

EFFECTOS A MEDIO PLAZO DE LA ESPUMA DE AZUCARERÍA, CALIZA MAGNESIANA Y YESO SOBRE LAS BASES INTERCAMBIABLES Y EL ALUMINIO EN EL PERFIL DE UN SUELO ÁCIDO

P. González-Fernández¹, R. Ordóñez-Fernández¹, R. Espejo-Serrano² y F. Peregrini-Alonso²

¹ C.I.F.A. "Alameda del Obispo". Apartado 3092, 14080 Córdoba; pedro.gonzalez.fernandez@juntadeandalucia.es

² E.T.S.I.Agrónomos. Univ. Politécnica. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

RESUMEN. Se ha estudiado la mejora de la calidad de un suelo ácido muy alterado (Typic Paleixerult) en una raña de Extremadura mediante un ensayo en campo de larga duración. La utilización como enmienda de 7.4 t/ha de espuma de azucarería, 6.3 t/ha de caliza dolomítica y 10.8 t/ha de yeso ha alterado la composición de las bases de cambio con diferente intensidad y profundidad. Transcurridos 857 días desde la aplicación de los mencionados materiales, se observa que el horizonte de laboreo en los campos tratados ha incrementado su contenido en calcio. Aumento especialmente intenso cuando se empleó espuma y caliza. La migración del calcio en profundidad es evidente en los campos enmendados con caliza y yeso y no tanto en el caso de las espumas, cuya acción parece más superficial a medio plazo. El aluminio extraíble desaparece en los horizontes Ap tratados con caliza y espumas y su concentración disminuye con el yeso. En profundidad las tres enmiendas atenúan la concentración de este fitotóxico elemento. No se han detectado efectos significativos de estas enmiendas sobre el magnesio y el sodio intercambiables con la excepción del yeso, que propicia una disminución del magnesio intercambiable en el horizonte subsuperficial AB y del sodio en el Ap y AB. Los efectos del yeso sobre el potasio intercambiable son más intensos en los horizontes Ap y AB donde provoca una disminución, no compensada con los anuales abonados potásicos. La caliza y las espumas favorecen también la aminoración de este catión en el horizonte AB. Estos resultados indican que para la mejora del perfil de los ultisoles ácidos de las rañas de Extremadura, el yeso solo no es adecuado y precisa de una mezcla con caliza magnesiana o espumas junto con abonados complementarios de potasio y magnesio.

ABSTRACT. An improvement in the quality of a highly disturbed acid soil (Typic Paleixerult) was studied in The "rañas" of Extremadura by long-term field assaying. The use of an amendment of 7.4 t/ha of sugar refinery foam, 6.3 t/ha of dolomitic lime and 10.8 t/ha of gypsum altered the composition of exchangeable bases with different intensities and depths. 857 days after the application of the above materials it was observed that the calcium content in

the tilling horizon of the treated fields had increased, and this increase was especially strong when foam and lime were employed. The in-depth migration of calcium was evident in the fields amended with lime and gypsum, but was not so in the case of foams, whose medium term action seemed to be located more on the surface. The extractable aluminium disappeared in the Ap horizons treated with lime and foams and its concentration declined with gypsum. Deeper down, the three amendments reduced the concentration of this phytotoxic element. No significant effects of these amendments were detected on exchangeable magnesium and sodium, with the exception of gypsum, which caused a diminution of the exchangeable magnesium in the AB and sodium in the tilled horizon Ap and AB. The effects of the gypsum on the potassium were more intense in the Ap and AB horizons, where they produced a reduction in the exchangeable potassium, which was not compensated by the annual potassic fertilizers. The lime and foams also promoted a decrease in this cation in the AB horizon. These results indicate that to improve the profile of acid ultisols of the "rañas" of Extremadura, gypsum alone is not sufficient and requires to be mixed with magnesium lime or sugar foams, together with giving supplementary potassium and magnesium dressings.

1. Introducción

Desde el punto de vista agronómico se entiende que son suelos ácidos aquellos que tienen una elevada acidez, en general con pH menores de 5.5, escasas bases y unos elevados porcentajes de Al^{3+} y/o Mn^{2+} en la solución del suelo. Estos elementos ejercen una acción fitotóxica que impide el normal desarrollo radicular y la correcta absorción de muchos nutrientes.

