



ENCALADO DE ALFALFA EN SUELOS TRUMAOS DEL SUR DE CHILE

Autor:

Ricardo Campillo Rocco. Ing. Agr., M.Sc.

Comité Editor:

Giancarlo Bortolameolli S. Ing. Agr.

Juan Carlos Dumont L. Ing. Agr., Ph.D.

Enrique Siebald Sch. Ing. Agr.

Germán Holmberg F. Ing. Agr.

Editor:

Giancarlo Bortolameolli S.

Boletín Técnico N° 223
Centro Regional de Investigación Remehue
Osorno, Julio de 1995

ENCALADO DE LA ALFALFA EN SUELOS TRUMAOS DEL SUR DE CHILE

Ricardo Campillo R.

I. INTRODUCCIÓN

La alfalfa es un cultivo que ha adquirido un gran desarrollo en los suelos de la zona sur del país en los últimos años. En la actualidad se estima que la superficie de alfalfa alcanza a 2.570 has. en la Novena Región, mientras que en la Décima llega a 5.950 has. (INE, 1994). En la Octava Región, su uso está más extendido por presentar menores limitaciones de suelo, alcanzando en la actualidad a 9.010 has.

Sin duda que esta leguminosa presenta claras ventajas comparativas y puede transformarse en un recurso fundamental para complementar los sistemas productivos ganaderos, principalmente en aquellos períodos de menor producción de la pradera, derivados de la sequía estival o condiciones de alta temperatura, que limitan la producción de otras especies forrajeras.

Sin embargo, desde el punto de vista nutricional, tiene mayores exigencias que otras especies forrajeras. El adecuado conocimiento acerca de estos requerimientos y su manejo, son fundamentales para asegurar el éxito en el establecimiento y persistencia de la alfalfa.

* Ingeniero Agrónomo, M. Sc. Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Centro Regional de Investigación Remehue (INIA). Casilla 24 - 0, Osorno.

II. ACIDEZ DE LOS SUELOS

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)). La acidez limita el crecimiento de las plantas debido a una combinación de factores que incluyen la toxicidad de aluminio, manganeso e hidrógeno y la deficiencia de nutrientes esenciales, especialmente calcio, magnesio, fósforo y molibdeno. Pero el factor limitante del crecimiento más importante, en los suelos ácidos, es el aluminio soluble.

Los cationes ácidos, cuando son liberados a la solución de suelo, producen un aumento de la concentración de hidrógeno y, por lo tanto, una disminución del pH. En el caso del aluminio, ello ocurre porque el aluminio (Al^{+3}) en solución acuosa tiende a hidrolizarse, es decir, a combinarse con agua liberando hidrógenos.

Los cationes básicos o bases de intercambio no producen cambios de pH en la solución de suelo y su nombre probablemente proviene del hecho que, si aumenta su proporción en el complejo coloidal del suelo, disminuye la de cationes ácidos y, consecuentemente, el pH será mayor.

Está ampliamente establecido que la alfalfa es una de las especies leguminosas más sensibles a la toxicidad por aluminio puesto que bastan pequeñas cantidades de aluminio activo en la solución del suelo para limitar el crecimiento de sus raíces.

Por otro lado, los suelos predominantes en la Novena y Décima Región son derivados de cenizas volcánicas, presentando normalmente diferentes grados de acidez que limitan la productividad de las praderas y, particularmente, de la alfalfa (Campillo y otros, 1993; Campillo, 1994).

El principal efecto de la toxicidad por aluminio es la restricción del desarrollo radical, reduciendo el volumen de suelo que pueden explorar y afectando su capacidad para absorber nutrientes y agua.

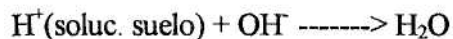
Es importante señalar que en leguminosas como la alfalfa, que dependen de la fijación simbiótica de nitrógeno, la toxicidad por aluminio tiene un efecto detrimental también sobre la simbiosis leguminosa-rizobio, causado principalmente por una reducción en el proceso de nodulación (Sadzawka y Campillo, 1993).

Esta situación hace imprescindible la práctica del peletizado de la semilla previamente inoculada y de corregir esta acidez mediante la aplicación de enmiendas calcáreas.

