

CAMBIOS EN EL pH DEL PERFIL DE UN SUELO ÁCIDO CULTIVADO Y ENMENDADO CON DIVERSOS MATERIALES PARA INCREMENTAR SU FERTILIDAD

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. En un suelo ácido y muy alterado (Plinthic Paleixerult) representativo de los suelos de raña del SurOeste de la Península Ibérica se han aplicado seis enmiendas distintas con el fin de incrementar su fertilidad natural. Como índice de la efectividad de las medidas correctoras aplicadas al suelo y de su evolución durante 1973 días se ha utilizado la medida de la actividad de los protones en unas suspensiones 1:2,5 suelo/agua. Como productos enmendantes se utilizaron: espumas de azucarería, caliza magnesiana y yeso. Todos los enmendantes, excepto el yeso cuando se aplica de forma aislada, incrementan el pH.

El máximo efecto de los encalantes se produce, en estas condiciones, a los 857 días después de su aplicación (dde). A partir de dicha fecha comienza un paulatino descenso, estimado en una primera aproximación en 0.3 unidades al año. Los efectos de la caliza magnesiana y de las espumas perduran al cabo de los 1973 días, siendo detectables los incrementos del pH causados en el epipedion y en el horizonte AB. En el horizonte más profundo (B_t), los resultados indican que solo el tratamiento con yeso alteró el pH; disminuyendolo significativamente hasta el muestreo del día 857. El yeso por su mayor solubilidad tiene unos efectos aparentemente más efímeros pero más profundos; tal como se esperaba.

El suelo natural, sin enmiendas, sometido a un cultivo continuo con abonados NPK, sin aporte alguno de Ca o Mg, apenas disminuye su pH a pesar de que a lo largo del periodo en estudio ha recibido 647 kg/ha de N en forma de fertilizantes nitrogenados inorgánicos, de los cuales un 50 % estaban en forma amónica. El efecto acidificante de estos abonos se contrarresta en gran medida con un mayor aporte de bases y materia orgánica procedentes de la mayor biomasa producida. Al cabo del periodo estudiado se ha producido un descenso en el pH del horizonte Ap evaluado en 0.54 unidades menor que el medido fuera del campo de ensayo en terrenos de pastos no alterados. El rango de variación de su pH oscilaba 1,29 unidades, con un Coeficiente de Variación del 8.8 %. Oscilación sólo igualada o superada por los cambios en los pH medios de las parcelas tratadas con caliza magnesiana (1,5 unidades). Los valores más estables se presentan en el tratamiento con espumas de azucarería.

La medición del pH en los suelos de raña constituye una

eficaz herramienta para evaluar y mantener las mejoras en la fertilidad de los suelos conseguidas con las enmiendas.

ABSTRACT. In an acid, highly meteorized soil (Plinthic Paleixerult) representative of the "raña" soils in the south west of the Iberian Peninsula, six different amendments were assayed in order to increase its natural fertility. As an index of the effectiveness of the corrective measures applied to the soil and to their evolution during 1973 days, the measurement of the proton activity in suspensions of 1:2.5 soil/water was used. Foam from sugar refineries, dolomite, gypsum, and dolomitic residues from converters were employed as amending products. All the amendments, except for gypsum when applied alone, increased the pH.

The maximum effect of the liming materials was produced, under these conditions, at 857 days after their application (dde). From that day on, a slow decrease began, estimated in a first approximation to be 0.3 units per year. The effects of the dolomites and the foam lasted until the end of 1973 days, the increases in the pH caused being detectable in the epipedon and in the AB horizon. In the deepest horizon (B_t), the results indicate that only the treatment with gypsum altered the pH, which significantly diminished up to the sampling on day 857. As was expected, the gypsum, due to its greater solubility, had apparently ephemeral effects, but these were deeper.

The natural non-amended soil, subjected to continuous cultivation with NPK fertilizers with no addition of any Ca or Mg, scarcely reduced its pH in spite of having received, throughout the study, 647 kg/ha of N in the form of inorganic nitrogenous fertilizers (50% of which were ammonium forms). The acidifying effect of these fertilizers was counteracted to a great extent by a greater contribution from bases and organic matter coming from the larger biomass produced. At the end of the studied period a lesser decrease occurred in the pH of the Ap horizon evaluated in 0.54 units than that measured outside the assay field in non modified pastureland. The range of its pH varied at 1.29 units, with a variation coefficient of 8.8%. A variation only equalled or exceeded by the changes in the mean pH of the plots treated with dolomites (1.5 units). The most stable values were shown in the treatment with sugar refinery foam.

