

Corrección de suelos ácidos de la Pampa húmeda para la producción de alfalfa

Vázquez Mabel E. , Piro Agueda , Millán Guillermo y Lanfranco Jorge
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Av.60 y 119. La Plata (1900)
mevazquez@infovia.com.ar

El complejo proceso de acidificación de los suelos acontece naturalmente a través de la pérdida de bases por lavado y erosión, principalmente calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), con su posterior reemplazo por aluminio (Al), hierro (Fe) e hidrógeno (H). La actividad del hombre puede incidir en la acidificación del suelo especialmente a través de la exportación de bases por los productos agropecuarios, así como con el empleo de fertilizantes ácidos. Algunos suelos de regiones templadas subhúmedas como la pampeana argentina, ajenos a la problemática por causas naturales, están padeciendo fenómenos de esta índole debido a la historia productiva de los mismos, que en muchos casos supera la centuria. Cabe destacar que en estas circunstancias además de una acidificación en términos generales, se produce un desbalance de bases, igualmente perjudicial para el crecimiento de las plantas (Borie et al, 1999; Demanet et al, 1999, Vázquez et al, 2000). Este fenómeno afecta especialmente a los cultivos de leguminosas, entre las que revisten especial importancia la soja y la alfalfa. El tratamiento de los suelos afectados por esta problemática es el agregado de materiales correctores de la acidez, sin considerar, en general, la totalidad de la compleja problemática enunciada. Con el objetivo de dimensionar las dosis de corrector a utilizar, se han desarrollado en el mundo una variedad de técnicas de análisis químico del suelo, la mayoría provenientes de regiones tropicales donde el fenómeno es fundamentalmente genético y la condición de acidez extrema. Es probable que existan, en estos casos, diferentes fuentes de acidez, capacidad reguladora de los suelos y aún desbalances específicos de nutrientes básicos. Estas razones señalarían la inconveniencia de su aplicación en otras regiones sin ajustes locales, como se está haciendo en la mayor parte de los casos de aplicación de estos productos en el país. Es necesario que el diagnóstico sea integrador de estos aspectos y adecuado regionalmente, si se pretenden usar las dosis y los productos adecuados para nuestra realidad.

El objetivo del presente trabajo es generar pautas para el diagnóstico de la problemática asociada a la acidez en los suelos de la pampa húmeda para la producción de alfalfa.

Suelos y área estudiada

Se emplearon en este estudio 9 suelos desarrollados sobre material loésico clasificados como Argiudol Típico, Argiudol Vértico y Hapludol Típico, provenientes de localidades ubicadas en una extensa área subhúmeda y templada comprendidas entre 34° y 38° de latitud Sur, y 56,5° y 64° de longitud Oeste. Se obtuvieron muestras compuestas de 10 submuestras c/u (0 – 20cm), sobre superficies de 50 has en cada caso.

Ensayo de invernáculo

Fue conducido a través de un diseño estadístico mediante macetas de 700 g de suelo, aplicando los siguientes tratamientos: **T**, testigo sin agregados; **T1 Ca**, CaCO₃ (carbonato de calcio) equivalente a una dosis de 650 kg ha⁻¹; **T2 Ca**, CaCO₃ equivalente a una dosis de 1300 kg ha⁻¹; **T3 Ca**, CaCO₃ equivalente a una dosis de 2000 kg ha⁻¹; **T1Ca/Mg**, CaCO₃ / MgCO₃ (carbonato de magnesio) equivalente a una dosis total de 650 kg ha⁻¹; **T2 Ca/Mg**, CaCO₃ / MgCO₃ equivalente a una dosis total de 1300 kg ha⁻¹; **T3 Ca/Mg**, CaCO₃ / MgCO₃ equivalente a

una dosis total de 2000 kg ha⁻¹. La elección de Ca y Mg como formulaciones de corrección se basa en el hecho de que estos elementos son los componentes mayoritarios de la capacidad de intercambio catiónica del suelo, su poder neutralizante y la amplia difusión de su empleo. Las dosis utilizadas fueron seleccionadas de manera de cubrir las cantidades de uso frecuente de estos correctores en la región, supeditadas en la mayor parte de los casos al costo del insumo y su aplicación.

