

Corrección de Suelos Ácidos Para Cultivar Caña de Azúcar.

Marco Chaves Solera^{1/}

La existencia de condiciones ácidas en muchos (entre 20-25%) de nuestros suelos agrícolas sugiere y obliga, si se quiere ser eficiente y competitivo en la compleja dinámica del comercio actual y sobre todo futuro, a corregir y acondicionar los mismos para incrementar su productividad mediante el empleo de enmiendas, especialmente calcáreas. La acidez del suelo limita la producción agrícola en grado variable, dependiendo entre otros factores, de la severidad del problema, la sensibilidad de la especie vegetal cultivada, las características fisicoquímicas del suelo y condiciones climáticas del lugar, el manejo agronómico seguido y las prácticas de recuperación adoptadas y ejecutadas.

¿Qué es un suelo ácido?

Son suelos especiales que presentan propiedades limitantes en grado variable para el desarrollo normal de muchas especies de plantas (no todas), aunque hay algunas que en lo particular se adaptan y los toleran. Se caracterizan entre otras cosas por presentar por lo general altas concentraciones de Al, Mn y Fe, muchas veces tóxicas y destructivas para las raíces; su pH es bajo (< 7) con tendencia a disminuir con el tiempo; los contenidos de Bases (Ca, Mg y K) son también bajos (condición Dystrófica); la Saturación (%) por Aluminio es alta; la Capacidad de Intercambio Catiónica (CIC) es limitada lo que afecta la adsorción y consecuentemente la retención de nutrimentos entre los que están los adicionados mediante la fertilización; poseen alta fijación e insolubilización del P; hay menor disponibilidad de azufre; exhiben desproporción entre cationes y aniones disponibles; la actividad biológica se ve limitada y/o impedida lo que afecta la Mineralización (degradación) de la Materia Orgánica en el suelo; la estructura física del suelo puede verse afectada por una baja agregación (formación de terrones).

¿Qué factores favorecen la acidificación de los suelos?

Prácticas como el uso continuo o excesivo de fertilizantes con efecto residual ácido, como acontece con los nitrogenados amoniacales (ej. Sulfato de Amonio, Amoniac Anhidro, Cloruro de Amonio, Urea, etc.); el cultivo intensivo de plantas extractoras sin disponer programas complementarios de restitución nutritiva; la presencia de alta erosión; el laboreo y la preparación deficiente de los suelos; el no encalamiento periódico de plantaciones siguiendo criterios técnicos válidos; la no adición de abonos de origen orgánico o eliminación de la capa vegetal; el empleo agrícola de terrenos naturalmente ácidos; la ausencia de monitoreos y prácticas correctivas de fertilidad, entre otras, determinan y favorecen la acidificación sistemática de los suelos.

^{1/} Ingeniero Agrónomo (MS.c), Director Ejecutivo de la Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA); E-mail: mchavez@laica.co.cr; tel: 284-6066; 494-1129. Documento publicado en Julio del 2002.

¿Porqué encalar los suelos?

Fundamentalmente porque la acidez limita la expresión y manifestación productiva potencial de un determinado material genético no tolerante o susceptible, afectando severamente sus índices de productividad, producción, rentabilidad comercial y con ello la competitividad empresarial. La solubilización y la concentración potencial de elementos nocivos (Al, Mn, Fe, Cu) en cantidades tóxicas en la solución del suelo; la intoxicación de los tejidos radiculares; los efectos biológicos negativos y degradantes; el desequilibrio, la insuficiencia y la capacidad de suministro nutricional pueden ser atenuados, corregidos y adecuados de manera determinante mediante la adición de cal al suelo, lo que representa una práctica técnicamente efectiva, económicamente viable, muy rentable y de alto retorno. Como anotara Chaves (1999), *“se encala para corregir y acondicionar el suelo para su uso agrícola, eliminando o minimizando aquellos factores que impiden a la planta tomar del suelo los alimentos (nutrimentos) que necesita para satisfacer sus necesidades vitales básicas”*

¿Dónde se necesita la cal?