The measurement of the pH in raña soils constitutes an effective tool to evaluate and maintain the improvements in the soils achieved by amendments.

1. Introducción

En el Sur Oeste de la Península Ibérica en las plataformas de las “rañas” son muy frecuentes unos suelos ácidos muy alterados (Plinthic Palexerults, Soil Survey Staff, 1999) Por su morfología llana han sido deforestadas y cultivadas intensamente en un pasado reciente. Hoy, la agricultura en estas superficies aparece en regresión a causa de los bajos rendimientos de los cultivos más frecuentes: cereales, olivar y viñedos. Sus pastos son magros y de baja calidad. Sin embargo, dada la climatología de la zona es posible incrementar notablemente el potencial productivo de las rañas si se identifican y corrigen la fitotoxicidad y deficiencias nutricionales presentes en sus suelos. La incorporación de caliza en el horizonte superficial es una eficaz medida para solucionar los problemas causados por los pH excesivamente ácidos; no obstante, sus efectos sobre la acidez de los horizontes subsuperficiales son muy limitados dada su escasa solubilidad (Pavan et al. 1984). Por ello, y a menos que se localice en profundidad este material, lo que resulta muy costoso, hay que recurrir al uso de otros materiales más solubles.

El yeso ($\text{SO}_4\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es una sal relativamente soluble que constituye una importante fuente de iones calcio y sulfato que apenas modifica el pH de los suelos y por tanto no altera las cargas variables de los mismos. Su empleo en los suelos ácidos está recomendado por sus beneficiosos efectos sobre la estructura y por su acción a favor de la neutralización de los efectos fitotóxicos del Al^{3+} en los horizontes subsuperficiales (Sumner et al., 1986; Sumner y Carter, 1988; Farina and Channon, 1988; Ritchey et al., 1995) aunque sus efectos solo son notorios en algunos suelos a largo plazo (Farina et al., 2000).

Con el fin de mejorar la fertilidad de los suelos de raña se estableció en el otoño de 1997 un ensayo de enmiendas mediante el uso de diversos productos enmendantes de fácil adquisición. Se han empleado caliza magnesiana, espumas de azucarería y yeso, solo o combinado con caliza magnesiana, como fuente de bases y correctores de la fitotoxicidad del Aluminio en su forma Al^{3+} .

El pH constituye quizás la medición más sencilla e informativa que se puede efectuar en los suelos; ya que nos proporciona valiosos datos sobre diversos aspectos; tales como su composición, génesis y fertilidad. En los suelos, la medición de la actividad de los protones hidratados (OH_3^+) en suspensiones coloidales suelo/agua o suelo/soluciones salinas por métodos electroquímicos presentan severas limitaciones. De acuerdo con Sposito (1989) estas medidas no tienen “significancia química” y por ello Bache (1979) prefiere hablar de: “Reacción del suelo”. A pesar de las mencionadas limitaciones, el pH constituye un índice muy útil no solo para describir las

propiedades del suelo sino para evaluar la intensidad y alcance de las medidas correctoras aplicadas al suelo.

El objetivo de este trabajo es comprobar si la medida del pH sirve como guía de la efectividad y duración de los cambios generados en el perfil del suelo con las enmiendas.

2. Material y métodos

2.1. Suelos

El ensayo se ha ubicado en la raña de Cañamero, relacionada con el macizo de Las Villuercas y situada entre las provincias de Cáceres y Badajoz. Pertenece esta formación al nivel más viejo descrito y su edad de acuerdo con Espejo (1986) es Plioceno medio-final.

En el Tabla 1 se proporcionan algunas características de la parte superior de su perfil. Entre ellas destacan el alto porcentaje de materia orgánica y gravilla del horizonte superficial. Los valores del pH son bajos, en especial en el horizonte Bt1. Otra propiedad de indudable repercusión agronómica es el incremento en el contenido en arcilla que se da entre el horizonte Ap con solo 5,8% de arcilla y el Bt que presenta un contenido del 32,4% de arcilla. En ambos casos la mayoría de la arcilla es caolinita (Espejo, 1978).

Tabla 1. Principales características del suelo de la raña de Cañamero utilizado en el ensayo con enmendantes.