El CaCO₃ y MgCO₃ utilizados fueron de calidad proanálisis tamizados por malla de 0,2 mm. Se desarrollaron en cada maceta 10 plantas de alfalfa (*Medicago sativa L*) var SPS Dual Grupo de Latencia 4, previamente inoculada con *Rhizobium meliloti*, durante 6 meses. La cosecha se realizó cortando a ras la parte aérea de las plantas en estado de prefloración, para posterior evaluación de peso seco por maceta. Se condujeron macetas con idénticos tratamientos pero sin vegetación a los efectos de evaluar la evolución del pH sin las plantas.

Análisis físicos y químicos

Las muestras de suelo fueron analizadas para realizar una caracterización de la problemática de acidez, por el Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis (SAMLA) (1992) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina: pH en agua, relación suelo:agua de 1: 2,5; pH en KCl 1mol L⁻¹, relación suelo: KCl de 1: 2,5; capacidad de intercambio catiónica (CIC) y cationes intercambiables, método del acetato de NH₄ 1mol L⁻¹ pH 7, posterior determinación de NH₄ mediante destilación microKjeldahl; Ca²⁺ y Mg²⁺ por complejometría con EDTA; Na⁺ y K⁺ mediante fotometría de llama; Al³⁺ y Fe³⁺ mediante espectrometría de plasma de argón; textura por densimetría de Bouyoucos. A partir de estos análisis se procedió al cálculo del porcentaje de saturación de bases (V) y la proporción de cada base respecto del mismo (Ca²⁺/V; Mg²⁺/V; (Ca²⁺ + Mg²⁺)/V; K⁺/V).

A los fines de evaluar la capacidad predictiva de los métodos de diagnóstico de corrección de acidez utilizados con mayor frecuencia en los laboratorios de suelos, se determinó la necesidad de enmienda mediante los siguientes análisis: curva de titulación (CT) mediante soluciones de Ca(OH)₂ 0,015 mol L⁻¹ (Abruña y Vicente, 1955); método del buffer (SMP) con buffer de CaCl₂.2H₂O, K₂CrO₄, p-nitrofenol y acetato de Ca (Mc Lean, Eckert, Reddy y Trierweiler, 1978); método del buffer doble (BD) con buffer de TRIS, imidazol, K₂CrO₄, piridina, CaCl₂.2H₂O (Yuan, 1974); método del H de cambio evaluado a través del cambio de pH del acetato de NH₄ 1mol L⁻¹ pH 7 (Richter, Conti y Macarini, 1982). A posteriori del ensayo se midió pH (relación suelo: agua de 1: 2,5) sobre las macetas sin vegetación, a fin de apreciar la modificación de la variable según la dosis y el tipo de sustancia agregada.

Características generales de los suelos y diagnóstico de la necesidad de corrección por métodos tradicionales

La caracterización física y química de los suelos estudiados puede verse en la Tabla 1. Como se desprende de la misma los suelos poseen pH actual (suelo: agua) comprendido entre 5,1 y 6,4; valores considerados desde fuertemente a ligeramente ácidos, mientras que el pH potencial (suelo : KCl) abarca el rango de 4,4 a 5,8; calificados como muy fuertemente a medianamente ácidos respectivamente (Schoeneberger *et al.*, 2000). Si en lugar de usar una expresión como el pH, se utiliza su equivalente, la actividad de H ([H⁺]), la dispersión de ambas medidas se torna sensiblemente mayor, de un orden superior al 90%, mostrando la variabilidad, en este sentido, de los suelos evaluados. A pesar de la condición de acidez manifestada por el pH, las cantidades de

Al³⁺ y Fe³⁺ intercambiables son extremadamente bajas, propiedad que los diferencia de los suelos ácidos de regiones tropicales. La CIC comprende valores desde medios a altos (13,5 a 23,5 cmolc kg⁻¹), siendo la saturación básica (V) variable, desde cifras considerablemente bajas (64,7%) a medias (87,3%) (Darwich, 1998). Las diferentes condiciones texturales, y las ya comentadas de CIC y V, señalarían posibilidades reguladoras de la reacción del suelo variables, aspecto que conjuntamente con el valor de pH, conllevaría a la necesidad de un diagnóstico particularizado en cada tipo de suelo.

