Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, (Nº 2.), pp. 49-58

RELACIONES CANTIDAD-INTENSIDAD DE POTASIO EN FLUVISOLES CALCARICOS DEL SECTOR MERIDIONAL DE LA VEGA ALTA DEL SEGURA (MURCIA).

PURIFICACIÓN LINARES MORENO, LUIS J. ALÍAS PÉREZ y PURA MARÍN SANLEANDRO.

Dpto. Química Agrícola, Geología y Edafología. Facultad de Químicas. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo. 30100 MURCIA.

Abstract: The quantity-intensity relationships and the potassium availability parameters deduced from them for the Ap horizons of fourteen calcaric Fluvisol profiles are studied.

The equilibrium activity ratio for potassium, AR_e^k, shows values (0.003 to 0.036 (mol $L^{-1})^{1/2}$) always higher than the minimum level necessary for soil to supply potassium for a healthy growth of plants, although the total labile potassium amount, DK_L, is rather low (0.39 to 1.80 $cmol_c\ kg^{-1}$) and is distributed almost in equal shares between the more easily exchangeable labile potassium, DK^o, ranging from 0.158 to 1.502 $cmol_c\ kg^{-1}$, and the specific potassium sites, DK_x (0.03 to 1.22 $cmol_c\ kg^{-1}$). These parameters are higher in Ap1 than in Ap2, perhaps as a consequence of potassium fertilization; AR_e^k and DK^o correlate well with the available potassium forms.

Potential buffering capacity for potassium, PBC^k, changes within a wide range (16.5 to 140.3 $cmol_c\ kg^{-1}/(mol\ L^{-1})^{1/2}$), usually is lower in Ap1 than in Ap2 (44.1 and 56.8, respectively) and correlates well with the cation exchange capacity but better with clay content and its main mineralogical components.

Key words: potassium, availability, Q/I relationships, Fluvisol.

Resumen: Se estudian las relaciones cantidad-intensidad y los parámetros de disponibilidad de potasio deducidos a partir de ellas en los horizontes Ap de catorce perfiles de Fluvisoles calcáricos.

AR_e^k presenta valores (0.003 a 0.036 (mol $L^{-1})^{1/2}$ siempre mayores que el mínimo necesario para una adecuada nutrición potásica de las plantas, si bien la cantidad total de potasio lábil, DK_L, es más bien baja (0.39 a 1.80 $cmol_c\ kg^{-1}$) y se distribuye casi por igual entre el potasio lábil más fácilmente cambiable, DK^o, de 0.158 a 1.502 $cmol_c\ kg^{-1}$ y el potasio lábil de posiciones específicas, DK_x (0.03 a 1.22 $cmol_c\ kg^{-1}$). Estos parámetros son más altos en Ap1 que en Ap2, probablemente como consecuencia del aporte de fertilizantes potásicos y son buenas las correlaciones entre AR_e^k e DK^o con el contenido en las formas de potasio utilizables por las plantas. Los suelos poseen una capacidad de tamponación de potasio, PBC^k, muy variable (16.5 a 140.3 $cmol_c\ kg^{-1}/(mol\ L^{-1})$-), que suele ser mayor en Ap2 que en Ap1 (56.8 y 44.1 $cmol_c\ kg^{-1}/(mol\ L^{-1})^{1/2}$, respectivamente), se correlaciona bien con la capacidad de cambio catiónico y mejor con el contenido en arcilla y sus componentes mineralógicos principales.

Palabras clave: potasio, disponibilidad, relaciones Q/I, Fluvisol.

imponen una marcada marginalidad y abandono de estas tierras de cultivo.

Los residuos de espumas de azucarería presentan una notable riqueza de calcio que los configura en potenciales materiales correctores o encalantes de estos suelos de cultivo. Por otra parte, estos residuos agroindustriales, procedentes de la floculación de las sustancias no azucaradas del jugo extraido por aplicación de lechadas de cal o defecación, generan problemas de almacenamiento durante la campaña de trabajo invernal de las fábricas que resulta preciso solventar.

En este trabajo se analiza y compara la eficiencia encalante de la utilización de las espumas de azucarera de las fábricas de Veguellina de Órbigo (León), frente a dos tradicionales productos encalantes: la caliza y el yeso.