Perfil cm	pH		M.O. %	Ac %	Al cmol/ Kg	V %	El gr >2mm %
	agua	0.01M ClCa					
Ap 0-18	5.07	4.28	3.88	5.8	0.93	9.3	32.5
AB 30-45	5.18	4.35	0.60	22.1	1.05	14.3	31
Bt1 45-70	4.67	4.12	0.39	23.7	2.07	19.0	23.7

En el horizonte Bt1, el elevado contenido en Al^{3+} (inhibidor del desarrollo radicular) unido a su estructura tendente a masiva en bloques subangulares convierten este horizonte en una barrera para el desarrollo de las raíces de las plantas que en las condiciones actuales apenas sí lo exploran.

2.2. Clima

El clima de la región es Mediterráneo templado con una pluviometría media de 783 mm en 13 años. En los últimos 6 años la lluvia media ha sido de 945 mm. Con una máxima de 1387 mm en la campaña 2000-2001 y una mínima de 585 mm en el año agrícola 1998-1999.

2.3. Diseño experimental

Para el seguimiento de los valores del pH en el suelo de raña enmendado se han elegido las parcelas de un ensayo establecido en 1987 con un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y cuyas parcelas elementales miden 5 x 7 metros cuadrados. Las parcelas han recibido a lo largo del ensayo un total de 647 kg/ha de nitrógeno (N), 121 kg/ha de fósforo (P) y 231 kg/ha de potasio (K) mediante fertilizantes inorgánicos, sin aporte alguno de calcio o magnesio. El suelo se sometió a los siguientes tratamientos:

- Control (O): suelo cultivado sin enmienda alguna.
- Caliza magnesiana (C): suelo que recibió al inicio del ensayo un encalado con 6,3 t/ha de dolomía pulverizada. Cantidad calculada para elevar el pH del suelo (>2 mm) a 6,3 en sus primeros 18 cm. El abonado NPK en este tratamiento y siguientes es similar al aplicado en el tratamiento control.
- Espumas (E): suelo enmendado con 7,4 t/ha de espumas de azucarería para elevar el pH a 6,3 en los primeros 18 cm de suelo.
- Yeso (Y): suelo que recibió mediante un aporte de 10,8 t/ha de yeso, una cantidad de calcio equivalente a la contenida en 6,3 t/ha de caliza pura.
- Caliza magnesiana + Yeso (CY): tratamiento consistente en incorporarse a los 18 primeros cm. de suelo a 3,8 t/ha de dolomías (60% del tratamiento C) y 1,7 t/ha de yeso que aportaba el calcio contenido en 1 t/ha de caliza pura.

2.4. Mediciones del pH

Las parcelas elementales del ensayo arriba descrito se han muestreado periódicamente a distintas profundidades para obtener muestras del horizonte Ap (0-18 cm) del horizonte AB (20-45 cm) y del BT (>45 cm). En cada parcela y profundidad se han obtenido con barrena de 6 cm de diámetro unas muestras compuestas de al menos dos puntos. Estas muestras secadas al aire y pasadas por el tamiz de 2 mm han servido para medir el pH electroquímicamente. Con un pHmetro marca CRISON y electrodo combinado de membrana de vidrio en suspensiones 1:2,5 suelo agua y suelo/solución 0,01M Cl_2Ca . Las mediciones se efectuaron en muestras duplicadas previa agitación con varilla de vidrio, reposo de 30 minutos y nueva agitación; tras esta última agitación se dejaba decantar la suspensión y el electrodo se situaba siempre en la misma posición relativa, aproximadamente a 0,5 cm del fondo de los vasos de 50 cc de forma alta utilizados para estos fines.

3. Resultados y discusión

3.1. Parcelas Control

El valor del pH medio de los horizontes Ap en las parcelas control no ha permanecido estable. A lo largo del periodo estudiado ha oscilado entre un máximo de 5,45 el 14 de Febrero de 2000, tras una larga etapa de reposo y

ausencia de fertilización nitrogenada y labores, y un mínimo de 4,16, medido el 9 de Mayo de 2002. La media de todas las mediciones es de 4,99 y su mediana es 5,08, valor que coincide con el pH del suelo al inicio del ensayo. El coeficiente de variación de las distintas mediciones del pH en el horizonte superficial no es muy elevado: (8,8%).

