



Fotos 3 y 4. Aplicación de enmienda calcárea previo a su incorporación, en un suelo trumao.



La estrategia recomendada para abordar la limitación de acidez de los suelos es reducir el aluminio tóxico disponible para las plantas mediante el encalado. La cantidad de enmienda usada debe ser la suficiente para reducir el aluminio de la solución de suelo a niveles no tóxicos. Por esta razón, no es posible definir un nivel crítico único de aluminio en el suelo con el encalado, que sea válido para todas las especies y variedades de cultivo.

¿Qué Dosis de Cal Usar?.

La definición de la dosis de encalado dependerá de los siguientes factores:

- Tolerancia del cultivo a la acidez.
- Capacidad tampón de pH del suelo.
- Variación entre el valor inicial y final del pH o saturación de Al del suelo según el cultivo.
- Composición y características de la enmienda calcárea aplicada.
- Profundidad del encalado.

No es posible generalizar dosis de encalado para todos los suelos, dado los diferentes factores que la están condicionando. El método más certero para definir la dosis de enmienda a aplicar en un suelo con limitaciones por acidez se basa en el parámetro de saturación de aluminio (%). Este criterio es más robusto e integrador puesto que engloba la suma de bases, el aluminio de intercambio y la CICE del suelo:

$$\text{Saturación de Aluminio (\%)} = (\text{Al de intercambio} / \text{CICE}) \times 100$$

El “Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios” (SIRSD-S), permite optar a la bonificación por incorporación de enmiendas calcáreas cuando la saturación de aluminio es superior a 5% en los suelos de la región de La Araucanía (Cuadro 3). Por ejemplo, un suelo trumao con 16 % de saturación de aluminio debe encalarse con 2.2 ton/ha de carbonato de calcio puro para corregir su acidez hasta 5%.

Cuadro 3. Dosis de carbonato de calcio para corregir la saturación de aluminio hasta 5%, en los suelos de la Región de La Araucanía.

Rangos de Saturación Al (%)	Andisol (Trumao) CaCO ₃ Ton/ha	Ultisol (Rojoarcilloso) CaCO ₃ Ton/ha
≤ 5.0	0	0
5.1 – 7.5	0.5	0.4
7.6 – 10.0	1.0	0.8
10.1 – 12.5	1.4	1.2
12.6 – 15.0	1.8	1.5
15.1 – 17.5	2.2	1.8
17.6 – 20.0	2.5	2.1
20.1 – 22.5	2.8	2.4
22.6 – 25.0	3.2	2.7
25.1 – 27.5	3.5	3.0
27.6 – 30.0	3.8	3.2
> 30.1	4.0	3.5

Fuente: Campillo, R. y A. Sadzawka. 2010.



Fotos 5 y 6. Producción de trigo en suelos trumaos sin limitaciones de acidez.



Respuestas Erráticas del Encalado.

- Diagnóstico incorrecto del problema.
- Aplicación de cal sin la suficiente antelación a la siembra.
- Deficiencias de otros nutrientes esenciales (caso del fósforo).
- Tamaño de partículas demasiado grueso de la enmienda.
- Luego del encalado en cobertera (caso de praderas), cualquier respuesta puede no ser medible antes de un año.

Peligros del Sobre encalado.

- Deficiencia de magnesio.
- Reducción en la absorción de fósforo.
- Deficiencia de los micronutrientes zinc y boro.
- Deterioro de la estructura física del suelo.
- Reducción en la infiltración del agua.

La aplicación de dosis excesivas de enmiendas calcáreas constituye una práctica peligrosa que puede ser nociva para los cultivos, además de encarecer innecesariamente los costos de producción del cultivo.

CORRECCIÓN DE SUELOS ACIDIFICADOS MEDIANTE ENMIENDAS CALCÁREAS EN LA REGION DE LA ARAUCANÍA.

Ricardo Campillo R. Ingeniero Agrónomo M. Sc.
rcampill@inia.cl

Reacciones del Encalado en el Suelo.