Se ha trabajado bajo condiciones de laboratorio (20° C de temperatura media) con un suelo ácido de las rañas pliocenas del lugar denominado Valleiglesia, situado a una altitud de 1.169 m, y municipio de La Robla, León (lat. 4738,5 N UTM y Long. 286,0 W UTM). El encajamiento fluvial ha fosilizado a estas superficies de erosión a una altitud de 250 m sobre el cauce actual.

La precipitación media anual es de 744 mm y la temperatura media anual de 10,3 °C. En la tabla n°1 se presenta un resumen del balace de humedad de Thornthwaite (M.A.P.A., 1998), así como los principales índices y la clasificación climática.

El régimen de temperatura del suelo es mésico y el de humedad xérico.

MATERIAL Y METODOS

El suelo de estudio es un Palexerult Aquic con marcados síntomas de hidromorfía y deficiente drenaje. Los horizontes A y AB, previamente secados al aire y tamizados a 2,0 mm, se reprodujeron en columnas de metacrilato de 9,20 cm de diámetro interior. Sólamente el horizonte A del suelo fue objeto de corrección de la acidez con tres productos encalantes diferentes: caliza, espumas de azucarera y roca de yeso, todos ellos íntimamente incorporados al horizonte A, una vez tamizados a 0,25 mm.

Los ensayos se prolongaron durante cinco meses, realizándose dos repeticiones por tratamiento, además de las dos columnas control o testigo. Durante este periodo de tiempo se reprodujo la precipitación media mensual de los cinco meses comprendidos entre noviembre y marzo, mediante simulaciones de lluvia diaria de 2,80 mm. En el último percolado semanal se analizaban la conductividad eléctrica y pH, así como el calcio, magnesio, sodio, potasio y amonio por electroforesis capilar.

Además de la caracterización general del suelo por medio del análisis textural (escala USDA), se determinó el contenido de materia orgánica mediante digestión húmeda (Walkley y Black, 1934), contenido de nitrógeno total (Kjeldahl) y el pH en agua y ClK 0,1 N (en ambos casos suspensión suelo/agua 1:2,5). La capacidad de intercambio catiónico se determinó con $AcONH_4$ 1 N a pH 7, según el procedimiento de Peech(1947). Las bases de cambio se

Tabla n°1. Clasificación climática de C.W. Thornthwaite. Estación de La Robla (León)

Obser	Exceso medio anual (mm)	Falta media anual (mm)	E.T.P media anual (mm)	Ih	Ia	Im	% E.T.P verano	Clima
La Robla	259	217	702	36.9	30.9	18.4	51.0	$C_2sB'_1b'y$

extrajeron con la solución anterior y la determinación fué realizada por absorción atómica. Además de lo anterior, los cationes cambiables se extrajeron con una solución de Cl_2Ba 0,6 N (Mehlich, 1976). El contenido de fósforo asimilable se estimó mediante el método de Olsen(1954). Los contenidos asimilables de Fe, Mn, Cu y Zn se extrajeron mediante solución de DTPA (Lindsay y Norwell, 1978) y se determinaron todos ellos por absorción atómica. Finalmente, el contenido total de estos cuatro oligoelementos en los tres productos empleados en los tratamientos se determinó, previo ataque de ácido nítrico y perclórico, por absorción atómica.

El cálculo de la dosis teórica de encalado en base a la reducción deseada de saturación efectiva en aluminio($\%V_eAl$) del complejo de cambio, se realizó aplicando la fórmula Cochrane(1980).

RESULTADOS Y DISCUSION

La caracterización general del suelo de estudio queda reflejada en las tablas nº 2, 3 y 4.

Por otra parte, en la tabla nº 5 se presentan

Tabla nº2. Caracterización general del suelo.