III. ENCALADO

Consiste en agregar al suelo compuestos de calcio o de calcio y magnesio que son capaces de reducir la acidez e incrementar el pH. Existen varios materiales encalantes capaces de reaccionar en el suelo y elevar el pH, como ser: óxido de calcio, hidróxido de calcio, calcita y dolomita.

Los mecanismos de reacción de los materiales encalantes neutralizan los iones hidrógeno a través de los iones hidroxilos (OH) producidos al entrar en contacto la cal con el agua del suelo. Por ello, es fundamental que exista humedad en el suelo. Las reacciones básicas de la cal en el suelo se ilustran con el caso del carbonato de calcio o calcita:



Cabe señalar que el calcio no interviene en las reacciones de incremento del pH, pasando por tanto a ocupar sitios de intercambio en la superficie de las arcillas y servir como nutriente de las plantas.

Es importante destacar que es el ion carbonato (CO_3^{2-}) el que sube el pH al hidrolizarse y generar iones OH. El efecto final de las reacciones de la cal reduce la acidez del suelo al transformar el exceso de protones (H^+) en H_2O . Pero lo más importante de estas reacciones es que el incremento de pH precipita el aluminio (Al^{3+}) como $\text{Al}(\text{OH})_3$, que es un compuesto insoluble y químicamente inerte. De esta manera se elimina el efecto tóxico del aluminio en las plantas y la principal fuente de protones. Cabe recordar también que el yeso y otras sales neutras no son materiales encalantes porque no neutralizan los iones hidrógeno.

Dado que las enmiendas son productos de lenta solubilidad, el tamaño de las partículas es muy importante. Mientras más fino es el material, mayor es el contacto que se produce entre las partículas y el suelo. El efecto de la cal requiere de algún tiempo (30 a 60 días) para manifestarse en forma significativa (tiempo de incubación).

La cal se mueve muy poco en el suelo debido a que el ion carbonato se disipa como CO_2 luego de las reacciones y los efectos benéficos de la cal ocurren solamente en la zona de aplicación. En razón de esto, las enmiendas precisan una aplicación y su incorporación al suelo mediante rastraje, por un

período de incubación que es variable y depende de la solubilidad del material, temperatura y humedad existente en el suelo. De esta manera, es posible extender su efecto en la capa arable del suelo (0-20 cm).

IV. RESPUESTA DE LA ALFALFA AL ENCALADO

Generalmente, el factor de fertilidad más limitante para el establecimiento y desarrollo de la alfalfa es la acidez del suelo. Esta situación fue corroborada mediante la técnica del elemento faltante en un suelo trumao Osorno, con 13 ppm de P y pH en agua de 5,3 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción acumulada de alfalfa WL-318 (kg m.s/ha), en un suelo trumao Osorno. INIA-Remehue, 1988/90.

Fertilización	1988/90	%	1990/91	%
Completa *	16.220	100	12.830	100
Sin Mo	16.970	105	14.040	109
Sin B	17.140	106	12.700	99
Sin Mo y sin B	15.030	103	11.620	91
Sin K	16.340	99	11.640	91
Sin S	14.420	89	11.060	36
Sin Mg	16.450	101	11.580	90
Sin Cal	13.070	81	9 500	74

Fuente: Bernier (1991) y Sierra (1991).

La omisión del encalado determinó entre 20 y 26% de disminución de rendimiento respecto de la fertilización completa con 2,5 ton/há. de cal, constituyéndose así en la limitante más importante (Bernier, 1991, Sierra, 1991).

Una situación similar observó Ortega (1994), en un estudio de encalado de establecimiento en alfalfa, también en un trumao Osorno, con pH en agua de 5.3 (Cuadro 2). La producción de alfalfa disminuyó en más del 30% cuando se omitió la aplicación de cal al establecimiento.

Cuadro 2. Producciones acumuladas de alfalfa WL-318 (kg. m.s/há.) en un suelo trumao Osorno. INIA-Remehue, 1991/94.

CaCO ₃ ton/ha.	Tempor. 1991/92	Rdto. Rel. %	Tempor. 1992/93	Rdto. Rel. %	Tempor. 1993/94	Rdto. Rel. %
0	5.260	69	9.470	67	16.387	83
5	7.600	100	14.220	100	19.768	100

Fuente: Ortega, 1994.