El valor mínimo, observado a los 1671 días después de la enmienda (dde), coincide con un descenso generalizado del pH en todos los tratamientos (Fig. 1). La causa de esta común disminución puede atribuirse a la ausencia de lluvias intensas en el periodo previo al muestreo y por tanto de lavado del perfil unido a una alta mineralización de la materia orgánica favorecida por unas adecuadas condiciones de humedad y temperaturas en el epipedion. En esta campaña 01-02, entre el abonado de fondo y el muestreo transcurrieron 176 días y se recogieron 374 mm de lluvia, equivalente a una media de 64 mm/mes. En cambio en la campaña anterior 00-01, entre el abonado de fondo y la toma de muestras pasaron 202 días y la lluvia medida fue de 1216 mm, con una media mensual de 181 mm/mes.

En el manejo de las parcelas control se ha evitado añadir calcio o magnesio con los abonos para exagerar así el efecto acidificante de los 647 Kg/ha de nitrógeno inorgánico –en su mitad en forma amónica- aportados con los fertilizantes. El resultado ha sido unos descensos puntuales y una ligera disminución del pH en los horizontes Ap y AB con el tiempo. Comparando el pH medio de las cuatro parcelas control a los 1973 dde con el existente en cuatro puntos adyacentes fuera del campo, en un suelo de pastos no alterado en este periodo, se observa que hay una significativa disminución de pH; que pasa de 5,51 en el suelo de pastos a 4,97 en las parcelas control. Un descenso de 0,54 unidades que equivale a una media de 0,1 unidades/año, descenso equivalente al obtenido al ajustar una recta de regresión a los valores medios medidos en campo a lo largo del ensayo.

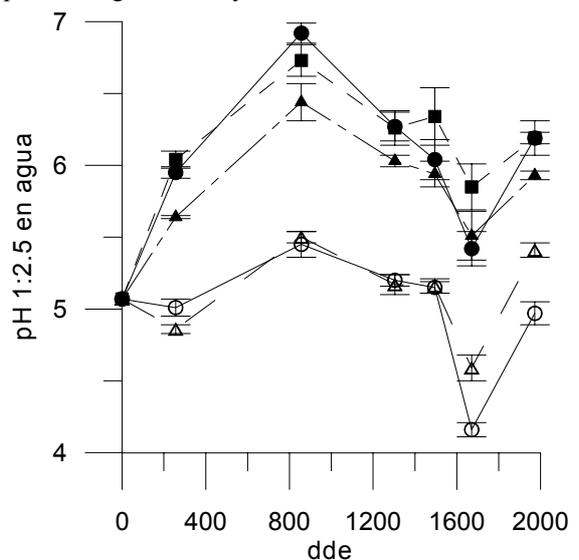


Fig. 1. Evolución del pH en el horizonte labrado (Ap) de un suelo de raña con diversas enmiendas. ○ parcelas control, ● caliza magnesiana, ■ espumas de azucarería, △ yeso y ▲ calizas magnesianas más yeso. Las barras representan \pm el error típico de cada medición.

3.2. Enmienda con caliza magnesiana

La incorporación mediante labores someras de la caliza magnesiana pulverizada (C) incrementó el pH del epipedión. El máximo se alcanza a los 857 dde para ir descendiendo suavemente después (Figs. 1 y 2). La media de todos los muestreos es de 6,13. Con una mediana de 6,12. Los valores extremos observados son: 5,42 y 6,92. Valor este último no recomendable y que evidencia la necesidad de corregir los cálculos referidos a la tierra fina con el porcentaje de elementos gruesos.

Ajustando una recta de regresión a los valores de pH obtenidos a partir del valor máximo se obtiene un descenso medio equivalente a 0.3 unidades por año.

Tabla 2. Efectos sobre el pH de los materiales enmendantes incorporados al horizonte labrado (Ap). O control, E espumas de azucarería, C dolomía, Y yeso y CY dolomía+yeso.

Trat	días después enmienda (dde)					
	256	857	1304	1495	1671	1973
O	5.01	5.45	5.20	5.15	4.16	4.97
E	6.04	6.73	6.26	6.34	5.85	6.19
C	5.95	6.92	6.27	6.04	5.42	6.19
Y	4.86	5.5	5.17	5.16	4.59	5.41
CY	5.64	6.44	6.03	5.94	5.51	5.93
mds	0.24	0.26	0.30	0.34	0.36	0.20
5%						
n	4	4	4	4	4	4

Numerosas son las referencias al limitado efecto de las enmiendas calizas dentro del perfil del suelo. En este ultisol los efectos del encalado superficial se han observado en el horizonte AB a los 256 días.

