

Corrección de la acidez de los suelos

Esta práctica agronómica se fundamenta en que en el rango de pH de 6,5 a 7 el proceso de fijación simbiótica del nitrógeno alcanza su máxima eficiencia. Además en este rango el P, Ca, Mg y Mo presentan su máxima disponibilidad. Por otro lado, la solubilidad del Al, Fe y Mn aumenta en suelos ácidos, pudiendo alcanzar niveles tóxicos para los vegetales. Los microorganismos responsables de la dinámica degradativa de la materia orgánica y por lo tanto del ciclaje del N, P y S orgánico incrementan su nivel de actividad a pH cercanos a la neutralidad.

Los suelos de acidez elevada presentan menor agregación, lo que determina una disminución en la permeabilidad y la aireación. Esto se debe a que los cationes divalentes actúan a través de puentes catiónicos como vínculo entre cristales de arcilla y aún entre ellas y otras partículas, de modo que promueven la formación de la estructura. En suelos donde predominan arcillas del tipo 2:1 el 80% de la CIC debería estar saturada con Ca y/o Mg para manifestar una adecuada estructura.

No todos los cultivos se ven afectados en igual medida por la acidez del suelo. Algunas especies presentan su mayor productividad a pH ácidos, tal como los arándanos y en menor medida la papa; ello obedece a que cada especie posee un rango de pH en el cual su producción es máxima y se conoce como pH óptimo. Las especies más sensibles a los reducidos valores de pH suelen ser las leguminosas. La alfalfa, principal forrajera de los sistemas ganaderos, comienza a manifestar disminución en su producción a partir de valores de pH inferiores a 6.1; este valor de pH por debajo del cual los rendimientos se deprimen es conocido como pH crítico.

Tabla 1: pH crítico y óptimo

Especie	pH Crítico	pH Optimo
Papa	5	5,4
Avena	5,3	5,8
Maíz	5,5	6,1
Soja	5,8	6,4
Alfalfa	6,1	6,7

Tabla 2: Nivel de rendimiento en función del pH edáfico

Especie	pH				
	4,7	5	5,7	6,8	7,5
Maíz	34%	73%	83%	100%	85%
Soja	65%	70%	80%	100%	93%
Alfalfa	--	--	42%	100%	100%

Métodos para determinar las necesidades de enmiendas cálcicas

Las enmiendas son productos de naturaleza mineral u orgánica que al incorporarse al suelo modifican favorablemente sus propiedades físicas y/o químicas, sin tener en cuenta su valor como fertilizantes. El término enmienda incluye a los correctivos de la acidez del suelo.

En términos generales se considera como suelo con problemas de acidificación aquel que presenta un índice de pH por debajo de 6. Existen

varios métodos que permiten calcular la necesidad de correctivo a emplear para lograr la rehabilitación de suelos ácidos. Los más rudimentarios se basan en recomendaciones de producto comercial a aplicar por hectárea según el valor de pH medido en suelo (sea éste actual o potencial) y la textura. Estos parámetros no permiten un cálculo preciso del requerimiento de cal para modificar la acidez. Tabla 3

Tabla 3: Toneladas de cal/ha para lograr el cambio de pH

Δ en el pH	Franco	Franco Limoso	Franco Arcilloso
4,5 a 6,5	6,5	7,8	9,4
5,0 a 6,5	5,2	6,3	7,4
5,5 a 6,5	3,8	4,5	5,2

De mayor precisión son los métodos basados en el poder tampón (buffer) del suelo. El requerimiento teórico de correctivo puede ser determinado titulando la muestra de suelo con una base valorada para determinar la cantidad de producto requerido para elevar el índice de pH hasta un valor especificado. Ello explica por que los suelos arenosos que poseen una débil capacidad reguladora requerirán menor cantidad de cal para cambiar el índice de pH.

Otro método de diagnóstico de la necesidad de encalado, de uso frecuente, es aquel que evalúa el estado de saturación del complejo de cambio. Este método se basa en que para cada suelo existe una curva característica que permite relacionar el porcentaje de saturación de bases (valor V) con su valor de pH. Dicha relación depende del contenido y naturaleza de los coloides que posee, y determina las características particulares del complejo de intercambio. Conociendo el valor de pH actual del suelo en estudio y el valor de pH deseado es factible determinar cual será el valor V objetivo.