La aplicación de 5 ton/há. de carbonato de calcio (CaCO₃) permitió elevar el pH a 6,0 y disminuir el aluminio de intercambio y la saturación de aluminio a niveles insignificantes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Evolución del pH y saturación de aluminio del suelo trumao Osorno con alfalfa WL-318. INIA-Remehue, 1991/93.

CaCO ₃ ton/há.	Nov./92			Sept/93		
	pH agua	Al.Int. meq/100g.	Sat. Al. %	pH agua	Al.Int. meq/100g.	Sat. Al. %
0	5,3	0,37	6,6	5,3	0,32	5,7
5	6,0	0,02	0,1	6,0	0,03	0,2

Fuente: Ortega, (1994).

Resultados semejantes de respuesta al encalado con alfalfa WL-320 se han encontrado también en suelos trumaos de la Provincia de Valdivia (Parga, 1993). En este experimento se observó que se requirieron 4 ton/há. de CaCO₃ para alcanzar el rendimiento máximo. Estas producciones estuvieron asociadas a un pH en agua de 6,0, 0,02 meq/100 g. de aluminio intercambiable y 0,14% de saturación de aluminio (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto del encalado en un suelo trumao Llastuco. Máfil, 1990/92.

CaCO ₃ ton/há.	pH agua	Al Int. meq/100 g.	Sat. Al %	Rendimiento Relativo %
0	5,6	0,11	1,75	73
2	5,8	0,04	0,42	91
4	6,0	0,02	0,14	100
6	6,3	0,01	0,06	95

Fuente: Parga, (1993).

Es posible constatar que generalmente las mejores producciones de alfalfa se obtienen con valores de pH en agua alrededor de 6,0; 0,02 meq/100 g de aluminio intercambiable y 0,2% de saturación de aluminio. Lo que varía son los requerimientos de cal que deben aplicarse en estos suelos trumaos para corregir las limitaciones de acidez. Sin duda que ello está muy ligado a la intensidad que haya alcanzado la acidificación, derivada principalmente del manejo histórico de estos suelos trumaos.

Los suelos trumaos de la Novena Región presentan también un comportamiento muy parecido al observado en la Décima Región, respecto al encalado. Es el caso de un trumao del seco costero, donde hubo efecto del encalado en alfalfa hasta 1 ton/há. en la etapa del establecimiento (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto del encalado en las producciones acumuladas (kg m.s./ha) de alfalfa Criolla. Hualpín, 1990/91.

CaCO ₃ ton/há.	pH agua	Sat. Al %	Rdto. kg/há.	Rdto. %
0	6,0	0,8	2.852	71
1	6,2	0,2	3.522	88
2	6,4	0,1	3.906	98
4	6,8	0	3.998	100

De esta manera, se obtuvo pH sobre 6, niveles mínimos de aluminio y un rendimiento relativo cercano al 90% del rendimiento máximo. En cambio, la alfalfa disminuyó en un 30% su producción sin la aplicación de cal. En las temporadas siguientes (fase de mantención), estos parámetros de suelo se mantienen, permitiendo alcanzar rendimientos cercanos al 100% (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto residual del encalado en las producciones acumuladas de alfalfa Criolla. Hualpín, 1991/93.

CaCO ₃ ton/há.	pH agua	Sat. Al %	Rdto. kg/há.	Rdto. %
1991/92				
0	6,0	1,1	8.596	75
1	6,2	0,2	10.057	88
2	6,3	0,1	11.451	100
4	6,7	0	11.104	97
1992/93				
0	6,0	1,2	9.334	82
1	6,2	0,1	11.130	98
2	6,3	0,1	11.366	100
4	6,7	0,2	11.288	99

Es importante destacar que al final de la tercera temporada de evaluación (septiembre de 1993), los niveles de calcio de intercambio han disminuido en forma notoria, mientras que el aluminio se ha incrementado paulatinamente (Cuadro 7). De esta manera, al final de la tercera temporada (Figura 1), se requiere el efecto residual de 3 ton/ha para mantener el nivel corregido de saturación de aluminio (0,2 %). Ello indica que luego de tres temporadas, el alfalfar requiere un encalado de mantención que le permita mantener niveles adecuados de productividad en el tiempo.