La acción del hombre, iniciada con las masivas y tempranas deforestaciones, a la que siguió la introducción del laboreo primero y los fertilizantes nitrogenados de síntesis después, ha agravado las naturales malas cualidades de los suelos de raña, que han visto aumentar su acidez a la par que disminuía su materia orgánica y se intensificaban

las deficiencias en algunos elementos nutritivos, en especial: Ca, Mg, N, S, P, Mo y Zn.

Los suelos ácidos con sus inadecuadas características dificultan el normal desarrollo de las plantas y por ello las producciones de la mayoría de los cultivos resultan limitadas. Sólo las especies más adaptadas prosperan.

En el Oeste de España se encuentran las extensas formaciones de rañas, originadas en el Plioceno. Constituyen unas plataformas estables que han permitido una prolongada evolución de los suelos bajo climas muy distintos del actual (Espejo, 1987). Sus suelos actuales están muy meteorizados y han desarrollado un perfil: Ap AB Bt C. Donde el Bt constituye un horizonte muy arcilloso, con un elevado contenido en Al^{3+} , compacto y pobre en materia orgánica, ácido y con características de segregación plíntica (Espejo, 1987). Este horizonte constituye una eficaz barrera para las raíces de las plantas, arbustos y especies forestales, obligadas a confinar su desarrollo en los horizontes más superficiales: A y AB.

Los países de climas templados han recurrido de forma tradicional al encalado para corregir la acidez (Sumner y Yamada, 2002). Medida que incrementa el pH e intercambia el Ca^{2+} por Al^{3+} que precipita en forma de hidróxidos. La acción del encalado es local. La baja solubilidad del carbonato cálcico no permite su acción en profundidad (Pavan et al. 1984; Shamshuddin et al. 1991). Por esta razón a comienzos de los años ochenta se recurrió a la aplicación del soluble yeso ($SO_4Ca \cdot 2H_2O$) como fuente de cationes y aniones, útiles para corregir las carencias de Ca y S y la toxicidad del Al^{3+} en profundidad. Su incorporación al suelo incrementa la relación Ca/Al, lo que favorece el desarrollo de las raíces (Kinraide et al. 1992; Foy, 1992; Franco y Munns, 1982; Noble et al. 1988). Su acción benéfica se refuerza al incrementar la fuerza iónica de la solución del suelo y la formación de pares con el Al^{3+} que dan lugar a SO_4Al^+ (Pavan et al. 1982; Kinraide y Parker, 1987; Shamshuddin et al. 1991) junto con su acción "autoencalante" (Reeve y Sumner, 1970) y su influencia indirecta sobre la disponibilidad de los iones fosfato (Espejo, 2001). Efectos todos que facilitan el enraizamiento y la absorción de nutrientes por las plantas.

La aplicación de yeso en estos suelos ácidos de baja C.I.C. y pH, provoca el lavado y pérdida de algunos elementos; en especial Mg y Na (Santano, 1995; Santano y Espejo, 1997; Peregrina, 2005).

La acción de estos materiales calizos o yesíferos en el perfil de los suelos intensamente meteorizados de las rañas del Oeste de España (ultisoles) en condiciones de campo se desconocía. Por esta razón se planteó un ensayo de larga duración para estudiar los efectos de diversos materiales potencialmente útiles como enmendantes: calizas magnesianas, yeso y espumas, un subproducto de la industria azucarera, rico en caliza, que por sus cualidades y disponibilidad puede constituir un interesante material encalante. Estos productos, aplicados con los complementos adecuados, pueden mejorar la fertilidad y regenerar los degradados suelos de raña.

Con unos suelos más fértiles, es posible la formación de dehesas, pastizales y cultivos forrajeros más productivos;

que alivien la situación actual de la agricultura y ganadería en estas zonas pobres, hoy en franco retroceso.

El primero paso en esta tarea, consiste en averiguar que sucede en el perfil de los suelos de raña en condiciones de campo cuando se ha incorporado en su perfil labrado las citadas enmiendas. Comprobar cómo han evolucionado sus bases de cambio y estimar las medidas correctoras complementarias que hay que adoptar para mejorar las enmiendas y aumentar la fertilidad de los suelos.