Las bases intercambiables, las relaciones Ca²⁺/Mg²⁺, (Ca²⁺ + Mg²⁺)/K⁺, así como los porcentajes de las bases respecto de la saturación básica en su conjunto, son medidas analíticas también de apreciable variabilidad, pero cabe destacar que estas medidas, fundamentalmente usadas con frecuencia para la evaluación de la disponibilidad de nutrientes básicos, abarcan valores que sugerirían condiciones de deficiencias relativas, en especial de Ca²⁺ (Fassbender, 1980; Mora y Demanet, 1999). La nutrición de diferentes especies vegetales en materia de nutrientes básicos (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺), entre ellas la alfalfa, obedece tanto a las cantidades absolutas de estas bases como a las relaciones entre sus concentraciones (Borie et al., 1999; Demanet et al., 1999). Dados estos antecedentes, podría sugerirse para los suelos estudiados que el desarrollo de la alfalfa en los mismos, podría estar condicionado por las concentraciones relativas de las bases y valores de pH; aspectos que debieran ser contemplados en el diagnóstico.

No obstante lo expuesto y dada la difusión de algunas técnicas analíticas basadas exclusivamente en la corrección de pH, en la Tabla 2 se consignan las dosis de CaCO₃ sugeridas en base a ellas para alcanzar pH 7. Cabe mencionar que de acuerdo a los resultados de las investigaciones de Conti *et al.* (1983), que sugirieron la conveniencia de establecer múltiplos de la dosis estimada según el H de cambio (Richter et al., 1982), en la Tabla 2 se señalan los cálculos en base a la evaluación de H de cambio 1, 2 y 3 veces. Los resultados aludidos permiten afirmar la existencia de una gran variabilidad en la magnitud de las recomendaciones de acuerdo al método utilizado. Esta disparidad de resultados para un mismo suelo derivaría de la diferencia de los principios analíticos de los métodos, en relación a la naturaleza de la acidez en cada suelo en particular. Contribuirían a dicha disparidad aspectos tales como la indeterminación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio en las curvas de titulación (Mc Lean et al., 1978; Alley y Zelazny, 1987), las diferentes estrategias de acción de las soluciones buffer (Sims y Dennis, 1989), o la probabilidad de ignorar otras fuentes de acidez, responsables de la misma manera, de la problemática asociada a la reacción del suelo cometida por el método del H de cambio. Este último concepto queda evidenciado en los resultados de los suelos de Pergamino, Luján y Carlos Casares, los cuales teniendo pH actual igual o inferior a 6 y "V" variable (Tabla 1), no producen cambios en el pH del acetato de NH₄ tras la percolación, por lo que arrojan resultados nulos de H de cambio (Tabla 2), en forma discordante con la naturaleza de la acidez de los mismos. Esta supuesta anomalía del método, de subevaluación en algunos casos, podría estar ligada a la naturaleza del poder regulador del acetato de NH₄ en relación a la de los suelos evaluados, a la vez que habría sido la causa de la necesidad de utilizar una corrección a través de múltiplos (2 y 3 veces) de la cantidad de enmienda necesaria para llegar a pH 7, utilizada por los autores.

Respuesta de la alfalfa al agregado de enmiendas cálcicas

El análisis de varianza permitió comprobar con un nivel de probabilidad p<0,01 (Tabla 3), que la respuesta de la alfalfa al agregado de enmiendas interactúa con el tipo de suelo ensayado, de lo que se desprende la invalidez del análisis de los factores principales estudiados (suelo,

tipo/dosis de sustancia agregada). Estos resultados señalan la necesidad de diagnosticar el requerimiento de enmienda en cada situación edáfica, seleccionando no solamente dosis variables, si no también eligiendo la formulación más apropiada.

Del conjunto de suelos estudiados se pueden reconocer tres respuestas diferentes de tipo general que se visualizan a través de los suelos de Bavio, Luján y Etcheverry en la Figura 1. La respuesta en materia seca de la alfalfa en el suelo de Bavio manifestó un aumento de producción al agregado de CaCO_3 / MgCO_3 , comparable para las 3 dosis ensayadas, aunque no hubo respuesta positiva al agregado de CaCO_3 cuando éste fue utilizado como única enmienda. Debe destacarse que este suelo posee uno de los niveles más bajos de pH en agua y el más bajo en KCl. Cabe observar que los métodos de necesidad de enmienda (CT, BD, SMP, H de cambio) inferían dosis sensiblemente superiores a T1Ca/Mg , hecho que no se condice con la respuesta medida, a la vez que podría ser conducente a mayores desequilibrios del sistema. El suelo de Luján manifestó un comportamiento comparable para ambas enmiendas, y respuesta significativa a las dosis equivalentes a 1300 y 2000 kg ha^{-1} , no evidenciándose diferencias entre ambas. El tercer suelo considerado, Etcheverry, no respondió significativamente a los distintos tratamientos. Debe destacarse que este suelo posee, sin embargo, valores muy bajos de pH en agua y KCl. Adicionalmente, la producción de materia seca de la alfalfa, independientemente del tratamiento, fue considerablemente menor que en el resto de los suelos. Es probable que otras cualidades edáficas no evaluadas en este estudio hayan sido responsables de los sucesos, pero se demuestra claramente la complejidad en el diagnóstico y la variabilidad de la respuesta de la alfalfa al tipo de enmienda y su dosis.