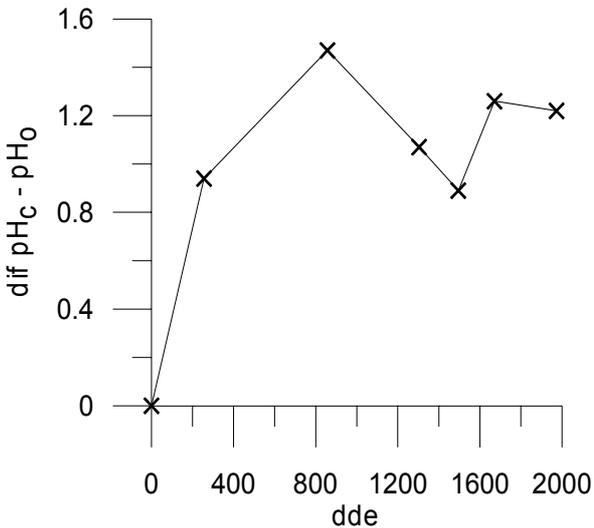


Fig. 2. Evolución de las diferencias entre el pH del horizonte Ap encalado con caliza magnesiana y el medido en las parcelas control

No hay incrementos significativos detectables mediante la medición del pH en muestreos posteriores, con la excepción del realizado a los 1671 dde.

En el horizonte argílico situado normalmente a más de 45 cm y cuya enmienda tanto interesa desde el punto de vista agronómico, no se encuentran diferencias significativas entre el pH del Bt1 control y el medido en el Bt1 de las parcelas encaladas con caliza magnesiana (Tabla 3).

3.3. Enmienda con Espumas

Las Espumas de azucarería se comportan con respecto a la corrección de la acidez del suelo de forma similar a la caliza magnesiana. Su efecto máximo, y por tanto los valores del pH más altos, se alcanzan a los 857 dde para disminuir después paulatinamente de forma más lenta que las dolomías (Fig. 1)

En el epipedión, el pH permanece durante todo el ensayo significativamente mayor que el medido en la parcela control, al igual que sucede con la enmienda dolomítica. Los valores medios del pH han oscilado entre 6,45 y 5,85 con una media de 6,24 y una mediana de 6,23 y con coeficiente de variación de 4,8%.

El horizonte AB incrementa significativamente su pH a los 256 dde. Diferencia que no es detectable en el muestreo siguiente, a los 857 dde y posteriores, aunque a los 1671 dde vuelve a observarse unos significativos valores más altos.

Los efectos enalantes de las espumas no alcanzan el horizonte argílico Bt1.

Tabla 3. Efectos de los materiales enmendantes incorporados al horizonte labrado sobre el pH de los horizontes subsuperficiales: AB y Bt1. O control, E espumas de azucarería, C dolomía, Y yeso y CY dolomía+yeso.

Trat.	días después enmienda (dde)					
	256	AB			Bt1	
		857	1671	256	857	1671
O	4.86	4.94	4.30	4.90	4.98	4.45
E	5.14	4.97	4.89	5.04	4.97	4.57
C	5.26	5.05	4.76	5.09	5.05	4.58
Y	4.64	4.73	4.58	4.59	4.71	4.58
CY	4.93	4.79	4.84	4.78	4.74	4.54
mds 5%	0.22	0.14	0.23	0.20	0.15	NA
n	4	4	4	4	4	4

3.4. Enmienda con Yeso

A partir de los trabajos iniciados por Sumner (1970) y Reeve y Sumner (1972) el uso del yeso como mejorante de suelos ácidos ha sido frecuente, en especial en Sudáfrica, Estados Unidos y Brasil. Países con extensas superficies ocupadas por suelos muy meteorizados: oxisoles y ultisoles, con un subsuelo muy ácido que limita las producciones agrícolas. El yeso (SO₄Ca.2H₂O) por su composición, solubilidad y su escaso o nulo efecto sobre el pH parece ser el material más indicado para corregir el exceso de Al y la falta de Calcio en los horizontes subsuperficiales. Algunos autores han observado, no obstante, descensos en el pH del suelo como consecuencia de la adición de yeso al epipedión. En otros casos se han señalado incrementos en el pH debidos a la incorporación del yeso. Para Farina y Channon (1988) estas contradictorias reacciones al yeso apenas si son detectables

cuando el pH se mide en una suspensión suelo/electrolito.