Los suelos ácidos se generan por una pérdida de cationes básicos (calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na)) y una acumulación de cationes ácidos (aluminio (Al) e hidrógeno (H)). El encalado consiste en agregar al suelo cualquier compuesto de calcio o de calcio y magnesio que sea capaz de reducir la acidez e incrementar el pH. El objetivo central de las enmiendas calcáreas es desplazar el aluminio intercambiable en las partículas del suelo y neutralizar el aluminio libre en la solución del suelo.

Los mecanismos de la reacción de los materiales encalantes permiten la neutralización de la acidez al ponerse en contacto la cal con el agua del suelo.

Los iones hidrógeno (H⁺) y aluminio (Al³⁺) liberados a la solución de suelo por el intercambio con Ca, reaccionan con los iones bicarbonato (HCO₃⁻) provenientes de la hidrólisis de la cal, formando agua y precipitando el aluminio, con liberación de anhídrido carbónico (CO₂) que se disipa como gas. De esta manera, el aluminio tóxico de la solución de suelo queda neutralizado y químicamente inerte.

Clasificación y Características de las Cales Agrícolas.

1. Óxido de calcio (CaO).

También conocido como cal viva, es un polvo blanco, caústico, muy difícil y desagradable de manejar. Se obtiene calcinando piedra caliza (900 °C) y la pureza dependerá del material de origen.

2. Hidróxido de calcio (Ca(OH)₂).

Se conoce también como cal apagada o cal hidratada. Es una sustancia blanca, polvorienta, difícil y desagradable de manejar. Se prepara hidratando la cal viva. Este material reacciona también rápidamente en el suelo.

3. Carbonatos o Cales Agrícolas.

Los productos más utilizados por su economía son los carbonatos. Se caracterizan por su baja solubilidad lo que determina efectos en el suelo relativamente lentos (uno a varios meses), dependiendo de la finura del material. Existen dos categorías generales de enmiendas calcáreas:

- **Carbonato de calcio:** normalmente conocido como cal calcítica y cuya fórmula es CaCO₃.
- **Carbonato doble de calcio y de magnesio:** generalmente conocido como cal dolomítica y su fórmula es CaCO₃*MgCO₃.

Selección del Material Encalante.

La calidad de los materiales encalantes depende principalmente de los siguientes factores:

- **Grado de Finura.**

La finura del material representa una medida de la velocidad de reacción de la cal agrícola. Mientras más fino es el material, tiene más superficie de contacto con el suelo para neutralizarlo y por lo tanto, reacciona más rápido.

Las cales con finura mayor a 100 mallas (mallaje establecido por la industria americana), son de alta eficiencia agronómica, mientras que las partículas retenidas por malla 10 no tienen valor como enmienda (sin efectividad agronómica). Las partículas retenidas por malla 60 ya presentan limitaciones; en cambio, las

partículas que pasan por malla 60 y superiores son de adecuada eficiencia.

- **Valor de Neutralización.**

El valor de neutralización (VN) es la capacidad para neutralizar ácidos que tiene una enmienda calcárea, el cual dependerá de su composición química y grado de pureza. Al valor de neutralización del carbonato de calcio puro se le ha asignado el valor 100% y sirve como punto de referencia para calificar el valor de neutralización de los materiales encalantes. Por ello, el VN se expresa como contenido de carbonato de calcio equivalente (CCE), en porcentaje. El CCE representa la cantidad equivalente de CaCO₃ puro presente en el material encalante.

El valor de neutralización (VN) de algunos compuestos se presenta en el Cuadro 1. Se observa que mientras la cal calcítica tiene un VN de 100 % (equivalente a 100 kg de CaCO₃), la cal viva tiene un valor de 179 %, que es equivalente a 56 kg de producto cal viva. Esto significa que, por ejemplo, se requiere aplicar al suelo una cantidad mayor de cal calcítica que de cal viva para generar una corrección similar de pH.

La eficiencia de un material correctivo es consecuencia de dos características: su reactividad y su efecto residual. El valor de neutralización debe considerar las dos condiciones. Ambas características del material encalante son antagónicas: a mayor reactividad menor es el efecto residual y viceversa.

Cuadro 1. Valor de neutralización (VN) de diferentes productos químicos puros, constituyentes de materiales encalantes.