Cuadro 7. Niveles residuales de calcio y aluminio del suelo trumao Hualpín, septiembre de 1993.

CaCO ₃ Ton/ha	Calcio int	Aluminio int	Saturación Aluminio %
	-----meq/100g		
0	2,55	0,13	3,3
1	3,60	0,17	1,4
2	5,29	0,04	0,6
4	7,82	0,01	0,1

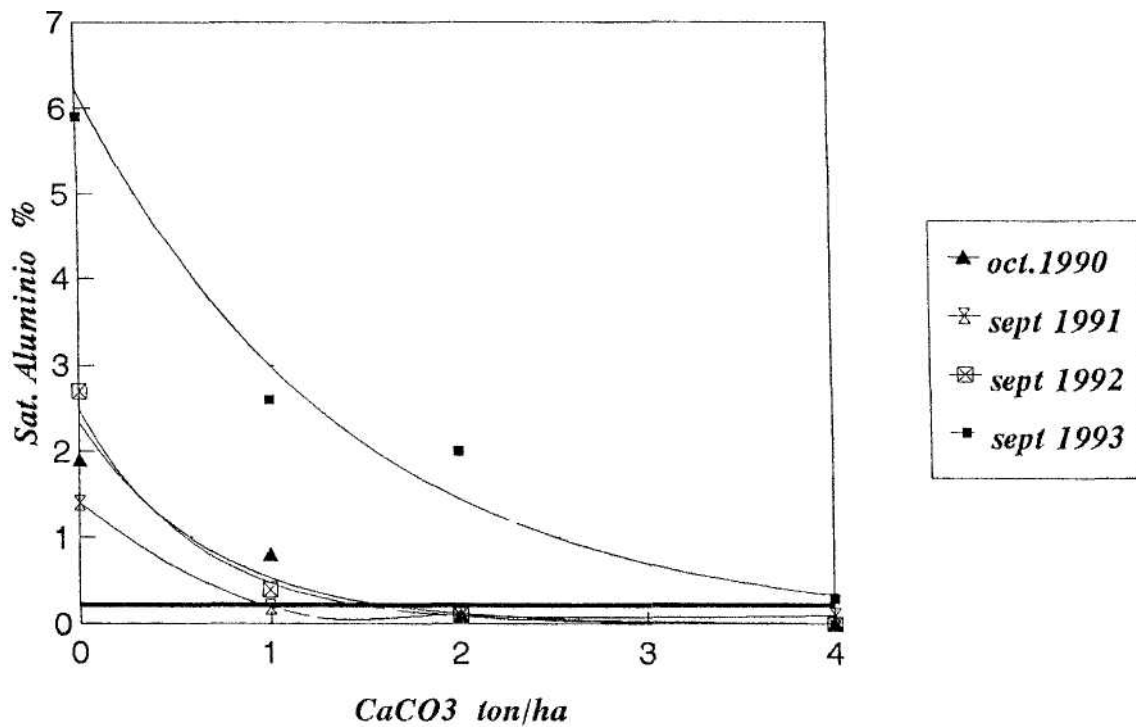


Figura 1 Efecto residual del encalado en un suelo trumao (secano costero) Hualpín, 1990/93

Existen también estudios de respuesta al encalado de alfalfa establecida en suelos trumaos de la precordillera de la Novena Región (Cuadro 8). En este caso, con la aplicación de 2 ton/ha. de cal se alcanzó sobre el 90% del rendimiento máximo de alfalfa. Cabe mencionar que debido al establecimiento tardío del experimento (Nov.1990), sólo se obtuvo un corte en la primera temporada.

Cuadro 8. Efecto del encalado en las producciones acumuladas (kg m.s./ha) de alfalfa WL-318 en un suelo trumao Los Lagos. Pucón, 1990/91.