Particularmente en las regiones y localidades húmedas con presencia de altos niveles de precipitación; alta temperatura; suelos viejos, meteorizados (desgastados) y erosionados, donde se practica una agricultura intensiva y no hay desarrollo de programas complementarios orientados a restituir y mejorar la condición de fertilidad. Es importante señalar que no todos los suelos de regiones con presencia de esas condiciones requieren necesariamente de encalamiento, lo que obligadamente deberá ser diagnosticado y verificado por medio de los análisis del suelo. El resultado de los diagnósticos de fertilidad realizados en las regiones dotadas de esas características donde se cultiva caña de azúcar (Zona Sur, Turrialba-Juan Viñas, Valle Central Occidental, algunas localidades de San Carlos y Los Chiles), revelan que los suelos presentan características típicamente ácidas representadas por valores de $\text{pH} < 5,5$; Acidez Intercambiable media alta ($> 0,51 \text{ cmol (+)/l}$); muy bajos contenidos de P, Ca, Mg, K, Si y medios de Zn; concentraciones medio-altas de Fe, Mn y Cu; una Saturación (%) de Acidez media-alta y una CICE media; también un evidente desbalance nutricional. Se reitera que no siempre acontece así. Estos suelos exhiben en muchas áreas condiciones ácidas que requieren necesariamente ser corregidas para ser empleadas en la agricultura competitiva con posibilidades reales de éxito.

¿Cual es el efecto de la cal en el suelo?

La cal una vez adicionada e incorporada al suelo y con presencia de la humedad necesaria, reacciona rápidamente hidrolizándose y disociando en sus componentes básicos; por ej. el CaCO_3 disocia en Ca^{2+} y CO_3^- , por medio de los cuales se da la neutralización de los elementos tóxicos provocando su insolubilización y posterior precipitación. Acontecida la insolubilización e inhabilitación de esos elementos, las condiciones para la absorción del resto de nutrimentos se ven favorecidas y promocionadas. La cal opera figuradamente como un “cebo” en el suelo, que corrige y acondiciona y determina la absorción eliminando sustancias tóxicas indeseables para el desarrollo de las raíces, disponiendo el medio para que el resto de nutrientes esenciales puedan ser absorbidos y metabolizados por la planta.

¿Qué características son importantes en una fuente comercial de cal?

Los correctores de acidez presentan características, atributos y propiedades que determinan y definen su grado de calidad y potencial de uso. Entre los más importantes están: 1) forma química contenida (Carbonato, Óxido, Hidróxido, Silicato, etc.), 2) contenido de constituyentes neutralizantes (Ca, Mg), 3) pureza de la fuente, 4) tamaño de las partículas (granulometría), 5) grado de reactividad del material, 6) efecto residual (corto-prolongado), 7) relación Ca/Mg de la fuente, 8) contenido de otros nutrientes especialmente micronutrientes, 9) Porcentaje Relativo de Neutralización Total (PRNT), indicador técnico que integra varias de las normas anteriores, y 10) precio del producto.

Las evaluaciones realizadas en el país (Chaves, 1993b; Molina, 1998), revelan índices de calidad aceptables aunque variables con algunos problemas serios de granulometría por el tamaño (grueso) de las partículas; no así en lo concerniente al grado de pureza del material correctivo. La presencia de partículas con tamaños superiores a 2,0 mm son de poco interés para uso agrícola por tener baja actividad química en el suelo; lo ideal es contar también con una buena proporción de materiales finos. Chaves (1993a) recomienda, *“que en una buena cal debe procurarse que al menos el 95% de las partículas atraviesen la malla N° 10 correspondiente a una apertura de 2,00 mm; el 70% la malla N° 20 (0,84 mm) y el 50% atraviese lamilla N° 50 (0,297 mm).”* Lo anterior asegura que apenas un 5% de toda la fracción es material grueso de baja reactividad en el corto plazo, pero que provee complementariamente una aceptable residualidad, especialmente en cultivos de ciclo vegetativo y vida comercial prolongada como acontece con la caña de azúcar.