En el caso del ultisol plinthico de la raña de Cañamero enmendado con yeso, observamos que el pH en el epipedión de las parcelas enyesadas no difiere de las control en casi todo el ensayo. Solo en la última medición se aprecia una significativa mayor acidez en las parcelas no enmendadas (Tabla 2).

El efecto del yeso en los horizontes subsuperficiales es rápido y profundo (Tabla 3). A los 256 días el pH del horizonte AB es similar al de las parcelas control e inferior a las enmendadas con calizas magnesianas o espumas. A los 857 días el pH es ya significativamente inferior al resto de las enmiendas y al control. En el horizonte Bt1, los descensos originados por el yeso en el pH a los 256 dde son significativamente diferentes a los medidos en las parcelas control, con espumas o con caliza magnesiana. En ambos horizontes estas diferencias desaparecen a los 1671 dde. Lo que prueba el carácter efímero de los efectos del yeso sobre el pH en las condiciones del ensayo. Shainberg et al. (1989) describió efectos que duran seis años y Toma et al. (1999) encontró incrementos en el calcio de los subhorizontes de un ultisol al cabo de los 16 años de su adición.

Las diferencias con el pH de las parcelas control oscilaban entre las 0,19 y 0,31 unidades. Lo que indica un predominio de los iones Al^{3+} e H^+ intercambiables por Ca^{2+} sobre el OH^- desplazado por los aniones SO_4^- adsorbidos por el suelo.

En el epipedión el valor medio de todo el ensayo es de 5,12 y el pH ha oscilado entre 4,59 y 5,5 con una media de 5,17 y un coeficiente de variación del 6,7%.

3.5. Enmienda caliza magnesiana y yeso

La aplicación conjunta de calizas y yesos está recomendada porque facilita el desplazamiento de los iones sulfato (SO_4^-) en profundidad (Shainberg et al, 1989) al reducirse su adsorción en el horizonte superior de los suelos altamente alterados (Espejo et al., 1999).

El pH del horizonte donde se incorporó la mezcla mediante labores permanece durante todo el ensayo con valores mayores que en las parcelas control o tratadas con yeso. La evolución de sus valores es similar al experimentado por las parcelas con espumas o calizas magnesianas. Aunque sus valores, de acuerdo con la cantidad de caliza aplicada en este tratamiento, son menores. La media de todas las determinaciones es 5,92 y su mediana 5,94, con un máximo a los 857 dde de 6,44 y un mínimo de 5,51 a los 1671 dde y un coeficiente de variación del 5,5%.

En los horizontes subsuperficiales su comportamiento es similar al yeso y produce los mismos descensos moderados a los 256 y 857 dde. No encontrándose diferencias significativas con el control a los 1671 dde.

3.6. Oscilaciones del pH

El pH del horizonte superficial del campo de ensayo ha experimentado a lo largo del período estudiado grandes

fluctuaciones. En el caso de las parcelas control, donde el suelo solo se ha labrado y abonado, el pH osciló en un rango de 1.29 unidades. El día 1671 dde (8-V-2002) se detectó un intenso descenso en todos los tratamientos. Entre los muchos factores que han podido influir en el citado descenso deben destacarse la ausencia de grandes lluvias (y lixiviados) en los doce meses precedentes unidos a dos aportes de fertilizantes amoniacales que sumaron 160 unidades de N, y a una humedad y temperatura del perfil – en especial los meses de Enero, febrero y marzo del 2002 muy adecuados para favorecer la mineralización de la materia orgánica.

4. Conclusiones

La enmienda con caliza magnesiana y con espumas de azucarería necesitan un largo periodo para ejercer su máximo efecto. En las condiciones del ensayo de campo imperantes en el ultisol plinthico de la raña de Cañamero los valores más altos del pH se han detectado en el horizonte superficial a los 857 dde. Una vez alcanzado el valor máximo, el pH de estos suelos inicia un paulatino descenso que se puede estimar en una media de 0,3 unidades al año para los suelos con caliza magnesiana. Las espumas presentan similar tendencia descendente, aunque las oscilaciones y el descenso de su pH son algo menores.