En la Tabla 4 se presentan las asociaciones de las mediciones analíticas de todos los suelos estudiados respecto de la respuesta de la materia seca vegetal a la distintas dosis y tipo de sustancia agregada (peso seco del tratamiento con enmienda menos peso seco del testigo). Se aprecia en dicho cuadro que existieron, fundamentalmente, asociaciones estadísticamente significativas entre algunas mediciones analíticas de los suelos y la respuesta al agregado de $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$. Puede destacarse que el Ca^{++} intercambiable, la relación $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ y la proporción de Ca^{++}/V , se asociaron significativamente ($p < 0,05$) con la respuesta de la alfalfa al agregado de Ca^{2+} y Mg^{2+} en todas las dosis. Un comportamiento similar, aunque con menor significancia estadística, se manifestó con pH en agua, Mg^{++}/V y CIC. Lo anterior cuestionaría el empleo de las dosis emanadas de métodos tales como CT, BD y SMP (Tabla 2) cuando éstos son empleados como único elemento de diagnóstico.

Dada la importancia que tradicionalmente se asigna al pH para el diagnóstico y la administración de enmiendas, en la Figura 2 se ilustra el cambio de pH producido en los 3 suelos tras el agregado de las sustancias correctoras e incubación de las macetas sin vegetación en iguales condiciones que las sufridas por las macetas con alfalfa. En todos los casos el incremento de pH producido por ambos tipos de enmiendas es similar, sin embargo el aumento de pH a iguales dosis es diferente en los 3 suelos. El suelo de Bavio registró el mayor incremento (0,60 y 0,85 unidades de pH para dosis de 1300 y 2000 kg ha^{-1} respectivamente) y Etcheverry el menor (0,25 y 0,30 unidades de pH respectivamente). La diferente capacidad reguladora de los suelos evidenciada, podría ser la causa de lo acontecido e invalida el empleo de esta medida como único elemento diagnóstico, a los fines de establecer recomendaciones de corrección.

Diagnóstico multivariante

Habiéndose demostrado la asociación de la respuesta de la alfalfa al agregado de $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$ con distintas variables analíticas del suelo, se procedió mediante métodos

estadísticos de selección de variables a la evaluación de modelos multivariantes. En la Tabla 5 se transcriben dos modelos de elevada significancia estadística. De los mismos se desprende que la evaluación conjunta de medidas analíticas del suelo, incluido el método de BD en un caso, permite predecir el comportamiento de la alfalfa con un elevado grado de certeza. Dichas medidas analíticas son Ca^{++} intercambiable, relación $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$, CIC, V y condiciones texturales.

Estos resultados confirman la hipótesis de lo inapropiado de la aplicación de metodologías diagnósticas de la problemática desarrolladas en otras condiciones edafo-climáticas como únicas medidas de la necesidad de corrector.

Será necesario en el futuro desarrollar investigaciones que permitan verificar la validez de estos modelos para condiciones de campo y ajustar los coeficientes de las variables independientes en tal caso.

CONCLUSIONES

- Se demostró una considerable variabilidad de las condiciones físico químicas de los suelos de la región estudiada, vinculadas a la acidez y la respuesta al agregado de sustancias correctoras. Esto conllevaría a la necesidad de utilizar metodologías diagnósticas integradoras de dichas condiciones.

- La respuesta de la alfalfa al agregado de CaCO_3 y $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$ en dosis equivalentes comprendidas entre 650 y 2000 kg ha^{-1} fue variable de acuerdo al suelo, reafirmando la conveniencia del empleo de modelos predictivos integradores.