2. Material y métodos

El suelo utilizado para este estudio es un Typic Palexerult situado en la raña de Cañamero (Cáceres) a 620 m sobre el nivel del mar y coordenadas: 39° 19' 58'' N y 5° 20' 13'' O. El clima es Mediterráneo y la pluviometría media anual de la zona en los años 1963-1996 fue de 869 mm. Destacan estos suelos por su elevado contenido en materia orgánica, bajo pH y alto porcentaje de elementos gruesos procedentes de la meteorización de bolos cuarcíticos. En la Tabla 1 se recogen algunas de sus principales características.

Tabla 1. Características principales del perfil del suelo utilizado para el ensayo

Horizonte cm	pH		M. O.	Ac	Al	Gravas
	H ₂ O	Cl ₂ Ca	%	%	ppm	%
Ap (0-18)	5.07	4.28	3.9	8.3	0.93	33
AB(18-45)	5.18	4.35	0.6	17.7	1.05	31
Bt1(45-77)	4.67	4.12	0.4	44.3	2.07	24

Para este estudio se han elegido unas parcelas de 5x7 metros cuadrados pertenecientes a un ensayo establecido en 1997 para probar la eficiencia de diversos enmendantes, con un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las parcelas empleadas en este estudio son las enmendadas para elevar el pH del horizonte Ap a 6.3 empleando: 6.3 t/ha de caliza magnesianas (C) ó 7.4 t/ha de espumas de azucarería (E), junto con el tratamiento con 10.8 t/ha de yeso (Y), que aporta una cantidad de calcio equivalente al tratamiento con caliza y con el suelo control (0), que no ha recibido aporte alguno de calcio y magnesio, ni siquiera con los fertilizantes NPK aplicados a todos los tratamientos.

Cada horizonte se ha muestreado a diferentes profundidades, en cuatro puntos distintos situados en la parte central de cada parcela elemental, para componer una muestra compuesta.

Las bases de cambio, se han extraído con $AcNH_4$ 1N ajustado a pH 7 (Peech et al. 1947) y el Al con ClK 1N. El Ca y Mg de cambio se ha determinado en el extracto con un espectrofotómetro de absorción atómica y el Na y el K por fotometría de emisión.

3. Resultados y discusión

3.1. Calcio

En la Tabla 2 se aprecia claramente como las enmiendas con calizas magnesianas (C) y espumas (E) han incrementado el Ca extraíble en el horizonte labrado. Parte de este Ca puede proceder de partículas de caliza aún no disueltas. En las parcelas que han recibido yeso se detectan unos niveles medios de Ca mucho menores, pero significativamente mayores que los presentes en la parcela control.

Tabla 2. Variaciones medias del calcio extraíble (cmol_e/kg) en el perfil del suelo a los 857 días de la aplicación de las enmiendas.

Horizonte (cm)	O control	C caliza m.	E espumas	Y yeso
Ap (0-12)	1.16 a	7.67 c	7.81 c	1.72 b*
AB (30-45)	0.83 a	1.10 b	0.84 ab	1.07 ab
Bt1 (>45)	1.04 a	1.33 a	1.1 a	1.71 b

Valores seguidos de igual letra dentro de cada fila no son significativamente diferentes a $p < 0.05$.

Cuando se examina el perfil en profundidad solo se encuentran incrementos significativos con respecto a los niveles de las parcelas control en el horizonte AB para el tratamiento C con caliza magnesiana y a mayor profundidad, en el horizonte Bt1, para las parcelas enyesadas (Y). A pesar de que los suelos del ensayo han experimentado dos ciclos de lixiviación durante el período Invierno-Primavera, los efectos de las espumas sobre el suelo son menos intensos que los obtenidos por Peregrina (2005) en un ensayo con lisímetros. Los niveles de Ca en el perfil, confirman las observaciones del mencionado autor sobre el carácter efímero del enriquecimiento del horizonte superficial Ap debido al yeso.

El incremento del Ca en el horizonte AB de las parcelas con caliza magnesiana contrasta con la inapreciable migración del Ca procedente de una caliza pura, quizás más cristalina, utilizada en el citado ensayo con lisímetros y coincide con las observaciones de Cifu et al. (2004) sobre los efectos, en condiciones de campo, de las enmiendas calizas en un ultisol de China. La distinta naturaleza del material y las diferentes características del ensayo de campo con cultivos y fertilización NPK han debido contribuir a esta mejora de los niveles de Ca en el horizonte subsuperficial AB.