¿Qué productos se emplean comercialmente para encalar?

El encalamiento de los suelos se realiza como indicara Chaves (1999), *“mediante los denominados “correctivos de acidez”, que son productos que poseen sustancias capaces de corregir una o más características del suelo que son desfavorables para el crecimiento de las plantas; entre ellos se tiene la “Cal”, que es el término genéricamente utilizado para nombrar esos productos.”*

Son numerosas las opciones de productos comerciales que existen en el mercado para realizar la corrección de los suelos ácidos, cuyo constituyente neutralizante es diferente. Entre las principales fuentes están como anotara Chaves (1993a) según su Fórmula Química y su Equivalente (%) en CaCO_3 , las siguientes: Carbonato de Calcio ($\text{CaCO}_3 = 100\%$); Carbonato de Magnesio ($\text{MgCO}_3 = 119\%$); Óxido de Calcio ($\text{CaO} = 178\%$); Óxido de Magnesio ($\text{MgO} = 248\%$); Hidróxido de Calcio ($\text{Ca(OH)}_2 = 135\%$); Hidróxido de Magnesio ($\text{Mg(OH)}_2 = 172\%$); Silicato de Calcio ($\text{CaSiO}_3 = 86\%$); Silicato de Magnesio ($\text{MgSiO}_3 = 100\%$); Dolomita Pura ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 = 109\%$); Dolomita Viva ($\text{CaO} + \text{MgO} = 208\%$); Dolomita Apagada ($\text{Ca(OH)}_2 + \text{Mg(OH)}_2 = 151\%$). En Costa Rica la fuente de mayor uso es el CaCO_3 , aunque el CaO tiene también algún uso al igual que la Dolomita, la cual sin embargo por ser importada (Guatemala, Honduras, Belice) tiene limitaciones de precio al ser este mayor.

Como se evidencia, el Ca y el Mg son los cationes básicos predominantes de todas las fuentes, aunque el anión acompañante (CO_3 , OH_2 , O, SiO_3) es el que promueve y genera la reacción de neutralización en el suelo. La Capacidad de Neutralización de una fuente

correctiva está dada y es valorado por sus “Equivalentes (%) en Carbonato de Ca”, fuente que opera como referente y patrón comparativo para todas las otras, por lo cual su valor es 100%. De acuerdo con esa información, los Óxidos (O) son mejores correctivos que los Carbonatos (CaCO_3), los Hidróxidos (OH) y los Silicatos (SiO_3), por dar formación en su reacción a Bases Químicas Fuertes o Débiles. El Mg es por su parte un catión más efectivo que el Ca en la función de Intercambio Catiónico que inducen en la micela del suelo. Los Equivalentes de CaCO_3 revelan que todas las fuentes, excepto el CaSiO_3 , superan al CaCO_3 en su Capacidad de Neutralización, siendo el MgO (Eq.= 248%) y la Dolomita Viva (Eq.= 208%) las más eficientes en cuanto a ese indicador.

El Yeso Agrícola o Sulfato de Calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) cuya composición es de 17-20% de Ca y 14-18% de S, ha venido teniendo recientemente uso con algún beneficio como enmienda agrícola, para atender algunos de los problemas de los suelos ácidos, como lo señalaran Chaves (1986, 1991, 1993a) y Molina (1998). El Yeso como sal de reacción neutra favorece el movimiento del Ca^{2+} en el perfil hacia las capas subsuperficiales y más profundas del suelo, donde el calcáreo no llega por razones de su baja solubilidad y movilidad; disminuyendo con ello la Saturación por Al^{3+} y los efectos detrimentales que éste induce sobre las raíces. El Yeso no es ni debe ser considerado como un corrector de acidez vía neutralización como expresan algunos investigadores y sobre todo vendedores de casas comerciales; sino que su efecto es favorecer el intercambio iónico, saturar el complejo de cambio de la micela, acomplejar y precipitar luego el Al^{3+} , no neutralizarlo, como quiere hacerse erróneamente creer. Esta consideración es químicamente muy importante tenerla en cuenta virtud de la dinámica del suelo.