- Los métodos diagnósticos de necesidad de enmienda evaluados (CT, BD, SMP, H de cambio), conducen a recomendaciones sobredimensionadas de gran variabilidad y por lo tanto invalidan la determinación de la dosis a emplear cuando son usados como único elemento de diagnóstico.

- La evaluación conjunta de medidas analíticas del suelo (Ca^{++} intercambiable, relación $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$, CIC, V y condiciones texturales) incluido el método de BD, permite predecir el comportamiento de la alfalfa con un elevado grado de certeza en condiciones de invernáculo. Será necesario desarrollar en el futuro investigaciones que permitan verificar la validez de estos modelos para condiciones de campo.

AGRADECIMIENTOS

A los alumnos de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales F, Ross, Fernando y Enriquez, Hugo, y al personal de apoyo Sres. D. Gómez y L. Basaldúa, por la colaboración en la conducción del ensayo de invernáculo así como en tareas de laboratorio.

LITERATURA CITADA

- Abruña F. y Vicente J. 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.
- Alley M.M. y Zelazny L.W. 1987. Soil acidity: Soil pH and lime needs. p. 65 - 72. En J.R. Brown (ed.). *Soil Testing: sampling, correlation, calibration and interpretation*. SSSA Spec. Publ. 21, Wisconsin, USA.
- Borie B.F., Gallardo F.A., Mora M.L.G. y García J.C. 1999. Sensibilidad y tolerancia a la acidez de los cultivos en condiciones de campo. *Frontera Agrícola (Chile)* 5 (1 - 2): 19 - 28.

- Conti M.E., Maccarini G. y González M. 1983. Método rápido de corrección de suelos ácidos. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 1 (1): 15 – 20.
- Demagnet R.F., Schnettler B.M. y Mora M.L.G. 1999. Efecto del encalado y su relación con los nutrientes sobre la producción de pasturas en suelos ácidos. *Frontera (Chile)* 5 (1 – 2): 95 – 110.
- Darwich N. 1998. *Manual de Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes*. Ed. Agar Cross. 182 p.
- Fassbender Hans W. 1980. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Cap. 5. 1ra Ed. 2da. reimpresión, IICA, San José, Costa Rica.
- Mc Lean E.O., Eckert D.J., Reddy G.Y. and Trierweiler F.J. 1978. An improved SMP soil lime requirement method incorporating double-buffer and quick-test features. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 311 – 316.
- Mendenhall W., Scheaffer R. y Wackerly D. 1986. *Estadística matemática con aplicaciones*. 3^{ra} ed. Grupo Editorial Iberoamericana, California, USA.
- Mora M. y Demagnet R. 1999. Uso de enmiendas calcáreas en suelos acidificados. *Frontera Agrícola (Chile)* 5 (1 – 2): 43 – 58.
- Richter M., Conti M. y Maccarini G. 1982. Mejoras en la determinación de cationes intercambiables, ácidos intercambiables y capacidad de intercambio catiónica en suelos. *Rev. Fac. Agronomía (Argentina)* 3 (2): 145 – 155.
- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C. and Broderick W.D. 2000. Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos. Versión 1.1. Instituto de Suelos, Centro de Recursos Naturales, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina. Traducción en español del "Field Book for Describing and Sampling Soils", 1998. Centro Nacional de Relevamiento de Suelos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Dto. de Agricultura, EEUU, Lincoln, Nebraska. 10p.
- Sims J.T., Dennis L. 1989. Evaluation of lime requirement methods for Delaware Soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 20: 1279 – 1926.
- Soil Service Staff. 1998. *Keys to Soil Taxonomy*. 8th Ed. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 869 p.
- Sistema de apoyo metodológico a los laboratorios de análisis (SAMLA). 1992. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina (ed). Boletines de difusión publicados a partir de la fecha citada.
- Vázquez M.E., Baridon E., Lanfranco J.W. y Malagrina G. 2000. Evaluación de la potencialidad de la problemática de acidez en la región norte de la provincia de Buenos Aires. Com.1 Panel 58. En *Actas XVII° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, 11-14 de abril, Mar del Plata, Argentina.
- Wanbeke A. Van y Scoppa C.O. 1975. Los regímenes térmicos e hídricos de los suelos argentinos calculados sobre la base de los registros climáticos. En *Actas 7° Reunión de la Ciencia del Suelos*. Bahía Blanca, Argentina. 165 p.
- 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.