Hor	Prof (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla(%)	M.O. (%)	pH_{H2O} 1:2.5	pH_{ClK} 1:2.5	C/N
A	0-20	53.7	27.3	18.0	3.62	5.3	4.2	19.0
AB	20-50	48.6	28.9	24.0	0.5	4.9	3.8	6.8
B_{tg}	>50	39.4	26.5	34.2	0.58	4.5	3.6	6.6

Tabla nº3. Caracterización general del suelo(continuación), cationes de cambio extraidos con Cl_2Ba 0,6 N (cmol(+)/kg), P y K asimilables (mg/kg)

Hor	Al	Ca	Mg	K	Na	V_eAl (%)	P asim	K asim
A	1.63	1.86	0.08	0.10	0.08	43.5	9	39
AB	1.51	0.64	0.04	0.08	0.09	63.9	<1	31
B_{tg}	3.84	2.49	0.60	0.12	0.16	53.3	<1	47

Tabla nº4. Capacidad de intercabio catiónico y bases de cambio mediante $AcONH_4$ pH 7 (cmol(+)/kg)

Hor.	C.I.C.	Ca	Mg	Na	K	V (%)
A	6.91	1.25	0.25	0.03	0.08	23.3
AB	6.70	0.20	0.20	0.03	0.07	7.5
B_{tg}	7.22	0.70	0.40	0.04	0.08	16.9

los resultados correspondientes al análisis de oligoelementos asimilables (DTPA) de los tres horizontes del suelo, así como los correspondientes elementos totales obtenidos mediante ataque de ácido nítrico y perclórico de los tres productos encalantes utilizados.

Con relación a estos primeros resultados cabe destacar, en primer lugar que, como suelos ácidos saturados en Al^{+3}, las diferencias encontradas en pH_{H2O}-pH_{ClK} resultan ser siempre superiores a 1. Por otra parte, la elevada saturación de aluminio que presenta el complejo de cambio, supera ampliamente el nivel del 20% que es el umbral que se establece como deseable después de la corrección, y que no resulta ser fitotóxico para la mayoría de las especies de cultivo(Mombiela, 1984). Por otra parte, el método del $AcONH_4$, aunque poco adecuado para este tipo de suelos por el aumento que se experimenta de carga negativa dependiente del pH, prueba de igual modo la reducida saturación en bases de cambio existente. De igual modo, los contenidos de fósforo y potasio asimilables caen en el rango de baja y muy baja disponibilidad respectivamente.

En relación con el contenido de oligoelementos, el cinc se encuentra como deficiente y, entre marginal y deficiente el cobre, resultando ricos los contenidos encontrados de hierro y de manganeso.

De acuerdo con la fórmula de Cochrane, para un V_cAl final y deseable del 20% y considerando un factor de 2 para cultivos sensibles la dosis final calculada fue de 2,32 T/ha de CO_3Ca. El contenido de Ca^{+2} total en los materiales encalantes empleados resultó ser: 370.000 mg/kg en la espuma(riqueza del 92,5% en CO_3Ca), 349.000 mg/kg en la caliza(riqueza del 87,3%) y 76.750 mg/kg en la roca de yeso(riqueza del 19,2%), lo que justificó, según el tipo de tratamiento, la incorporación de 1,77 g de caliza en el horizonte A de cada columna; 1,66 g de espuma o 8,03 g roca de yeso.

Al finalizar la prueba, se muestrearon las profundidades comprendidas entre los 7-14 cm (muestra A2) del horizonte A y los intervalos comprendidos entre 21-28 cm (muestra AB4) y 35-42 cm(muestra AB6) correspondientes estas dos últimas al horizonte de transición AB.

En la tabla nº 6 se recogen los valores de Al inicial y final, así como la eficacia encalante de cada uno de los materiales, expresándose ésta por medio de la relación de cmol(+) de Al^{+3} desplazados por cmol(+)de Ca^{+2} incorporado al suelo.

Estos resultados junto con los valores de

Tabla nº5. Elementos asimilables(DTPA) del suelo y elementos totales de los materiales correctores empleados(mg/kg)

Horizonte	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
A	88	9	0.58	0.1
AB	22	4	0.22	0.1
Btg	26	3	0.36	0.1
Producto	**Fe total (mg/kg)**	**Mn total (mg/kg)**	**Cu total (mg/kg)**	**Zn total (mg/kg)**
Espuma	3925	335	<3	16
Caliza	9920	442	<3	12
Roca de yeso	5965	81	<3	8

pH en ClK finales prueban un incremento de 1,04 unidades de pH en la muestra A2 y 0,10 en el AB4 en el caso de la utilización de espumas, frente a incrementos de pH de 0,92 unidades en el A2 y de 0,32 en el AB4 cuando se encaló con caliza comercial. Estos resultados prueban una mayor eficiencia encalante de las espumas en la zona superficial, alcazándose en la muestra A2 un desplazamiento de 1,35 cmol(+) de Al por cmol(+) de Ca aplicado y 0,0 en la AB4, cuando se compara con un efecto más en profundidad de la caliza que logra 1,17 cmol(+) de Al por cmol(+) de Ca en la capa A2 y 0,32 en la AB4.