¿Cuándo encalar?

El criterio más válido y correcto para tomar la decisión de encalar un suelo agrícola, debe fundamentarse y cimentarse casi ineludiblemente en el resultado de los análisis físicoquímicos del suelo, pues otros criterios son subjetivos y técnicamente muy limitados; motivo por el cual, la realización de monitoreos periódicos constituye una excelente práctica. En el momento en que el grado de acidez alcance grados preocupantes y potencialmente perjudiciales para el cultivo, entonces debe encalarse. Los criterios van orientados a contrarrestar la presencia de una Acidez Intercambiable alta o también a elevar las bajas concentraciones o insuficiencia de Ca y Mg en el suelo y los tejidos de la planta; ambos criterios son diferentes por lo que deben discrecionarse muy bien, pues las cantidades de cal implicadas pueden ser importantes. El criterio ya superado, de encalar hasta elevar el valor del pH a 6,5 es insuficiente, por lo que actualmente se procura eliminar los efectos nocivos de la acidez razón por la cual se considera como referente la acidez intercambiable. El mejor momento para aplicar la cal lo determina la condición del suelo, lo que no elimina ni invalida en absoluto la adopción de criterios programáticos y estratégicos vinculados con la periodicidad de las aplicaciones y la cantidad de producto por adicionar.

La adición de la cal debe realizarse necesariamente con presencia de humedad en el suelo para inducir y favorecer su reacción química, lo que en las regiones de buen régimen hídrico, como la Región Atlántica, no es problema. Existe también una relación estrecha y muy directa con el uso del P, por lo que se recomienda distanciar ambas aplicaciones al menos un mes una de otra, incorporando primeramente la cal en virtud de su función y su funcionalidad en el suelo; esto es válido también para otros nutrimentos. La adición de la cal debe ser previa a la aplicación de los fertilizantes al

suelo, pues se procura precisamente corregir y acondicionar el medio para que los nutrimentos contenidos y adicionados con el fertilizante estén disponibles para ser absorbidos por las raíces de la planta.

¿Cómo encalar?

Existen varios factores que determinan el método y el criterio de cómo aplicar la cal al suelo, entre los cuales se tienen: topografía y pendiente (relieve) del terreno; ciclo vegetativo del cultivo; área (has) de terreno por cubrir; cantidad (kg) por aplicar y disponibilidad real y potencial de poder mecanizar la práctica; tiempo previsto y disponible para alcanzar su efecto. La adición Mecanizada es viable cuando la topografía y el equipo lo permiten. Se practica al establecer la plantación mediante el uso de espolvoreadoras que distribuyen la cal al voleo o en bandas en toda la superficie del terreno, la cual se puede incorporar posteriormente con rastras. También se emplea el método Manual, el cual es muy utilizado en el país y muy apto para el cultivo de la caña en zonas pendientes ya desarrolladas.

El método de aplicación cualquiera que sea no puede perder nunca de perspectiva el área de desarrollo y acción (vertical-horizontal) del sistema radicular de la planta, puesto que se procura precisamente promover y ampliar su superficie de exploración y absorción de agua y nutrimentos en el perfil del suelo. La localización de la cal se practica colocarla en: 1) Superficialmente al Voleo en todo el terreno al preparar el terreno para la siembra, 2) Fondo del Surco durante la siembra, 3) Banda de Plantas en crecimiento, 4) Entrecalle y 5) Combinación de criterios 3) y 4). Cada uno de los métodos citados tiene ventajas y limitaciones, por lo que su adopción depende del momento vegetativo de la planta y la circunstancia (siembra-manejo) prevaleciente en la unidad particular de producción.