Producto	Fórmula	VN (%)	kg de producto equivalente*
Carbonato de calcio	CaCO ₃	100	100
Carbonato de calcio y magnesio	CaCO ₃ ·MgCO ₃	109	92
Hidróxido de calcio	Ca(OH) ₂	135	74
Oxido de calcio	CaO	179	56
Oxido de magnesio	MgO	250	40

*Cantidad (kg) de producto con un efecto similar a 100 kg de CaCO₃ puro.

Adaptado de Tisdale, Nelson y Beaton, 1985.

De acuerdo a la granulometría del material encalante, se ha definido el Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT) o Valor Agronómico. Este PRNT será función del valor de neutralización (VN) y de la eficiencia relativa (ER) o grado de finura del material correctivo:

$$PRNT = (VN * ER) / 100$$

Esto significa que una enmienda con un valor de neutralización (VN) de 95% y una eficiencia relativa (ER) de 88 % tiene un poder relativo de neutralización total (PRNT) de 84 %. Cuando se realizan los cálculos de necesidades de un determinado material encalante se asume que dicho material posee un PRNT de 100%. De acuerdo a esto, la recomendación de la dosis de cualquier material encalante debe corregirse en función del valor de PRNT calculado:

$$Dosis\ enmienda = (Dosis\ recomendada * 100) / PRNT$$



¿Cuál es la época correcta para encalar el suelo?.

El material calcáreo debe ser aplicado en su totalidad en una sola oportunidad. Se ha demostrado que su parcialización no ofrece ventajas. Al contrario, se afectan los rendimientos en los primeros años y se encarece su utilización debido al mayor número de aplicaciones.

El efecto correctivo de las cales requiere de algún tiempo para manifestarse en forma significativa (tiempo de incubación), puesto que son materiales de baja solubilidad en el suelo. Por ello, estos materiales deben ser incorporados en la capa arable (20 cm de profundidad), donde se concentra la mayor proporción de las raíces de los cultivos.



Fotos 1 y 2. Aplicación de enmienda calcárea previo a su incorporación mediante rastro, en un suelo rojo arcilloso.

En caso de usar cal calcítica se debe aplicar 30 a 45 días antes de la siembra. Respecto de la cal dolomítica, por su menor solubilidad y lentitud, debe ser aplicada tres a cuatro meses previo a la siembra del cultivo.

¿Cómo Aplicar el Encalado?.

Una aplicación uniforme y eficiente de la enmienda calcárea se logra aplicando la mitad de la dosis al terreno previo a la aradura y el resto de la cal antes del rastro del suelo. La incorporación de la enmienda con la aradura permitirá distribuir el material uniformemente y a la mayor profundidad posible. En términos generales, luego de tres años se pierde cerca del 50% del efecto inicial del encalado.

En siembras de cereales con cero labranza ocurre un efecto similar a la aplicación del encalado en cobertera sobre la pradera permanente. En este caso el efecto correctivo de la enmienda se concentra solamente en los primeros 5 cm del suelo.

Determinación de los Requerimientos de Encalado.

La tolerancia de los cultivos a la concentración de aluminio (Cuadro 2) es muy variable. Cultivos como el centeno y las papas son cultivos tolerantes a la actividad del aluminio, presentando productividades adecuadas a pesar de concentraciones altas de aluminio. En cambio, existen otros cultivos como remolacha, cebada y alfalfa que son muy sensibles a la concentración de Al⁺³ y cuya productividad se deprime marcadamente en suelos ácidos.

Cuadro 2. Niveles críticos y sensibilidad de las plantas al aluminio del suelo.

Especies	Saturación de Al %	Sensibilidad
Alfalfa Medicagos anuales Cebada Remolacha	1 – 5,0	Altamente sensibles
Raps Falaris Trigo	5,1 – 10,0	Sensibles
Lupinus albus Avena (algunos cv) Trébol blanco Trébol subterráneo Festuca Ballica Triticale (algunos cv)	10,1 – 20,0	Moderadamente tolerantes
Triticale (algunos cv) Lupinus augustifolius Pasto ovillo Avenas (algunos cv) Centeno Papa	20,1 – 30,0	Altamente tolerantes

Adaptado de Cregan, Scott and Cumming, (1986).