Con relación a los resultados de P final de la muestra A2, en todos los tratamientos se obtuvieron valores inferiores a los 9,0 mg/kg iniciales. Todo hace pensar que el aumento de pH incrementa la precipitación de los compuestos hidroxialumínicos cargados positivamente, favoreciéndose de esta manera una mayor adsorción de los fosfatos(Santano, 1995)

Los análisis de los percolados muestran, como resultado del desplazamiento del Al^{+3} del complejo de cambio, una acidifiación progresiva y conjunta de todos los lixiviados (figura nº1), más acentuada como es lógico en las columnas tratadas con roca de yeso, hasta aproximadamente dos meses después del inicio del ensayo(percolado nº19, pH=4,0), a partir del cual empiezan a remontar todos aquellos valores.

Simultáneamente, la CE de los percolados se incrementa de forma progresiva también hasta el percolado nº19, decreciendo hacia el final de la prueba. Dada la mayor solubilidad del yeso frente a la caliza y espuma, mientras que en estos dos últimos tratamientos no se superan valores de 0,3 dS/cm, en las columnas de yeso se alcanzan los valores propios, correspondientes al máximo de solubilidad(30 meq/L), lo que corresponde aproximadamente a los 2,5 dS/m registrados. Por esta misma razón, en las columnas tratadas con yeso los percolados alcanzan las máximas concentraciones de calcio(360 mg/L), de magnesio(45 mg/L), amonio(23 mg/L), sodio(12 mg/L) y potasio.

Los resultados correspondientes a la capacidad efectiva de cambio (Cl_2Ba 0,6N) se representan en la figura nº2. En ésta cabe destacar la mejora que experimenta el porcentaje de saturación de alumnio medio final (V_eAlmf) corres-

Tabla nº6. Eficacia encalante de los materiales.

Producto	Muestra	Al inicial	Al medio final	cmol(+)Al/ cmol(+)Ca
Caliza	A2	1.63	0.70	1.17
Caliza	AB4	1.51	1.125	0.32
Caliza	AB6	1.51	1.81	0.00
Espuma	A2	1.63	0.56	1.35
Espuma	AB4	1.51	1.53	0.00
Espuma	AB6	1.51	1.81	0.00
Roca yeso	A2	1.63	1.25	0.48
Roca yeso	AB4	1.51	1.67	0.00
Roca yeso	AB6	1.51	1.67	0.00