Así para un horizonte Ap de 20 cm de espesor de un Argiudol típico que presenta un pH actual de valor 5 y si el pH que se desea lograr es de 6,5, para elevar este parámetro en 1,5 unidades es necesario elevar el valor V en un 20% (% de saturación de bases inicial: 70 - % de saturación de bases objetivo: 90). Si el suelo presenta una CIC de 22 meq.100g⁻¹, se debe reemplazar el 20% de su CIC. Ello supone el reemplazo de 4,4 meq de H⁺ por bases, en el complejo de intercambio.

La corrección de la acidez supone la neutralización de los hidrogeniones de la solución del suelo y el desplazamiento de aquellos ubicados en sitios de intercambio del complejo por bases metálicas, típicamente el Calcio.

Se utilizan para este efecto, correctivos tales como: hidróxidos, carbonatos y óxidos de Calcio y Magnesio. Como los más frecuentes son los primeros, es de uso corriente el término encalado.

Siguiendo con el ejemplo, si el producto que se utiliza para el encalado es el carbonato de calcio, es necesario conocer su peso equivalente (50 mg.meq⁻¹). Es posible entonces calcular el requerimiento de correctivo por cada 100 gramos de suelo:

Cálculo 1

$$\frac{4,4 \text{ meq}}{100 \text{ g suelo}} \times \frac{50 \text{ mg CaCO}_3}{\text{meq}} = \frac{2.200 \text{ kg CaCO}_3}{1.000 \text{ tn suelo}}$$

Si la capa arable presenta una densidad de $1,2 \text{ tn}\cdot\text{m}^{-3}$, presentará un peso por ha de 2.400 tn. Es factible finalmente calcular la dosis de la enmienda calcárea:

Cálculo 2

$$\frac{2.200 \text{ kg CaCO}_3}{1.000 \text{ tn suelo}} \times \frac{2.400 \text{ tn suelo}}{\text{ha}} = \boxed{5,3 \text{ tn de CaCO}_3 / \text{ha}}$$

En general las estimaciones teóricas de laboratorio, como la efectuada en los cálculos precedentes sobrestiman las modificaciones de pH que se logran realmente a campo, pues existen ciertos parámetros que deben ser considerados en el proceso de corrección de la acidez.

Tamaño de partícula del correctivo

La finura del material determina el equivalente efectivo o eficiencia relativa del correctivo ya que los materiales más finos por una mayor superficie específica reaccionan con mayor velocidad y en forma más completa. Los materiales gruesos reaccionan lentamente y en forma incompleta de modo que presentan una importante residualidad. Así para un material calcáreo de partícula intermedia (1 mm de diámetro) que presenta un equivalente efectivo del 60% se requerirán 167 kg para igualar el efecto de 100 kg de CaCO_3 de pequeño tamaño de partícula (más fino que malla 60, esto es de diámetro inferior a 250 micrones) que presenta una efectividad o equivalente efectivo del 100%. Tabla 4.

Tamaño de partícula	Equivalente efectivo
Retenido malla 4 (mayor 4.75 mm)	0%
Malla 8 (4.75 - 2.38 mm)	10%
Malla 18 (2.38 - 1.0 mm)	40%
Malla 60 (1.0 - 0.250 mm)	70%
Pasante malla 60 (menor 0.25 mm)	100%

Los productos de granulometría gruesa si bien son más fáciles de aplicar son de acción muy lenta e incluso prácticamente nula. Los gránulos de caliza de diámetro mayor a 2,5 mm son prácticamente insolubles y no poseen valor alguno desde el punto de vista agropecuario. Tabla 5

Tamaño de partícula	%
2,38 - 1,25 mm	62
1,25 - 0,50 mm	24

0,50 - 0,125 mm	17
Menor 0,125 mm	5

Merece un párrafo aparte la descripción de los productos granulados, donde el correctivo es finamente molido (micronizado) y luego aglomerados (peleteado) por ligantes débiles que al llegar al suelo dispersan el producto finamente molido y altamente reactivo. La granulometría de estos productos suele ser de 1 a 3 mm de diámetro lo que facilita la aplicación, pero el costo resulta elevado.

Forma de la aplicación

Una buena distribución del correctivo en el suelo es esencial para su reacción, por lo que la distribución al voleo en cobertura y el mezclado en la capa arable con implementos de discos luego de la aplicación brinda la mayor eficiencia. El arado tiende a ubicar el producto de encalado en el fondo de la capa arable por lo que no resulta un implemento adecuado.

