayo de Laboulaye (Córdoba)
Referencia: C: caliza; D: dolomita; y: yeso; 700, 1500 y 2000: dosis en kg ha^{-1}

La residualidad de la práctica para estos ambientes y sistemas productivos se extendió durante todo el tiempo evaluado (27 meses). El rendimiento relativo al testigo estimado al cabo de 24 meses fue de 6,1% para el tratamiento D700y, y 11,8% para el tratamiento C700y, conforme a la mayor solubilidad de la enmienda dolomítica.

ALGUNOS EFECTOS SECUNDARIOS DEL ENCALADO

El aumento del pH del suelo puede acarrear algunos efectos secundarios, entre ellos la modificación de la estabilidad de los agregados del suelo. En suelos ácidos el incremento de pH disminuye las cargas variables positivas y con ellas podría disminuir la estabilidad estructural (Roth y Pavan, 1991). Albuquerque et al. (2003) demostraron que si bien ocurre un aumento de la dispersión de arcilla con la dosis de calcáreo en el caso de un suelo del planalto brasileiro, el mayor aporte orgánico originado por el beneficio del encalado, compensa el proceso dispersivo, no alterándose en consecuencia la estabilidad estructural. Como puede verse, el fenómeno es multivariable y es necesario profundizar en estos procesos para diferentes ambientes edafo-climáticos. Otros autores, por el contrario, han puesto en evidencia una mejora en dicha propiedad, haciendo referencia a la formación de puentes cálcicos que favorecen la floculación de los coloides del suelo (Chan y Heenan, 1999).

Relacionado con la modificación de las propiedades físicas, Vázquez et al. (2009) encontraron que el agregado de caliza y dolomita modificó la porosidad (Tabla 7), la resistencia a la penetración en forma variable según dosis/profundidad de evaluación en suelos del Pdo. de La Plata (Buenos Aires) (Tabla 8). Los autores destacaron que dosis bajas del orden de 1.000 kg ha^{-1} redujeron la resistencia respecto del testigo, afirmando su acción sobre la estructuración del suelo. Sin embargo, puede apreciarse en la Tabla 8 que dosis más elevadas, 1.500 y 2.000 kg ha^{-1} , por el contrario, aumentan la resistencia respecto del testigo, argumentando que podría tratarse de recristalización de los carbonatos. Esta recristalización obturaría el espacio poroso en los suelos de textura fina y por ende con predominio de poros de tamaño pequeño. Estos resultados se asociaron con medidas biológicas (desarrollo de hongos y rendimiento de alfalfa), por lo que en suelos de texturas finas podrían ser desaconsejadas dosis elevadas de los productos.

Tabla 7. Porosidad por imagen (PI), formas de poros y dimensión fractal según tratamientos y profundidad

| Tratamiento | Profundidad | Porosidad (PI) | Poros redondeados | Poros irregulares | Poros elongados | Dimensión fractal |
|-------------|-------------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | cm | % | | Número | | |
| T | 0-10 | 17,5 a | 292,5 a | 84,5 a | 14,2 a | 1,64 a |
| | 10-20 | 9,8 a | 330,0 a | 66,5 a | 7,0 a | 1,57 a |
| D20 | 0-10 | 18,4 a | 436,2 a | 131,7 a | 25,5 b | 1,67 a |
| | 10-20 | 15,3 a | 223,7 a | 58,2 a | 7,2 a | 1,58 a |

Valores en columnas seguidos de igual letra consignan diferencias no significativas ($p < 0,05$) por el Test de Tukey

Tabla 8. Resistencia a la penetración y humedad gravimétrica al momento de su evaluación, según tratamientos y profundidades.