3.2. Aluminio

La caliza y la espuma inmovilizan el Al³⁺ presente en el epipedión y el yeso disminuye su contenido (Tabla 3).

Las tres enmiendas disminuyen el Al extraíble en el AB e incluso sus efectos atenuados son apreciables a mayor profundidad en el Bt1. Comportamientos similares a los señalados por otros autores en ensayos de campo en suelos similares (Sumner et al. 1986; Smith et al. 1994; Oliveira y Pavan (1996); Toma et al. 1999 y Kukier et al. 2001).

Tabla 3. Variaciones medias del aluminio extraíble (cmol_e/kg) en el perfil del suelo a los 857 días de la aplicación de las enmiendas.

Horizonte (cm)	O control	C caliza m.	E espumas	Y yeso
Ap (0-12)	0.86 c	0 a	0 a	0.47 b
AB (30-45)	1.65 b	1.09 a	1.15 a	1.13 a
Bt1 (>45)	1.60 a	1.31 a*	1.37 a*	1.23 a*

Valores seguidos de igual letra dentro de cada fila no son significativamente diferentes a $p < 0.05$. * Resulta menor a $p < 0.10$.

3.3. Magnesio

El yeso aplicado al suelo tiene un reconocido efecto sobre los iones intercambiables. El Mg resulta desplazado por el Ca procedente del yeso (Ritchey et al. 1980; Pavan et al. 1984; O'Brien y Sumner, 1988; Farina y Channon 1988; Toma et al. 1999; Cifu et al. 2004).

Tabla 4. Variaciones medias del magnesio extraíble (cmol_e/kg) en el perfil del suelo a los 857 días de la aplicación de las enmiendas.

Horizonte (cm)	O control	C caliza m.	E espumas	Y yeso
Ap (0-12)	0.23 a	0.26 a	0.26 a	0.22 a*
AB (30-45)	0.16 ab	0.17 b	0.15 ab	0.10 a
Bt1 (>45)	0.24 a	0.29 a	0.23 a	0.21 a

Valores seguidos de igual letra dentro de cada fila no son significativamente diferentes a $p < 0.05$. * Resulta menor a $p < 0.10$.

En un ensayo con lixímetros, Peregrina (2005), constató la intensidad de este fenómeno en los suelos de raña sometidos a dos ciclos de lavado.

En las condiciones del ensayo de campo en la raña de Cañamero, estos procesos no se producen con igual intensidad y velocidad. Transcurridos 857 días desde el aporte de 10.8 t/ha de yeso, sólo ha disminuido ligeramente el nivel de Mg en los horizontes subsuperficiales (Tabla 4). Resulta llamativo que el Mg intercambiable presente en el horizonte Ap de las parcelas con yeso sea similar al encontrado en las parcelas control. Esta ineficacia aparente de yeso para lavar el Mg presente en el epipedión ya fue observada por Toma et al. (1999) al aplicar yeso a un Typic Kanhapludult de Georgia.

3.4. Potasio

En general los encalados y en especial los enyesados favorecen el descenso del K intercambiable (Shainberg et al. 1989; Shamshuddin et al. 1991; Syed Omar y Sumner, 1991; Santano y Espejo, 1997; Peregrina, 2005). Por esta causa este nutriente puede disminuir hasta niveles deficitarios.

El potasio es un nutriente propicio a sufrir desplazamiento y lixiviación a causa del exceso de calcio provocado por la incorporación del yeso al suelo. Ya que el aumento del Ca en solución se produce sin un incremento paralelo del pH que origine una mayor CICE y contrarreste

de esta forma el incremento en la proporción Ca/K. La específica y fuerte adsorción del ión K en las arcillas tipo illita presentes en este suelo (Espejo, 1987; Garrido et al. 2003) dificultan estos procesos.

Tabla 5. Variaciones medias del potasio extraíble (cmol_c/kg) en el perfil del suelo a los 857 días de la aplicación de las enmiendas.

Horizonte (cm)	O control	C caliza m.	E espumas	Y Yeso
Ap (0-12)	0.20 a	0.20 a	0.18 a	0.15 a*
AB (30-45)	0.06 a	0.05 b	0.05 b	0.05 b
Bt1 (>45)	0.06 a	0.05 a	0.05 a	0.05 a

Valores seguidos de igual letra dentro de cada fila no son significativamente diferentes a $p < 0.05$. * Resulta menor a $p < 0.10$.