Tabla 1.- Resultados analíticos de los suelos ensayados

Determinación	Unidades	Suelos									CV (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
pH (H ₂ O)	-	6,4	6,0	5,5	5,8	5,7	6,0	5,4	6,0	5,1	6,8
[H ⁺](H ₂ O)	mol L ⁻¹	4E-07	1E-06	3E-06	2E-06	2E-06	1E-06	4E-06	1E-06	8E-06	96,2
pH (KCl 1mol L ⁻¹)	-	5,3	5,3	4,4	4,8	5,0	5,1	4,9	5,8	4,7	8,1
[H ⁺](KCl 1mol L ⁻¹)	mol L ⁻¹	5E-06	5E-06	4E-05	2E-05	1E-05	8E-06	1E-05	2E-06	2E-05	88,3
Ca ²⁺	cmolc kg ⁻¹	13,9	9,1	7,0	9,8	9,5	8,0	12,0	8,1	7,6	23,6
Mg ²⁺	..	2,7	3,9	3,0	2,7	2,6	2,3	3,0	2,1	1,7	23,5
Na ⁺	..	0,4	0,3	0,6	0,3	0,5	0,2	0,1	0,4	0,5	42,7
K ⁺	..	1,8	1,7	1,1	1,5	1,5	1,4	1,2	1,8	0,7	25,7
H ⁺	..	1,34	1,56	0,91	0	0	0,47	1,12	0	1,78	88,3
CIC	..	23,5	17,5	15,2	17,7	16,1	15,1	20,6	19,1	13,5	17,7
Ca ²⁺ /Mg ²⁺	-	5,1	2,3	2,3	3,6	3,7	3,5	4,0	3,9	4,5	24,8
(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)/K ⁺	-	9,2	7,6	9,1	8,3	8,1	7,4	12,5	5,7	13,3	27,0
Ca ²⁺ /V	%	74,1	60,6	59,8	68,5	67,6	67,2	73,6	65,5	72,4	7,7
Mg ²⁺ /V	..	14,4	26	25,6	18,9	18,5	19,3	18,4	17	16,2	20,4
K ⁺ /V	..	9,6	11,3	9,4	10,5	10,7	11,8	7,4	14,6	6,7	23,1
Saturación (V)	..	79,8	85,8	77,0	80,8	87,3	78,8	79,1	64,7	77,8	8,1
Clase textural	-	fr	fr-A	fr	fr	fr	fr-L	fr-a	fr-a-L	fr-a	

Al³⁺ y Fe³⁺ intercambiables: inferiores en todos los suelos al límite de detección de la metodología utilizada (0,10 mg kg⁻¹)

fr: franco, A: arenoso, a: arcilloso, L: limoso.

Suelos: 1(Tres Arroyos), 2 (Lincoln), 3 (Bavio), 4 (Pergamino), 5 (Luján), 6 (Baradero), 7 (Azul), 8 (C. Casares), 9 (Etcheverry).

CV: coeficiente de variación.

Tabla 2.- Necesidades de corrector según diferentes métodos diagnóstico

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

CT: Curva de titulación; BD: buffer doble; SMP: buffer simple; H⁺: H de cambio

Tabla 3.- Análisis de la varianza de la materia seca aérea vegetal.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculada	probabilidad.
Suelo	48,36	8	6,05	41,44	p < 0,01
Tipo/dosis	1,89	6	0,31	2,16	p < 0,05
Interacción	15,13	48	0,32	2,16	p < 0,01
Residual	18,39	126	0,15		

Tabla 4. Correlaciones entre variables edáficas y respuesta de la alfalfa al agregado de diferentes enmiendas en dosis equivalentes de 650 (T1), 1.300 (T2) y 2000 (T3) kg ha⁻¹.