El yeso no modifica el pH del horizonte superficial o de laboreo. Solo al final del periodo estudiado, a los 1973 dde se observa en las parcelas enyesadas un pH medio más alto que en las parcelas control.

El efecto en profundidad del yeso es inmediato. Tal como indican los significativos descensos encontrados a los 256 dde en el pH del horizonte Bt1. Estos efectos son efímeros pues a los 1304 dde ya no es posible detectar diferencias entre el pH de los suelos control y los tratados con yeso.

El suelo natural o control, sometido a un continuo cultivo ha recibido a lo largo del ensayo 647 Kg/ha de N en forma de fertilizantes nitrogenados inorgánicos, la mitad en forma amónica y ninguna cantidad de calcio o magnesio. El pH del horizonte Ap solo ha descendido en los 1973 dde 0,54 unidades de pH con respecto a los suelos adyacentes no cultivados ni pastados, lo que equivale a un descenso medio de 0,1 unidad/año.

El pH del horizonte superficial ha sufrido en el período estudiado grandes fluctuaciones. En el caso del suelo control presentan un rango de 1.29 unidades.

El seguimiento de las variaciones del pH en los diversos tratamientos nos muestra que la medición del pH en los suelos de raña constituye una eficaz herramienta para evaluar y mantener las mejoras en la fertilidad de los suelos corregidos con las enmiendas.

Agradecimientos. Los autores agradecen al MCYT por la financiación de los proyectos AGF99-0828 y AGL2002-04545 y la valiosa y desinteresada colaboración de Don Matías y Don Felipe Rodríguez Pazos que han hecho posible esta investigación.

Referencias

- Bache, B. W. 1979. Soil Reaction. en Encyclopedia of Soil Science. Part I. Fairbridge R. W. y Finkl C. W. Editores, Dowden, Hutchinson & Ross Inc. Pennsylvania: 487-492.
- Espejo, R. 1978. Estudio del perfil edáfico y caracterización de las superficies tipo raña del sector Cañamero-Horcajo de los Montes. Tesis Doctoral. E.T.S.I.A. Madrid.
- Espejo, R. 1986. Procesos edafogénicos y edad de las formaciones tipo raña relacionados con las estribaciones meridionales de los Montes de Toledo. *An. Edaf. Agrobiol.* XLV; 655-680.
- Espejo, R, J. Santano y P. González. 1999. Soil Properties that Affect Sulphate Adsorption by Paleixerults in Western and Central Spain. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 30: 1521-1530.
- Farina, M.P.W., y P. Channon. 1988. Acid-subsoil amelioration II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:175-180.
- Farina, M.P.W., P. Channon y G.R. Thibaud. 2000. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity. I. Long-term growth effects.
- Pavan, M.A., F.T. Bingham y P.F. Pratt. 1984. Redistribution of Exchangeable Calcium, Magnesium and Aluminum Following Lime or Gypsum Applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 33-38.
- Reeve, N. G. y Sumner, M.E. 1972. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching surface applied amendments. *Agrochemophysica* 4: 1-6.
- Ritchey, K.D., D.M.G. Sousa, C.M. Feldhake, and R.B. Clark. 1995. Improved water and nutrient uptake from subsurface layers of gypsum-amended soils. pp. 157-181. In: D.L. Karlen et al. (eds.). *Agricultural Utilization of Urban and Industrial By-products*. ASA Spec. Publ. 58. *American Society of Agronomy*, Madison, WI.
- 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. *Advances in Soil Sci.* 9: 2-111.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. USDA handbook 436. U. S. Govern. Printing Office. Washington.
- Sposito, G. 1989. *The Chemistry of Soils*. Oxford Univ. Press. New York. 277 pp.
- Sumner, M.E. 1970. Aluminum toxicity-A growth limiting factor in some Natal sands. *Proc. S. Afr. Sugar. Technol. Assoc.* 44: 197-203.
- Sumner, M.E. and Carter, E. 1988. Amelioration of subsoil acidity. *Commun. In Soil Sci. Plant Anal.* 19: 1309-1318.
- Sumner, M.E., H. Shahandeh, J. Bouton, and J. Hammel, 1986. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1254-1258.
- Toma, M., Sumner, M. E., Weeks, G. y Saigusa, M. 1999. Long-term Effects of Gypsum on Crop Yield and Subsoil Chemical Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 39: 891-895.