En sistemas de no remoción de suelo, como la siembra directa, la alternativa es la aplicación en bandas o al voleo en superficie, siendo en este caso la reacción más lenta y no tan completa, por lo que deberán seleccionarse correctivos de alta solubilidad.

El uso de cal granulada en mezcla con fertilizantes en aplicaciones en banda localizada conlleva algunos aspectos desfavorables ya que el calcio reacciona con los fosfatos solubles disminuyendo significativamente su aporte de fósforo inmediatamente disponible, además la cal reacciona produciendo volatilización de amoníaco si en la banda se aplicaron fertilizantes nitrogenados amoniacales.

Tipo de correctivo

Una misma condición de acidez, es decir un mismo pH puede corresponder a deficiencias de bases en diferentes proporciones, por lo que el análisis del porcentaje de saturación de cada catión será el mejor indicador respecto de que correctivo o combinación de ellos se debe utilizar.

El carbonato de calcio puro es el producto de referencia de todos los materiales utilizados para el encalado de suelos y por ello se le asigna un valor de neutralización igual a 100, parámetro también conocido como equivalente carbonato de calcio. El peso molecular del carbonato de calcio es 100 y el correspondiente al carbonato de magnesio es 84, ambas moléculas neutralizan dos hidrogeniones pero debido al diferente peso molecular se requieren 119 kg de CaCO_3 para igualar el efecto de 100 kg de MgCO_3 puro, por ello el equivalente carbonato de calcio para este último correctivo es 119. A los efectos prácticos un correctivo con menor valor de neutralización requerirá más cantidad de producto comercial para corregir un determinado nivel de acidez.

El carbonato de calcio o de calcio y magnesio puro no se encuentra en el mercado, por lo que se utiliza la molienda del producto obtenido de yacimientos con extracción a cielo abierto donde su calidad depende de las impurezas que contiene el mineral. El Hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), cal apagada o cal hidratada, es un producto pulverulento que se produce a partir

de la hidratación del óxido de calcio y reacciona con mayor velocidad que los carbonatos por su mayor solubilidad.

El óxido de Calcio (CaO) o cal viva, es un producto cáustico que presenta una rápida reacción en el suelo pudiendo provocar la esterilización parcial del mismo. Es un polvo blanquecino que se produce por calcinación de la caliza cálcica y su pureza depende de la calidad del material primario.

Momento de la aplicación

Para que el correctivo produzca el efecto deseado debe ser aplicado 2 a 4 meses antes de la implantación del cultivo según la solubilidad del producto utilizado. Durante el primer año de la aplicación la reacción progresa rápidamente pero conforme pasa el tiempo declina gradualmente. Generalmente el pH máximo resultante del encalado se alcanza entre el segundo y tercer año de la aplicación, esta práctica no corrige permanentemente la acidez del suelo ya que la exportación de bases por las cosechas, la lixiviación de bases producida por las precipitaciones y el efecto de fertilizantes que contiene o forman amoníaco son responsables del retorno a los valores de acidez que tenía el suelo antes del encalado. Por lo tanto es recomendable efectuar análisis de suelo de control para diagnosticar la oportunidad para efectuar un encalado de mantenimiento.

Condiciones edafoclimáticas presentes luego de la aplicación

Aún cuando se efectúe una adecuada aplicación y un óptimo mezclado de la enmienda calcárea en el suelo, esta no ejercerá el efecto en el pH si el suelo se presenta seco con posterioridad a la aplicación.

Rotación de cultivos subsiguientes al encalado

Las especies presentan diferentes patrones de remoción de Ca y Mg, siendo mayor el consumo producido por las leguminosas.

Independientemente del método que se emplee para determinar el requerimiento de correctivo es importante evitar el exceso de cal u otros materiales calcáreos (sobreenalado), especialmente en suelos de baja capacidad buffer, ya que pueden surgir condiciones de excesiva basicidad con la consecuente reducción en la disponibilidad de nutrientes como el Fósforo, Hierro, Manganeso, Boro, Zinc y Cobre. Estos efectos indeseables pueden resultar más perjudiciales que la propia acidez del suelo y se hacen manifiestos con valores del índice de pH de 7,5 o superiores.