	T1Ca - T (1)	T2Ca - T	T3Ca - T	T1Ca+Mg - T	T2Ca+Mg - T	T3Ca+Mg - T
pH(H ₂ O)	0,02	-0,29	-0,38	-0,64 **	-0,61 *	-0,55*
pH(KCl 1 mol L ⁻¹)	-0,22	0,06	-0,42	-0,65**	-0,40	-0,33
Ca ²⁺	0,28	-0,05	0,06	-0,74**	-0,87***	-0,75**
Mg ²⁺	-0,18	0,19	-0,46	0,22	0,13	0,09
Ca ²⁺ /Mg ²⁺	0,28	-0,15	0,44	-0,80***	-0,78***	-0,72**
Ca ²⁺ /V	0,39	-0,03	0,39	-0,66**	-0,77***	-0,63**
Mg ²⁺ /V	-0,37	0,09	-0,44	0,77***	0,68**	0,60*
CIC	0,08	-0,06	-0,13	-0,71**	-0,70**	-0,59*
V	0,26	0,16	0,10	0,06	-0,14	-0,59*
Arena	-0,46	0,40	-0,24	-0,19	0,04	0,11
Limo	0,50	-0,47	0,32	0,13	-0,08	-0,13
Arcilla	-0,51	0,54	-0,47	0,07	0,19	0,21
Curva Titulación	0,10	-0,01	0,06	0,33	0,36	0,17
Yuan	0,29	0,29	0,55*	0,59*	0,47	0,44
Buffer doble	0,43	-0,11	0,49	0,37	0,27	0,21
H ⁺	-0,64**	-0,13	-0,06	0,04	-0,24	-0,33

Nivel de significancia: * : p < 0,10

** : p < 0,05

*** : p < 0,01

(1) diferencia entre la materia seca entre los tratamientos con CaCO₃ y CaCO₃/MgCO₃ y el testigo

Tabla 5. Modelos multivariantes de la respuesta de la alfalfa al agregado de enmiendas.

Variable dependiente	R ² / R ² correg.	Variables independientes	b _i	p _i
T1CaMg - T	91,5 / 86,5	cte.	0,58	0,09
		Ca ²⁺	-0,06	0,07
		Ca ²⁺ /Mg ²⁺	-0,15	0,02
		BD	0,11	0,02
T2CaMg - T	94,2 / 88,4	cte.	7,18	0,002
		Arena	0,06	0,006
		Arcilla	-0,19	0,08
		CIC	-0,22	0,02
		V	-0,007	0,007

R²/R² correg.: coeficiente de determinación del modelo sin y con corrección por número de variables.