CaCO ₃ ton/há	pH agua	Sat.Al %	Rdto. kg/há.	Rdto. %
0	5,9	1,9	986	67
1	6,1	0,8	1.177	80
2	6,3	0,1	1.312	90
4	6,5	0	1.463	100

En la etapa de mantención de este alfalfar (temporadas 1991/92 y 1992/93), las respuestas productivas con 2 ton/há. de cal superan el 90% del rendimiento máximo, indicando así que se corrigieron las limitaciones de acidez.

Cuadro 9. Efecto residual del encalado en las producciones acumuladas de alfalfa WL-318. Pucón, 1991/93.

CaCO ₃ ton/há.	pH agua	Sat.Al %	Rdto. kg/há.	Rdto. %
1991/92				
0	5,9	1,4	6.387	65
1	6,0	0,2	7.913	82
2	6,1	0,1	8.843	91
4	6,4	0,1	9.709	100
1992/93				
0	5,8	2,7	9.909	86
1	6,0	0,4	10.606	92
2	6,2	0,1	10.638	92
4	6,4	0	11.558	100

También en este caso, al cabo de la tercera temporada de evaluación se visualiza la necesidad de aplicar un encalado de mantención a la alfalfa para sostener su productividad sin limitaciones de acidez, puesto que los niveles de calcio de intercambio han bajado significativamente, mientras que los valores de aluminio comienzan a incrementarse peligrosamente (Cuadro 10).

Cuadro 10. Niveles residuales de calcio, aluminio de intercambio saturación de aluminio. Pucón, septiembre 1993.

CaCO ₃ ton/há.	meq/100 g.		Saturación Aluminio %
	Calcio int.	Aluminio int.	
0	2,26	0,18	5,9
1	3,04	0,10	2,6
2	3,37	0,08	2,0
4	3,34	0,01	0,3

En este caso (Figura 2), se requiere el efecto residual de 4 ton/ha para mantener el nivel corregido de saturación de aluminio (0,2 %).