| | Profundidad (cm) | | | | | | | |
|---------|------------------|-------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| | 0-10 | | 10-20 | | 20-30 | | 30-40 | |
| | RP(1) (MPa) | H(2) (%) | RP (MPa) | H (%) | RP (MPa) | H (%) | RP (MPa) | H (%) |
| Testigo | 1,68 cd | 21,4 abc | 2,93 bc | 23,0 a | 3,54 bc | 27,3 a | 3,65 ab | 26,9 a |
| D10 | 1,33 a | 18,4 a | 2,55 a | 23,3 a | 3,27 a | 26,4 a | 3,45 a | 27,6 a |
| D15 | 1,51 bc | 20,5 ab | 2,93 bc | 23,2 a | 3,58 c | 25,0 a | 3,80 b | 27,9 a |
| D20 | 1,88 e | 24,1 bc | 3,11 c | 23,7 a | 3,71c | 25,9 a | 3,42 a | 30,1 a |
| C10 | 1,36 ab | 22,2 abc | 2,55 a | 22,7 a | 3,29 a | 26,5 a | 3,50 a | 30,0 a |
| C15 | 1,63 cd | 21,3 abc | 2,76 b | 22,7 a | 3,40ab | 28,9 a | 3,53 a | 28,5 a |
| C20 | 1,71 de | 25,5 c | 2,88 b | 20,0 a | 3,71 c | 29,6 a | 3,83 b | 30,4 a |

(1) RP (resistencia a la penetración); (2) H (humedad gravimétrica); 0 (T); D10, D15, D20 (1000, 1500 y 2000 kg ha⁻¹ de dolomita), C10, C15, C20 (1000, 1500 y 2000 kg ha⁻¹ de conchilla).

Valores en columnas seguidos de igual letra consignan diferencias no significativas ($p < 0,05$) por el Test de LSD

Más recientemente Nicora et al. (2012) comprobaron efectos comparables en suelos de textura franco-arenosa del centro E de la provincia de Buenos Aires. Otros autores, sin embargo, encontraron respuesta favorable del cultivo de soja a dosis superiores a 4.600 kg ha⁻¹ en Molisoles del SE bonaerense (Barbieri et al., 2010). Es por esta razón que este efecto secundario desfavorable no podría generalizarse y se señala la necesidad de mayor experimentación a nivel local.

Otro efecto secundario de esta práctica es la variación en la disponibilidad de nutrientes, al margen de los aportados por el encalado. Es ampliamente conocida la modificación de la solubilidad de los fosfatos con el incremento del pH si se parte de situaciones de extrema acidez. De la misma manera se comprobaron cambios en la disponibilidad de micronutrientes. Fernandes Boaro et al. (1999) comprobaron menor disponibilidad de Cu, Zn y Mn en plantas de poroto sobre suelos encalados. Andreotti et al. (2001) afirmaron poder superar la deficiencia de Zn causada por el encalado de maíz, mediante fertilización con este elemento.

Uno de los efectos secundarios de mayor importancia es la reducción del Al soluble. A valores de pH 5,3-5,5 el Al forma Al(OH)₃ precipitado y por debajo de dicho rango se forman especies solubles, capaces de ser intercambiadas (Al³⁺, Al(OH)₂⁺, Al(OH)₂⁺). Cuando el encalado permite superar aquel valor de pH, la toxicidad del elemento se reduce considerablemente. Esto es principalmente relevante en el noreste de nuestro país que posee suelos con mayor grado de desarrollo debido al clima subtropical y por ende, mayor acidez y factibilidad de toxicidad de Al. Si bien en el ámbito templado la concentración de Al soluble potencial es relativamente reducida, Millán et al. (2010) encontraron que el encalado disminuyó también la concentración de este elemento en el ámbito templado Argentino (Figura 12).

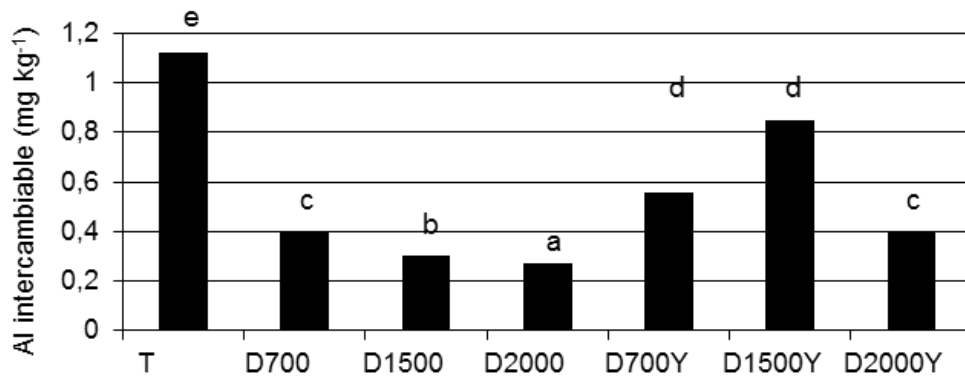


Figura 12. Al 3+intercambiable en los tratamiento con agregado de $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ (dolomita) y $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso) en un suelo Hapludol entico de Laboulaye (Córdoba) de pH actual 5,1. Referencia: letras distintas sobre las barras indican dif. est. sign. ($p < 0,05$). D: dolomita; Y: yeso; 700, 1.500 y 2.000: dosis equivalentes en kg ha⁻¹