β_i: coeficiente de la variable independiente

p_i: probabilidad de la variable en el modelo

BD: buffer doble

V: saturación básica

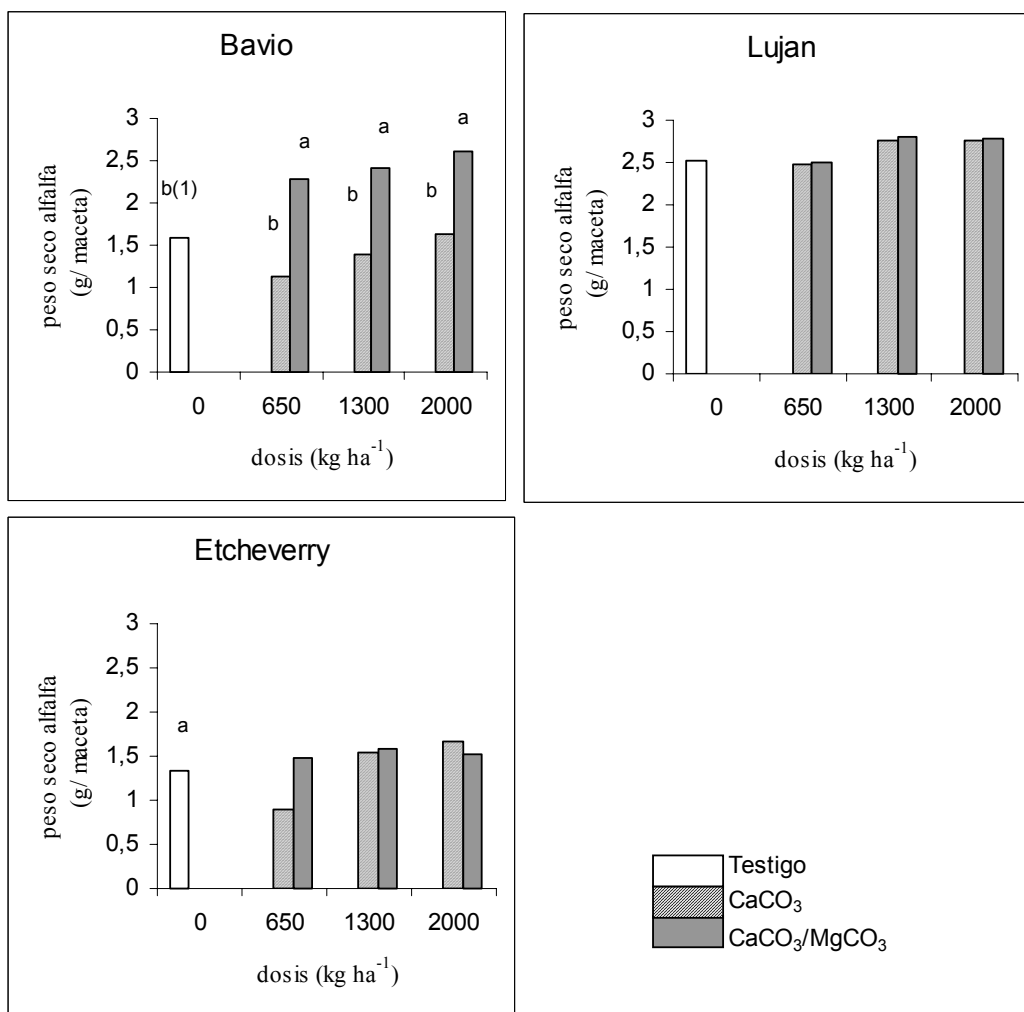


Figura 1. Peso seco de alfalfa (g / maceta) según tratamiento corrector (CaCO₃, CaCO₃/MgCO₃, kg ha⁻¹) en los suelos de Bavio, Luján y Etcheverry.

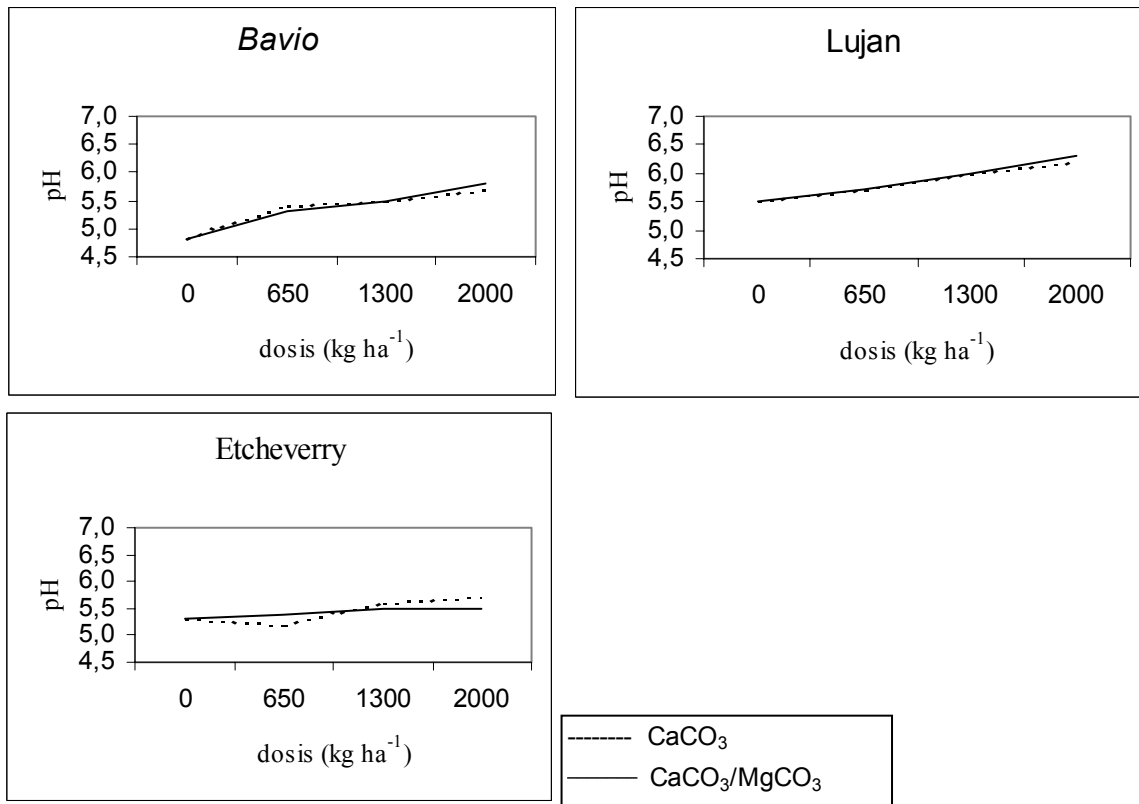


Figura 2. Evolución del pH del suelo sin vegetación con diferentes productos y dosis de corrector.