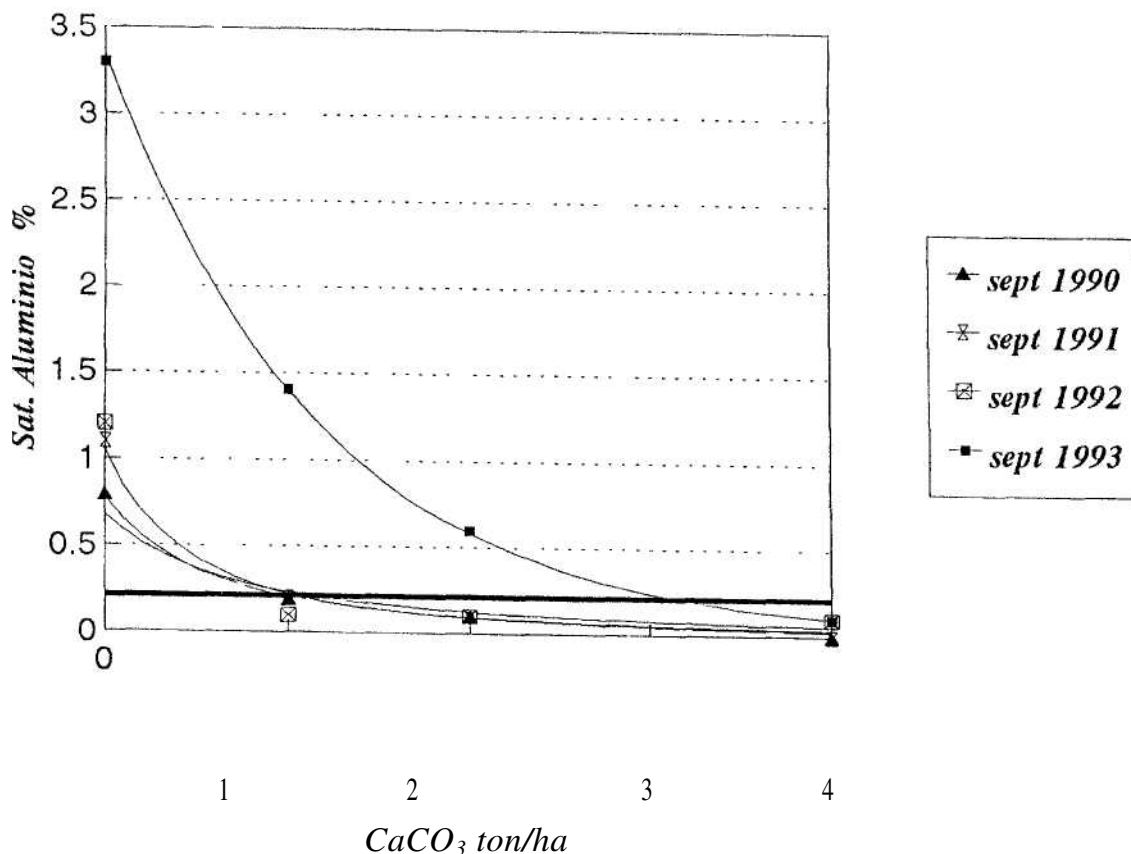


Figura 2. Efecto residual del encalado en un suelo trumao Los Lagos con alfalfa. Pucón, 1990/93.

Es posible afirmar que, independientemente de la ubicación geográfica del suelo trumao, siempre las mejores respuestas productivas de la alfalfa se alcanzan con estos valores de aluminio del suelo. Lo que va variando en las distintas localidades es el requerimiento de encalado que permite alcanzar dichos valores. En algunos trumaos del valle central regado de la Novena Región, no se ha encontrado respuesta al encalado en alfalfa (Cuadro 11).

Ello se explica fundamentalmente porque no existen restricciones para un adecuado desarrollo de la alfalfa, desde el punto de vista de acidez (Cuadro 12), a diferencia de lo observado en los casos anteriores.

Cuadro 11. Efecto del encalado en las producciones acumuladas de alfalfa Criolla (kg m.s./Ha) en un suelo trumao Vilcún. INIA-Carillanca, 1990/91.

CaCO ₃ ton/há.	pH agua	Aluminio int. meq/100 g	Rdto. kg/há.	Rdto. %
0	6,2	0	14.133	100
2	6,7	0	13.800	98
4	6,9	0	14.056	99

Cuadro 12. Efecto residual del encalado en las producciones acumuladas de alfalfa Criolla. (kg m.s./Ha). INIA-Carillanca, 1991/93.

CaCO ₃ ton/há.	pH agua	Aluminio int. meq/100 g.	Rdto. kg/há.	Rdto. %
1991/92				
0	6,4	0	19.300	100
2	6,6	0	19.384	100
4	6,7	0	19.345	100
1992/93				
0	6,3	0	20.507	100
2	6,7	0	20.417	100
4	7,0	0	20.284	99

Sin duda que en este último caso se dan las condiciones ideales desde el punto de vista químico del suelo, permitiendo así a la alfalfa expresar todo su potencial productivo. En estas condiciones, mediante técnicas isotópicas se ha podido estimar que la fijación de nitrógeno en la alfalfa alcanza una eficiencia del 90%. Es decir, el 90% del nitrógeno acumulado por esta leguminosa en su biomasa deriva del aire. Así, esta elevada eficiencia permite obtener cantidades de nitrógeno fijado que oscilan entre 400 y 600 kg/ha/año (Cuadro 13).

Cuadro 13. Producciones acumuladas y nitrógeno fijado por alfalfa Criolla.
INIA-Carillanca, 1990/93.

Temporada	Producción Promedio kg. m.s./há.	Nitrógeno Absorbido kg/há/año	Nitrógeno Fijado kg/há/año
1990/91	14.000	460	420
1991/92	19.300	640	570
1992/93	20.400	670	610

V. CONSIDERACIONES AGRONÓMICAS DE LA RESPUESTA AL ENCALADO.

De los resultados analizados, se concluye que existe una respuesta muy parecida de los suelos trumaos frente a la aplicación de enmiendas. Es así como el poder tampón (resistencia al cambio de pH) que presentan los suelos estudiados es similar, independientemente de su ubicación geográfica (Cuadro 14).