CUESTIONARIO

1. Describa causas naturales y antrópicas de acidez, indicando cuáles predominan en las zonas subtropicales-tropicales y cuáles en las zonas templadas.
1. ¿Cuáles son las consecuencias directas e indirectas de la acidez en ambos tipos de ambientes.
2. ¿Qué especies son más sensibles a esta problemática.
3. ¿Cómo se efectúa el diagnóstico de la misma en ambos tipos de ambientes.
4. ¿Qué alcance y limitación tiene el empleo del pH actual y potencial como herramientas de diagnóstico.
5. Idem el porcentaje de saturación básica general y de las bases en particular.
6. Idem de las relaciones entre las bases intercambiables.
7. ¿Qué otros métodos de diagnóstico conoce, cuales son su limitaciones y qué grado de difusión tienen en el país.
8. ¿A qué se denomina encalado y que productos se utilizan con mayor frecuencia.
9. ¿Cómo es la solubilidad de estos productos y qué incidencia tiene en su eficiencia.
10. Establecida una dosis cómo se calcula qué cantidad de otro corrector debe usarse.
11. ¿De que depende la eficiencia de una enmienda básica.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL CONSULTADA

- Abruña, F. y J. Vicente. 1955. Requirement of a quantitative method for determining the lime requirement of soil. *Journal of Agric. of the University of Puerto Rico* 39: 41 - 45.
- Adams, F., y C.E. Evans. 1962. A rapid method for measuring lime requirement of red-yellow podzolic soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26:355-357.
- Albuquerque, J.A., C. Bayer, P.R. Ernani, A.L. Mafra, y E.C. Fontana. 2003. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 27 (5): 799-806.
- Alcarde, J.C., y A.A. Rodella. 1996. O Equivalente em carbonato de cálcio dos corretivos da acidez dos solos. *Sci. Agric.* 53(2-3): 204 – 210.
- Amaral, A.S., I. Anghinoni, R. Hinrichs, y I. Bertol. 2004. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 28(2): 359 – 367.
- Anjos Reis, R., P.C. Rezende Fontes, J.C. Lima Neves, y N. Terra Santos. 1999. Total soil electrical conductivity and critical soil K⁺ to Ca²⁺ and Mg²⁺ ratio for potato crops. *Soil Agric.* 56(4): 993 – 997.
- Andrade, S.A.L., C.A. Abreu, y M.F. Abreu. 2003. Interação do chumbo, da saturação por bases do solo e de micorriza arbuscular no crescimento e nutrição mineral da soja. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 27(5): 945 – 954.
- Andreotti M., E. C. A. De Souza, y C.A. Costa Cruscio. 2001. Componentes morfológicos e produção de materia seca de milho em função da aplicação de calcário e zinco. *Sci. Agric.* 58(2): 321 – 327.
- Barbieri, P. A., H.E. Echeverría, y H.R. Saínez Rozas. 2010. Soybean response to lime and micronutrients application in argentinean molisols. 102 American Society of Agronomy (ASA) annual meeting. 31 Octubre-3 Noviembre. Long Beach CA-USA. Actas CD 1 p.
- Bear, F.E., y S.J. Toth. 1948. Influence of Ca on availability of other soil cations. *Soil Sci.* 65: 69-75.
- Bell, P.F. 1996. Predicting liming needs of soybean using soil pH, aluminum and manganese soil test. *Comm soil sci plant anal* 27 (13-14): 2749-2764.
- Bhumbla, D.K., y E.O. Mc Lean. 1965. Aluminum in soils: VI. Changes in pH-dependent acidity, cation-exchange capacity, and extractable aluminum with additions of lime to acid surface soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29: 370-374.
- Bianchini, A.A., y A.P. Mallarino. 2002. Soil-sampling alternatives and variable-rate liming for a soybean-corn rotation. *Agron. J.* 94:1355-1366.
- Borie, B.F., F.A. Gallardo, M.L.G. Mora, y 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, y 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., W.A. Chueiri, E.F. Madruga, y A. Fuigueiredo. 1998. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. *Rev Bras Ciênc Solo* 22: 27.
- Caires, E.F., J. Blum, G. Barth, F.J. Garbuio, y 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.
- Camberato, J.J., y W.L. Pan. 2000. Bioavailability of calcium, magnesium and sulfur. En *Handbook of Soil Science. Sección D: Soil Fertility and Plant Nutrition. Cap. 1: Bioavailability of major essential nutrients: D3 – D69.* Ed. Malcom Summer. ISBN 0-8493-3136-6. EEUU.
- Carver, B., y Y J. Ownby. 1995. Acid soil tolerance in wheat. *Adv Agron* 54: 117-173.