En nuestro caso, el suelo labrado, abonado y cultivado presenta en los distintos tratamientos unos niveles medios de K disponible bajos y similares entre sí (Tabla 5). Los valores inferiores aparecen en los suelos que reciben yeso. Todos los tratamientos disminuyen ligeramente el escaso K disponible en el horizonte AB en comparación con las parcelas control. Estos efectos persisten, pero no son estadísticamente significativos, en el horizonte argílico Bt1 subyacente.

3.5. Sodio

Los tratamientos ejercen sobre el sodio intercambiable unos efectos similares al potasio (Tabla 6), enmascarados por los bajos niveles de este elemento presentes en el suelo.

Los tratamientos disminuyen el Na intercambiable en el horizonte AB y en el Ap únicamente en las parcelas con yeso.

Tabla 6. Variaciones medias del sodio extraíble (cmol_c/kg) en el perfil del suelo a los 857 días de la aplicación de las enmiendas.

Horizonte (cm)	O control	C caliza m.	E espumas	Y Yeso
Ap (0-12)	0.14 a	0.12 bc	0.13 ab	0.10 c
AB (30-45)	0.10 a	0.09 ab	0.07 b	0.08 ab
Bt1 (>45)	0.10 a	0.09 a	0.08 a	0.08 a

Valores seguidos de igual letra dentro de cada fila no son significativamente diferentes a $p < 0.05$.

4. Conclusiones

Las enmiendas se han comportado como una útil fuente de calcio para los suelos. El yeso incrementa el Ca más en profundidad pero las calizas magnesianas y las espumas son unas eficaces encalantes que inmovilizan el Al³⁺ en el horizonte superficial.

La migración del calcio en profundidad es evidente en los campos enmendados con caliza dolomítica y yeso y no tanto en el caso de las espumas, cuya acción parece mas superficial a medio plazo.

El ensayo de campo ha confirmado los efectos negativos de los encalados y en especial del enyesado sobre la disponibilidad de los nutrientes Mg y K.

Se ha observado que en el ultisol de raña, bajo un clima mediterráneo, cultivado y abonado con NPK, los procesos de pérdida de nutrientes Mg y K no son tan rápidos e intensos como los experimentados en ensayos con lixímetros o bajo otros suelos y climas. Lo que facilita la restauración de estas pérdidas mediante unos aportes de nutrientes paralelos a las enmiendas.

Agradecimientos. Los autores hacen patente su agradecimiento al Ministerio de Ciencia y Tecnología por la financiación del proyecto AGL2002-04545-CO3-03 que ha hecho posible la permanencia de los campos de ensayo y estos estudios.