Cuadro 14. Poder tampón de algunas agrupaciones de suelos trumaos (0-7,5 cm), de la Novena y Décima Región

Región	Agrupación de Suelo	Localidad Tampón ¹	Poder kg/há. ²	CaCO ₃ Requerido
Novena	Trumao V. Central	Vilcún	0,11-0,12	820 - 940
	Trumao Precordillera	Pucón	0,14-0,15	650 - 700
	Trumao S. Costero	Hualpín	0,17-0,19	530 - 600
Décima	Trumao V. Central	Máfil	0,13-0,14	710 - 770
	Trumao V. Central	Osorno	0,12-0,14	710-830
	Trumao V. Central	Purranque	0,12-0,14	710-830

1]: Variación de pH en agua por ton/há. de carbonato de calcio.

2]: Carbonato de calcio para elevar el pH en 0,1 unidades.

Esta situación se verifica en la similitud de las pendientes o inclinación de las curvas de respuesta al encalado (Figura 3). Lo que sí va variando son los requerimientos de cal que deben aplicarse a los suelos para corregir las limitaciones de acidez y alcanzar un pH en agua adecuado (6,0 - 6,2)

Es importante reiterar que no es posible generalizar una dosis única de encalado para todos los suelos trumaos en el establecimiento de alfalfa. Debe recordarse que la determinación de la dosis de encalado, además de la capacidad tampón del suelo, depende de los siguientes factores:

- Tolerancia del cultivar
- Variación entre pH inicial y pH a alcanzar (adecuado para la especie).
- Composición y características de la enmienda.
- Profundidad del encalado.

De acuerdo a los antecedentes indicados anteriormente, se desprende que para que la alfalfa pueda expresar adecuadamente su potencial productivo se requieren alcanzar determinados umbrales críticos en una serie de parámetros químicos del suelo. En el Cuadro 15 se resumen estos requerimientos de suelo para el cultivo de la alfalfa. Debe tenerse presente que ello no significa que la alfalfa no pueda desarrollarse fuera del rango indicado para estas características químicas del suelo, pero sin duda que van a afectar su productividad.