- Chan K.Y., y D.P. Heenan. 1999. Lime-induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1841-1844.
- Ciampitti, I., y F. García. 2008. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. II Hortalizas, Frutales y Forrajeras. *Informaciones agronómicas* 37. Buenos Aires. 22 p.
- Ciotta, M.N., C. Bayer, P.R. Ernani, S.M.V. Fontoura, C. Wobeto, y J.A. Albuquerque. 2004. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. *Rev. Brás. Ciênc. Solo* 28(2): 317 – 326.
- Cochrane, T., J. Salinas, y P. Sánchez. 1980. An equation for liming acid mineral soils to compensate crops aluminium tolerance. *Trop. Agr.* 57 (2): 133-140.
- Culot, J. 1967. Condiciones edáficas relacionadas con la hipomagnesemia del ganado en el SE bonaerense. INTA. Balcarce. *Boletín Técnico* N°51.
- 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. 3ª Edición. Fertilizar Asoc. Civil, Mar del Plata. ISBN 987-43-9313-0. 289 p.
- Demagnet, R.F., B.M. Schnettler, y 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 (1-2): 95-110.
- Dietzel, K.A., Q.M. Ketterings, y R. Rao. 2009. Predictions of lime needs for pH and aluminium management of New York agricultural soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:443-448.
- Farina, M.P.W., P. Channon, y 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.
- Fernández Boaro C.S., J.A. Proença Vieira De Moraes, J.D. Rodríguez, E.O. Onol, y P.R. Curi. 1999. Interações entre magnesio e micronutrientes metálicos durante o desenvolvimento de feijoeiro, em solução nutritiva. *Sci. Agric.* 56 (1): 125-134.
- Gambaudo, S., L. Picco, P. Soldano, y A. Cervetti. 2007. Fertilización compuesta con calcio, magnesio y azufre en soja. Resultados experiencias campaña 2006/07. INTA. EEA Rafaela. *Información Técnica cultivos de verano*. Publicación Miscelánea N°108.
- García, M., y M. Vázquez. 2011. Impacto de la evolución de la agricultura santafesina en la pérdida de nutrientes básicos de los suelos. Valoración económico-ecológica. V Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente/V Jornada de la Asociación Argentino Uruguayana de Economía Ecológica. Universidad Nacional del Litoral de Sta Fe, 9/2011.
- González, B., S. Gambaudo, D. Bersano, D. Tenorio, J. Neifert, y D. Osenda. 2001. Enmiendas en trigo. *Fertilizar* 6(23): 18-19.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, y W.L. Nelson. 2005a. Soil acidity and alkalinity. En J.L. Havlin, J.D. Beaton, S.L. Tisdale, W.L. Nelson (ed.) *Soil fertility and fertilizers*. Pearson Prentice Hall. New Jersey. 7th ed, p. 45-96.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, y W.L. Nelson. 2005b. Sulfur, calcium, and magnesium. En J.L. Havlin, J.D. Beaton, S.L. Tisdale, W.L. Nelson (ed.) *Soil fertility and fertilizers*. Pearson Prentice Hall. New Jersey. 7th ed, pp. 219-243.
- Hedin, L.O., L. Granat, G.E. Liguens, T.A. Buishand, J.N. Galloway, T.J. Butler, y H. Rodhe. 1994. Seps declines in atmospheric base cations in regions of Europe and North America. *Nature* 367: 351-354.
- Hoskins, B.R., y M.S. Erich. 2008. Modification of the Mehlich lime buffer test. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39:2270-2281.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). 2006. Resultados experimentales en tomate de mesa. Reunión Técnica N1454, Las Brujas, Uruguay. 43 p.