¿Cuánta cal aplicar?

Es la consulta más común entre productores virtud de atender su inquietud y responder específicamente a su necesidad inmediata. La respuesta por tanto resulta importante y vinculante aunque siempre relativa, aún para un mismo agricultor y finca, en virtud de intervenir varios factores como: 1) grado de acidez prevaleciente por lote, 2) fuente de cal a emplear, 3) calidad del material correctivo definido por su PRNT, 4) forma de aplicación, 5) área (has) a cubrir, 6) método de cálculo empleado para determinar la Necesidad de Calcáreo (NC), 7) tiempo previsto para alcanzar el grado de corrección deseado, 8) estrategia nutricional a seguir en razón del Plan de Fertilización previsto ejecutar, 9) capacidad económica y valor total de la aplicación implicada. En general, entre mayor acidez, granulometría gruesa, menor pureza y más bajo PRNT del material calcáreo, mayor será la cantidad de cal que debe aplicarse lo cual incrementa paralelamente los costos vinculados. Si se desea obtener efectos rápidos y efectivos en el suelo, mayor reactividad deberá tener el material (óxidos) empleado para que lo favorezca; si por el contrario, se desea obtener más residualidad entonces la granulometría del material utilizado deberá ser entonces más gruesa (menos fina). El asunto de la reactividad va en mucho ligado con la superficie de exposición del material y la forma química reactiva de la fuente. La reactividad y la residualidad de acción de un calcáreo en el suelo son efectos opuestos, lo que debe tomarse en cuenta al adoptar un criterio y procurar equilibrarse para lograr un efecto balanceado si ese fuera el deseo.

¿Cómo se calcula la necesidad de cal de un suelo?

La Necesidad de Cal (NC) puede ser determinada por medio de varios métodos que incorporan diferentes variables e indicadores técnicos, que generan consecuentemente cantidades de cal también diferentes; entre dichos criterios están: Saturación (%) de Acidez del Suelo (real); Saturación (%) de Acidez Deseada (teórica); CICE del suelo; Saturación (%) de Bases del Suelo (real); Saturación (%) Deseada (teórica); PRNT (%); Contenido de Materia Orgánica (M.O); Concentración de Aluminio Intercambiable (Al^{3+}); Textura del Suelo; Valor de pH del suelo; Factores de corrección combinados e individuales, entre otros. La inferencia y representatividad del resultado que se obtiene a partir del cálculo, viene a ser diferente virtud de que las variables utilizadas son también diferentes.

Actualmente el método más utilizado en el país para calcular la NC es la siguiente:

$$NC = \frac{1,5 (Al - RAS) \times (CICE) \times f}{100} = \text{Toneladas de CaCO}_3 \text{ por hectárea}$$

Donde:

- NC** = Necesidad de Calcáreo
- Al** = % Saturación de Acidez del suelo según análisis químico
- RAS** = % Saturación de Acidez deseada alcanzar (teórica)
- CICE** = Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva (Ca + Mg + K + Al)
- 1,5** = Factor de Corrección, varía entre 1 y 3 según cultivo y contenido de M.O.
- f** = $1/PRNT$

Entre mayor contenido de M.O en el suelo, mayor es el valor del factor utilizado.

El **Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT)**, es un criterio técnico que valora en forma conjunta la pureza química y la granulometría (fineza) de un material calcáreo, determinando con ello su calidad y potencial correctivo. Su cálculo es como sigue:

$$PRNT = \frac{\%EG \times \%EQ}{100}$$

Donde:

- EG** = Eficiencia Granulométrica
- EQ** = Equivalente Químico

El PRNT indica el Poder de Neutralización de un determinado material encalante para reaccionar en el suelo en el término de 3 meses. Entre más alto el valor más reactivo y mejor será el producto comercial. La calidad por tanto está determinada no sólo por la condición química (EQ) sino también por su granulometría (EG). Se tiene que en el caso de un material con una EG del 90% y una EQ del 95%, el PRNT será entonces del 85,5% producto de la siguiente relación aritmética: $PRNT = (90 \times 95)/100$. El resultado anterior significa que el 85,5% de la cal reaccionará en el término de 3 meses luego de aplicado y el 9,5% ($95-85,5 = 9,5\%$) restante lo hará posteriormente.