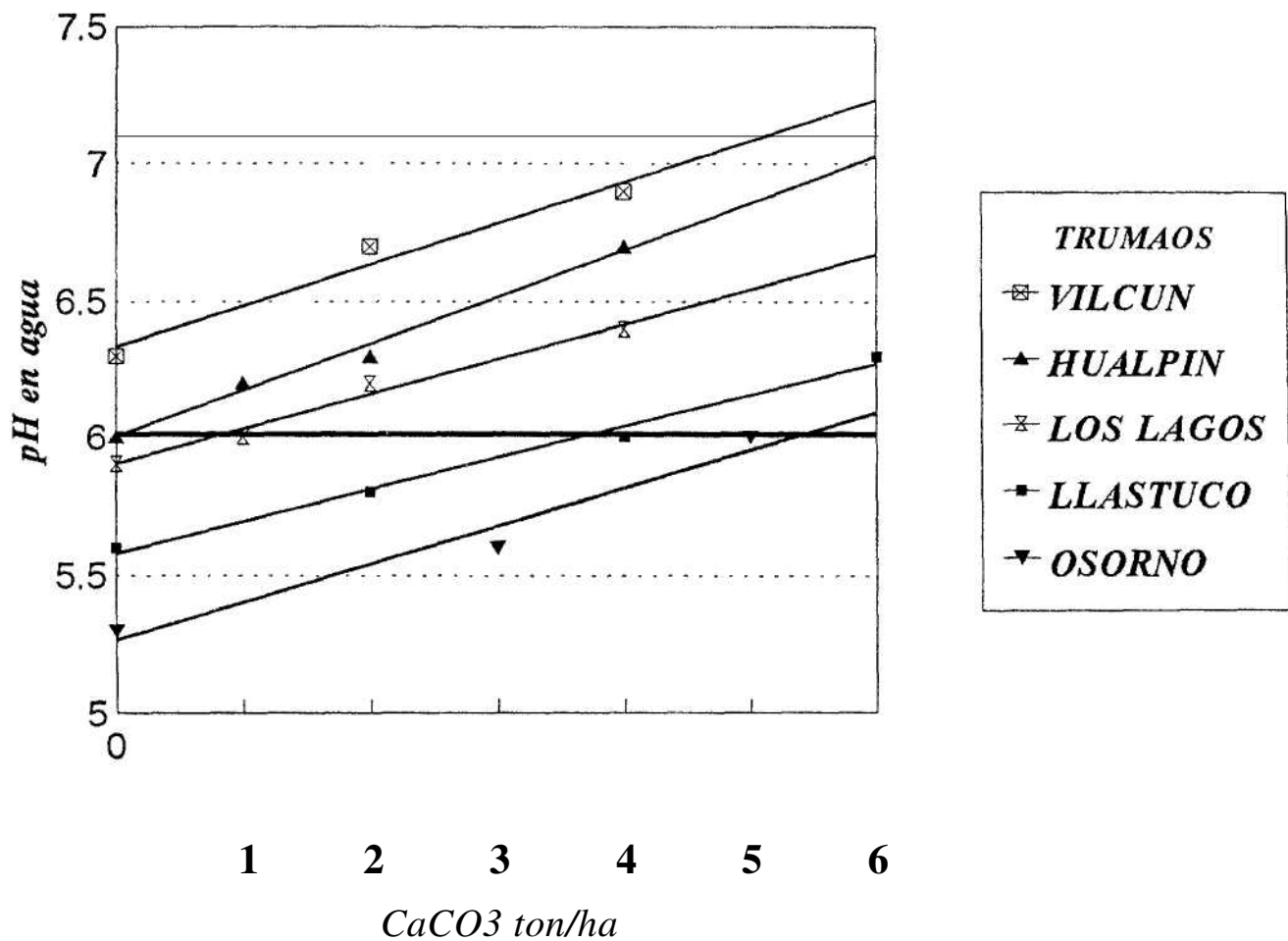


Figura 3. Efecto del encalado sobre el pH en agua en suelos trumaos con alfalfa de la zona sur.

Cuadro 15. Umbrales críticos de parámetros químicos de la acidez (0-7,5 cm), para el establecimiento de alfalfa en suelos trumaos.

Parámetro	Unidad	Rango
pH en agua	1 : 2,5	6,0 - 6,2
Calcio interc.	meq/100 g.	6,0 - 10,0
Suma de Bases	meq/100 g.	8,0 - 12,0
Aluminio interc.	meq/100 g.	0- 0,02
Saturación de Aluminio	%	0- 0,2

LITERATURA CITADA

- BERNIER, R. (1991). Respuesta de las praderas al encalado. En: Acidez y encalado de suelos en la Región de Los Lagos. Serie Remehue N° 15. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Remehue, Osorno, Chile, pp: 113-135.
- CAMPILLO, R, PEYRELONGUE, A., MONTENEGRO, A, BARRIENTOS, L., VERA, L., FABRES, E. y MÉNDEZ, E. (1993). III. Caracterización química de la acidez de los suelos de la Novena Región. Investigación y Progreso Agropecuario, Carillanca, 12 (3): 13-17.
- CAMPILLO, R. (1994). Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de la Décima Región. En: Campillo y Bortolameolli (ed.). Corrección de la fertilidad y uso de enmiendas en praderas y cultivos forrajeros. Serie Remehue, N° 53. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Remehue, Osorno, Chile. 135p.
- CAMPILLO, R. y SADZAWKA A. (1993). Manejo del encalado y sus implicancias. Investigación y Progreso Agropecuario, Carillanca, 12 (3):8-12.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (1994). Estadísticas agropecuarias; año agrícola 1993-1994. Santiago, Chile, INE. p.61.
- ORTEGA, L. (1994). Informe Técnico (1991/92; 1992/93; 1993/94). Programa Riego y Drenaje. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Remehue.
- PARGA, J. (1993). Cultivos suplementarios para uso en fresco y como forrajes conservados. I Seminario Regional. Ley de la Carne. Un desafío para la Ganadería de Aysén. Colegio de Ing. Agr. D. Provincial. Coyhaique-Aysén.p. 62-82.
- SADZAWKA, A. y CAMPILLO, R. (1993). Problemática de la acidez de los suelos de la IX Región. I. Génesis y características del proceso. Investigación y Progreso Agropecuario, Carillanca, 12(3):3-7.
- SIERRA, C. (1991). Informe Técnico (1990/91). Programa Fertilidad de Suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Remehue.