- Järvan, M. 2004. Available plant nutrients in growth substrate depending on various lime materials used for neutralizing bog peat. *Agronomy Research* 2(1): 29-37.
- Järvan, M., y P. Pöldma. 2004. Content of plant nutrients in vegetables depending on various lime materials used for neutralising bog peat. *Agronomy Research* 2(1): 39-48.
- Kamprath, E.J. 1984. Crop response to lime on soils in the tropic. En *Soil acidity and liming*: 349-368. Ed. F. Adams. Am. Soc. Agronomy, Wisconsin, EEUU.
- Kissel, D.E., R.A. Isaac, R. Hitchcock, L.S. Sonon, y P.F. Vendrell. 2007. Implementation of soil lime requirement by a single-addition titration method. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38:1341-1352.
- Kollmeier, M., H.H. Felle, y W.J. HORST. 2000. Genotypical differences in aluminum resistance of maize are expressed in the distal part of the transition zone. Is reduce basi-petalauxin flow involved in inhibition of root elongation by aluminum? *Plant Physiol.* 122 (3) 945-956.
- Lacerda, C.F., J. Cambraia, M.A. Oliva, y H.A. Ruiz. 2004. Influencia do calcio sobre o crescimento e solutos em plântulas de sorgo estressadas com cloreto de sodio. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 28(2): 289 – 295.
- Liu, M., D.E. Kissel, M.L. Cabrera, y P.F. Vendrell. 2005. Soil lime requirement by direct titration with a single addition of calcium hydroxide. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 522-530.
- 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.
- Malavolta, E., G. Vitti, y S. De Oliveira. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Ed. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, Brasil. 201 p.
- Martínez, F., y G. Cordone. 2008. Soja 2008. Para Mejorar la Producción/39 Estación Experimental Agropecuaria Oliveros Centro Regional Santa Fe" ISSN 1850-163X p. 78-80.
- Mc Lean, E.O., D.J. Eckert, G.Y. Reddy, y F.J. Trierweiler. 1978. An improved SMP soil lime requirement method incorporating double-buffer and quick-test features. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 311-316.
- Melgar, R., J. Lavandera, y M.E. Camozzi. 1999. Fertilización balanceada, clave para la alta productividad. *Fertilizar* 17: 24-25. INTA. Argentina.
- Mehlich, A. 1976. New buffer pH method for rapid estimation of TA and lime requirement of soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 7: 637-652.
- Mengel, K., y E.A. Kirkby. 2000. Principios de Nutrición Vegetal. Cap.11: 401 – 423, Cap 12: 425 – 434. Ed. Instituto Internacional de la Potasa, Basilea, Suiza. 607 p.
- Millán, G., M. Vázquez, A. Terminiello, y 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.
- Miller, R.O., and D.E. Kissel. 2010. Comparisons of soil pH methods on soils of North America. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74: 310-316.
- Moseley, G., y D.H. Baker. 1991. The efficacy of a high magnesium grass cultivar in controlling hypomagnesaemia in grazing animals. *Grass Forage Sci.* 46: 375-380.
- Muñoz Hernández, R.J., y 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.
- Nicora, Z., F. Guilino, A. Terminiello, G. Millán, y M. Vázquez. 2012. Efecto del Encalado sobre la Resistencia Mecánica de un Hapludol Éntico Bonaerense. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16-20/5/2012. Mar del Plata, Argentina.
- Oliveira, E.L. 1993. Rendimento de matéria seca e absorção de cálcio e magnésio pelo milho em função da relação cálcio/magnésio no solo. *Ver. Bras. Ciênc. Solo* 17: 383-388.