La NC es por tanto dependiente de la condición físico-química del suelo, la naturaleza del cultivo sembrado y la calidad (físicoquímica) del material calcáreo utilizado para

acondicionar el terreno. Seguidamente se expone un ejemplo práctico para demostrar el cálculo en dos tipos diferentes de suelos:

SUELO	pH	Al	Ca	Mg	K	CICE	Saturación (%) Al
----- cmol (+)/l -----							
A	4,7	1,0	2,0	1,3	0,22	4,52	22,1
B	4,0	3,0	2,6	0,6	0,29	6,49	46,2

PRNT de la Cal = 90%

RAS deseado = 20%

Sustituyendo se tiene:

$$NC_A = \frac{1,5 (22,1 - 20) \times 4,52}{100} \times \frac{100}{90} = 0,16 \text{ toneladas (160 kg)/ha de CaCO}_3$$

$$NC_B = \frac{1,5 (46,2 - 20) \times 6,49}{100} \times \frac{100}{90} = 2,83 \text{ toneladas/ha de CaCO}_3$$

Como se infiere del resultado anterior, el Suelo B requiere de más cantidad de cal para alcanzar su neutralización en virtud de su mayor Acidez Intercambiable.

Teóricamente 1 cmol (+)/l de Ca es equivalente en teoría a 1 tonelada de CaCO₃/ha aplicada en los primeros 20 cm de profundidad del suelo. Asimismo, por cada cmol(+)/l de Al³⁺ o Acidez Intercambiable (H + Al) presente en el suelo, deben aplicarse 2 cmol(+)/l de Ca que corresponden según lo anotado anteriormente, a 2 toneladas de CaCO₃/ha. Dicho de otra manera, 1 tonelada/ha de CaCO₃ corresponde y es igual a 1 cmol (+)/l de Ca, lo que permite neutralizar 0,5 cmol (+)/l de Al³⁺.

Literatura Consultada

- 1) Chaves Solera, M.A. 1988. Efeito de Relações Ca: Mg, Utilizando Carbonatos e Sulfatos, Sobre o Crescimento e a Nutrição Mineral da Cana-de-Açúcar. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 186 p. (Têse de Mestrado).
- 2) Chaves Solera, M.A. 1991. Características y Uso Potencial del Yeso en la Agricultura Costarricense. Revista del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica 4(7): 18-20.
- 3) Chaves Solera, M.A. 1993a. Importancia de las Características de Calidad de los Correctivos de Acidez del Suelo: Desarrollo de un Ejemplo Práctico para su Cálculo. San José, Costa Rica, LAICA-DIECA, junio. 41 p.
- 4) Chaves, M.A. 1993b. Determinación de la Calidad de 13 Materiales de Uso Comercial Empleados para el Encalado de los Suelos en Costa Rica a través de su Valoración Fisicoquímica. In: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos

Naturales, 9, San José, Costa Rica, 1993. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos. Volumen II (1):45.

- 5) Chaves Solera, M. 1999. La Práctica del Encalado de los Suelos Cañeros de Costa Rica. In: Congreso de ATACORI “*Randall E. Mora A.*”, 13, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica. Volumen 1. p: 216-223.
- 6) Molina, E. 1998. Encalado para la Corrección de la Acidez del Suelo. 1ª ed. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 45 p.
- 7) Molina, E. 2001. Manejo de la Acidez y Encalado de los Suelos. In: Fertilidad de Suelos y Manejo de la Nutrición de Cultivos en Costa Rica. Memoria. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, agosto. p: 28-41.