Referencias

- Cifu, M., Xiaonan, L., Zhihong, C., Z hengyi H. y Wanzhu, M. 2004. Long-term effects of lime application on soil acidity and crop yields on a red soil in Centrl Zhejjing. *Plant and Soil*, 265: 101-109 pp.
- Espejo, R. 1987. The soils and ages of the "raña surface" related to Villuercas in Altamina mountain ranges (western Spain). *Catena*, 14:389-418 pp.
- Espejo, R. 2001. El uso de la espuma de azucarería, fosfoyeso y residuos dolomíticos de convertidor (RDC) como enmendantes de suelos ácidos. En: *Actas I Encuentro Internacional sobre Gestión de Residuos en el Ambito Rural Mediterráneo*. Pamplona, 377-386 pp.
- Farina, M.P.W. y Channon, P. 1988. Acid subsoil ameriolation: II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. *Soil Science Society of American Journal*, 52:169-175 pp.
- Foy, C.D. 1992. Soil chemical factors limiting plant root growth. *Advances in Soil Science*, 19: 97-131 pp.
- Franco, A.A. y Munns, C.N. 1982. Acidity and aluminium restraints on nodulation, N fixation and growth of *Phaseolus vulgaris* in nutrient solution. *Soil Science Society American Proceeding*, 34:456-459 pp.
- Garrido, F., Illera, V., Vizcaino, C. y García-González, T. 2003. Evaluation of industrial by-products as soil acidity ammendments: chemical and mineralogical implications. *European Journal of Soil Science*, 54: 411-422 pp.
- Kinraide, T.B. y Parker, D.R. 1987. Non-phytotoxicity of the aluminium sulphate ion, AlSO₄⁺. *Physiologia Plantarum*, 71:207-212 pp.
- Kinraide, T.B., Ryan, P.R. y Kochian, L.V. 1992. Interactive effects of Al³⁺, H⁺ and other cations on root elongation considered in terms of cell-surface electrical potential. *Plant Physiology*, 99: 1461-1468 pp.
- Kukier, U., Sumner, M.E. y Miller, W.P. 2001. Distribution of exchangeable cations and trace elements in the profiles of soils amended with coal combustion by-products. *Soil Science*, 166:585-597 pp.
- Noble, A.D., Sumner, M.E. y Alva, A.K. 1988. The pH dependency of alleviation of aluminium phytotoxicity by calcium sulphate. *Soil Science Society of America Journal*, 52; 1398.1402 pp.
- O'Brien, L.O. y Sumner, M.E. 1988. Effects of phosphogypsum on leachate and soil chemical composition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19:1319-1329 pp.
- Oliveira, E.L., y Pavan, M.A. 1996. Control of the soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil and Tillage Research*, 38:47-57 pp.
- Pavan, M.A., Bingham, F.T. y Pratt, P.F. 1982. Toxicity of aluminium to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO₃, MgCO₃ and SO₄Ca-2H₂O. *Soil Science Society of America Journal*, 46:1201-1207 pp.
- Pavan, M.A., Bingham, F.T. y Pratt, P.F. 1984. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime or gypsum Applications to Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, 61:765-772 pp.
- Peech, M.L., Alexander, L.T., Dean, L., y Reed, J.F. 1947. Methods of soil analysis for soil fertility investigations. U.S. Dept. Agri. C. 757, 25 pp.

- Peregrina-Alonso, F. 2005. Valoración agronómica de residuos industriales yesíferos y calizos: Implicaciones sobre la dinámica del complejo de cambio, la disolución del suelo y la productividad en Paleixerults del Oeste de España. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Madrid. ETSIA.
- Reeve, N.G. y Sumner, M.E. 1970. Effects of aluminium toxicity and phosphorus fixation on crop growth on Oxisols in Natal. *Soil Science Society American Proceedings*, 34:263-267 pp.
- Ritchey, K.D., Souza D.M.G., y Costa U.F. 1980. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savanna Oxisol. *Agron. J.*, 72: 40-44 pp.
- Santano Arias, J. 1995. Incidencia de la aplicación de diferentes enmiendas calizas y yesíferas sobre la dinámica del aluminio y disponibilidad de algunos nutrientes en un Paleixerult de la raña de Cañamero (Cáceres). Tesis Doctoral, E.T.S.I.Agrónomos. Madrid.
- Santano Arias, J. y Espejo Serrano, R. 1997. Effects of lime and gypsum amendments on cation redistribution and copper, zinc and manganese availability in a paleixerult from SW Spain. *Agrochimica XVI* (6); 233-240 pp.
- Shainberg, I., Sumner, M.E., Miller, W.P., Farina, M.P.W., Pavan, M.A., y Fey, M.V. 1989. Use of gypsum on soils: a review. *Adv. Soil Sci.* 9: 1-111 pp.
- Shamshuddin, J., Fauziah, I., y Sharifuddin, H.A.H. 1991. Effects of limestone and gypsum application to a Malaysian ultisol on soil solution composition and yields of maize and groundnut. *Plant Soil.*, 134; 45-52 pp.
- Smith, C.J., Peoples, M.B., Keerthisinghe, G., James, T.R., Garden, D.L. y Toumi, S. 1994. Effect of surface applications of lime, gypsum and phosphogypsum on the alleviating of surface acidity in a soil under pasture. *Australian Journal of soil Research*, 32:995-1008 pp.
- Sumner, M.E., Shahandeh, H., Bouton, J. y Hammer, J. 1986. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. *Soil Science Society of America Journal*, 50:1254-1258 pp.
- Sumner, M.E. y Yamada, T. 2002. Farming with acidity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33: 2467-2496 pp.
- Syed-Omar, S.R., y Sumner, M.E. 1991. Effect of gypsum on soil potassium and magnesium status and growth of alfalfa. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 22: 2018-2028 pp.
- Toma, M., Sumner, M.E., Weeks, G. y Saigusa, M. 1999. Long-term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 39: 891-895 pp.