- Oliveira, E.L., y 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.
- Pagani, A., A.P. Mallarino, y J.E. Sawyer. 2009. Soil pH and lime management for corn and soybean: an ongoing on-farm project. North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference. November 18, 2009. Des Moines, IA. p. 106-112.
- Pagani, A., and A.P. Mallarino. 2011. Comparison of soil pH measured in water and calcium chloride to predict crop response to lime in Iowa. *Agronomy Abstracts*. CD-ROM. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI.
- Pagani, A., y A.P. Mallarino. 2012a. Comparison of methods to determine crop lime requirement under field conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* In press.
- Pagani, A., y A.P. Mallarino. 2012b. Soil pH and Crop Grain Yield as Affected by the Source and Rate of Lime. *Soil Sci. Soc. Am. J.* In press.
- Pierce, F.J., y D.D. WARNKE. 2000. Soil and crop response to variable-rate liming for two Michigan Fields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 774-780.
- Pooviah, B.W., y A.S.N. Reddy. 1996. Calcium and geotropism. En Y. Waisel et al. Ed. *Plants rotos: The hidden half*. Academic Press. New York. p. 307-321.
- Porta, J., M. López Acevedo, y C. Roquero. 1999. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente Cap. 10: 217-236. 2ª Ed. Ediciones Mundi Prensa, Madrid. 849 p.
- Richter, M., M. Conti, y G. Maccarini. 1982. Mejoras en la determinación de cationes intercambiables, ácidos intercambiables y capacidad de intercambio catiónica en suelos. *Rev. Fac. Agronomía* 3 (2): 145-155.
- Roth, C.H., y M.A. Pavan. 1991. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of Brazilian Oxisol. *Geoderma* 48: 351-361.
- Sikora, F.J. 2006. A buffer that mimics the SMP buffer for determining lime requirement of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 474-486.
- Sims, J. T. 1996. Lime requirement. In: D.L. Sparks, editor, *Methods of soil analysis*. Part 3. Soil Science Society of America Book Series No. 5. SSSA. Madison, WI. p. 491-515.
- Summer, M.E. 1993. Sodic soils: New perspectives. *Austr. J. Soil Res.* 31: 683-750.
- Vázquez, M., A. Piro, G. Millán, y J. Lanfranco. 2002. Pautas para el diagnóstico de la problemática asociada a suelos ácidos de zonas templadas subhúmedas. *Revista de la Asociación Argentina de la Producción Animal* 23(2): 69-80.
- Vázquez, M. 2003. Evaluación de la afectación de algunas propiedades edáficas bajo riego complementario en la provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. FCNyM. UNLP, Argentina. Inédito. 216 p.
- Vázquez, M., A. Terminiello, y 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, y F. Guilino. 2009. Efecto de correctores de acidez sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico de la pradera pampeana. *Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo* 27 (1):67-76.
- Vázquez, M., A. Terminiello, A. Casciani, G. Millán, P. Gelati, F. Guilino, J. García Díaz, J. Kostiria, y M. García. 2010. Influencia del agregado de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en ámbitos templados argentinos. *Ciencia del Suelo* 28 (2): 141-154.
- Vázquez, M., A. Terminiello, A. Casciani, G. Millán, D. Cánova, P. Gelati, F. Guilino, A. Dorrnzoro, Z. Nicora, L. Lamarche, y M. García. 2012. Respuesta de la soja (*Glycine max* L.merr) a enmiendas básicas en algunos suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. *Ciencia del Suelo* 30(1): 43-55.
- Vigil, A. 2002. Viñedos. Fertilizar, diciembre: 18-22. INTA, Argentina.

- Villagarcia, MR., T.E. Carter, JR., T.W. Ruffy, A.S. Niewoehner, M.W. Jennnette, y C. Arellano. 2001. Genotipyc ranking for aluminium tolerance of soybean root grown I hidroponics and sand cultura. *Crops Sci*; 412: 1499-1507.
- Weisz, R., J. White, B. Knox, y L. Reed. 2003. Long-term variable rate lime and phosphorus application for Piedmont no-till field crops. *Precision Agric* 4(3): 311-330.
- Woodruff, C.M. 1948. Testing soils for lime requirement by means of a buffered solution and the glass electrode. *Soil Sci.* 66: 53-63.
- Yuan, T.L. 1974. A double buffer method for the determination of lime requirement of acid soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 38: 437-440.
- Zalewska, M. 2003. The efect of varios calcium, magnesium, potasium and hidrogen saturation of CEC on the yield and mineral composition of yelow lupine. *Pol. J. Natur. Sc.* 15 (3): 321-334.
- Zalewska, M. 2005. The efect of varios calcium, magnesium, potasium and hidrogen saturation of CEC on the yield and mineral composition of oat. *J. Elementology* 10 (4): 1137-1148.
- Zalewska, M. 2008. The efect of varios calcium, magnesium, potasium and hidrogen saturation of CEC on the yield and mineral composition of sunflower. *Pol. J. Natur. Sc.* 23 (2): 347-365.