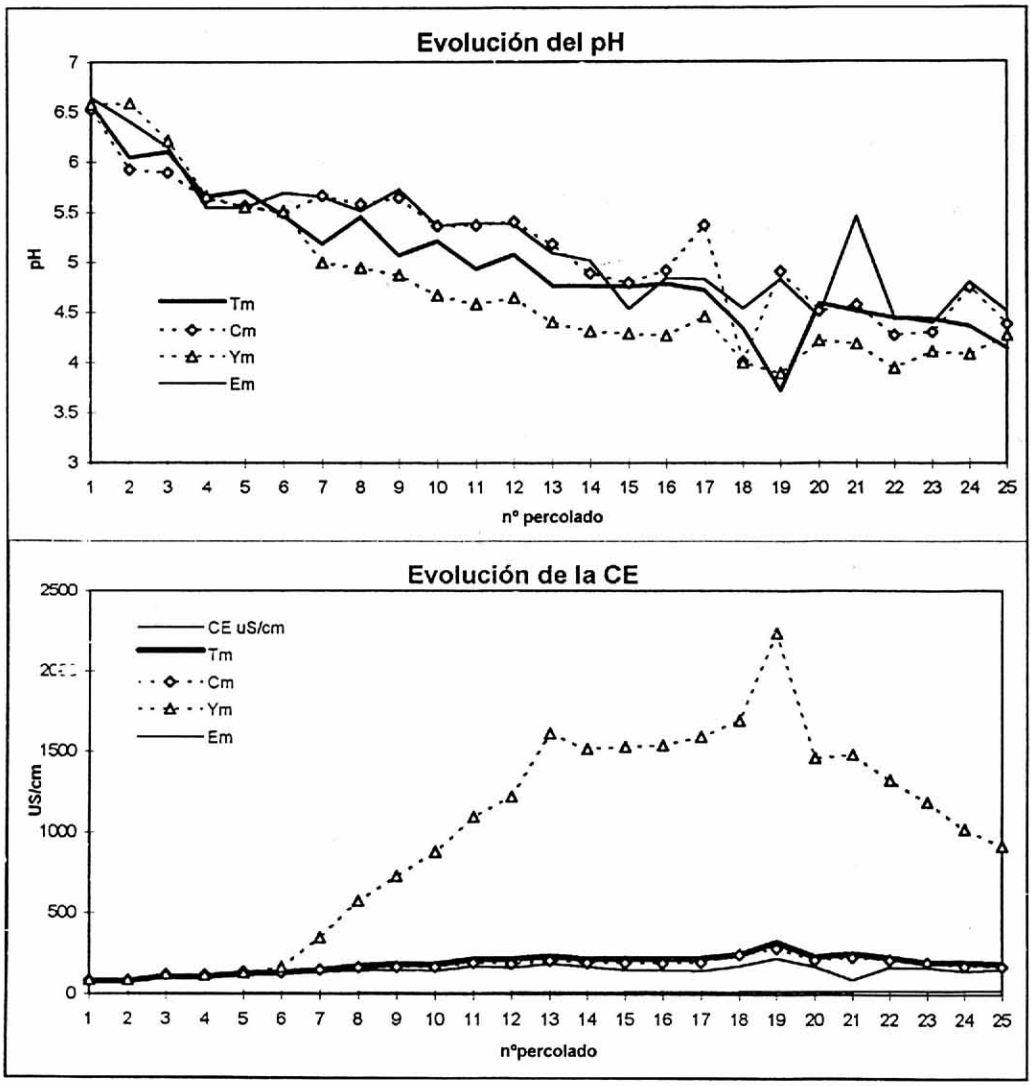

Figura 1. Evolución de la CE y pH de los percolados.

pondiente a la media de las dos columnas de cada tratamiento con relación a las del testigo(V_eAlmf-V_eAlTmf). Estos resultados corroboran el mayor rendimiento encalante y superficial de la espuma, deducido anteriormente. Como consecuencia de lo anterior, se comprueba también el mayor incremento superficial del pH en ClK que genera la espuma frente a la caliza, resultando mínimo en el caso del yeso. Sin embargo, la variación entre contenidos finales e iniciales de Ca resulta mayor en el caso de la aplicación de la roca de yeso, mientras que en el caso del magnesio resulta más enriquecedor la espuma. Finalmente, la satuación media y final de calcio y de magnesio con relación a la CIC_e resulta también superior en el caso de la corrección con espumas, debido probablemente al propio contenido de $(OH)_2Ca+CO_3Mg$ que presenta este último material, que aunque bajo, incrementa

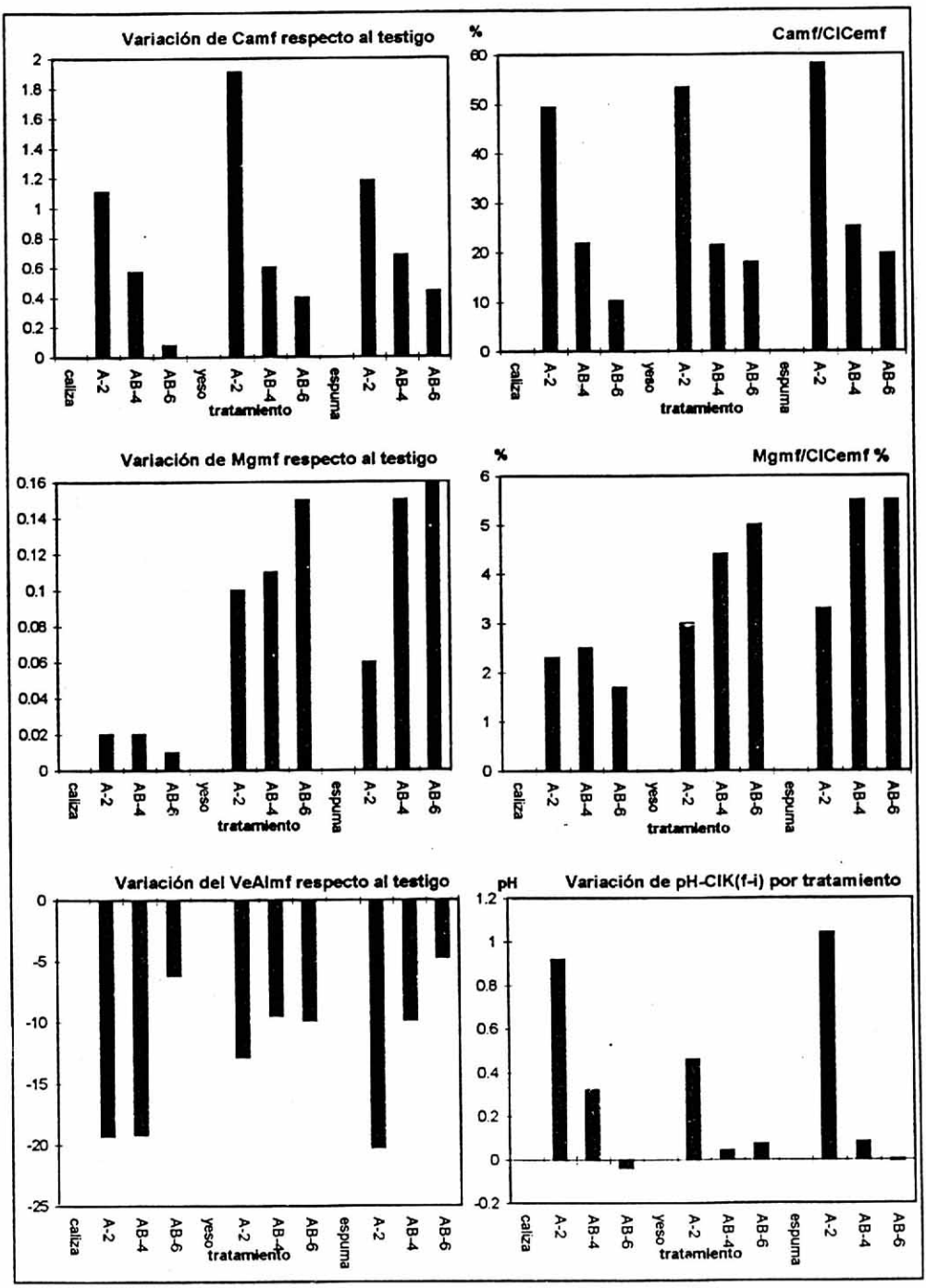

Figura 2. Valoración de VcAl, Ca y Mg medios y finales con relación al testigo. Porcentaje de saturación de Ca y Mg. Incrementos de pH en ClK.

el aporte de bases por unidad de peso de carbonatos(Santano, 1995)

En la figura nº3 se presentan las variaciones, con relación al testigo, entre los valores medios y finales correspondiente a los cuatro oligoelentos estudiados bajo el efecto de los tres tratamientos. Cabe destacar de estos resultados que, salvo en el caso del cobre en el que se experimenta siempre un enriquecimiento, los tres tratamientos, como consecuencia directa del incremento del pH, inducen una reducción en la disponibilidad del cinc, hierro y manganeso, a excepción de las espumas que incrementan los contenidos de estos dos últimos elementos en la muestra superficial A2.

Finalmente, en la tabla nº7 se presentan las ecuaciones de correlación obtenidas entre el conjunto de todos los valores de V_cAl medio final, y los contenidos finales medios de Al, Ca, Mg y CIC_c, correspondientes a los tres tratamientos, incluido el valor medio de las columnas testigo. También se recogen las

Figura 3. Variación de Fe, Mn, Cu y Zn medios finales respecto al testigo.

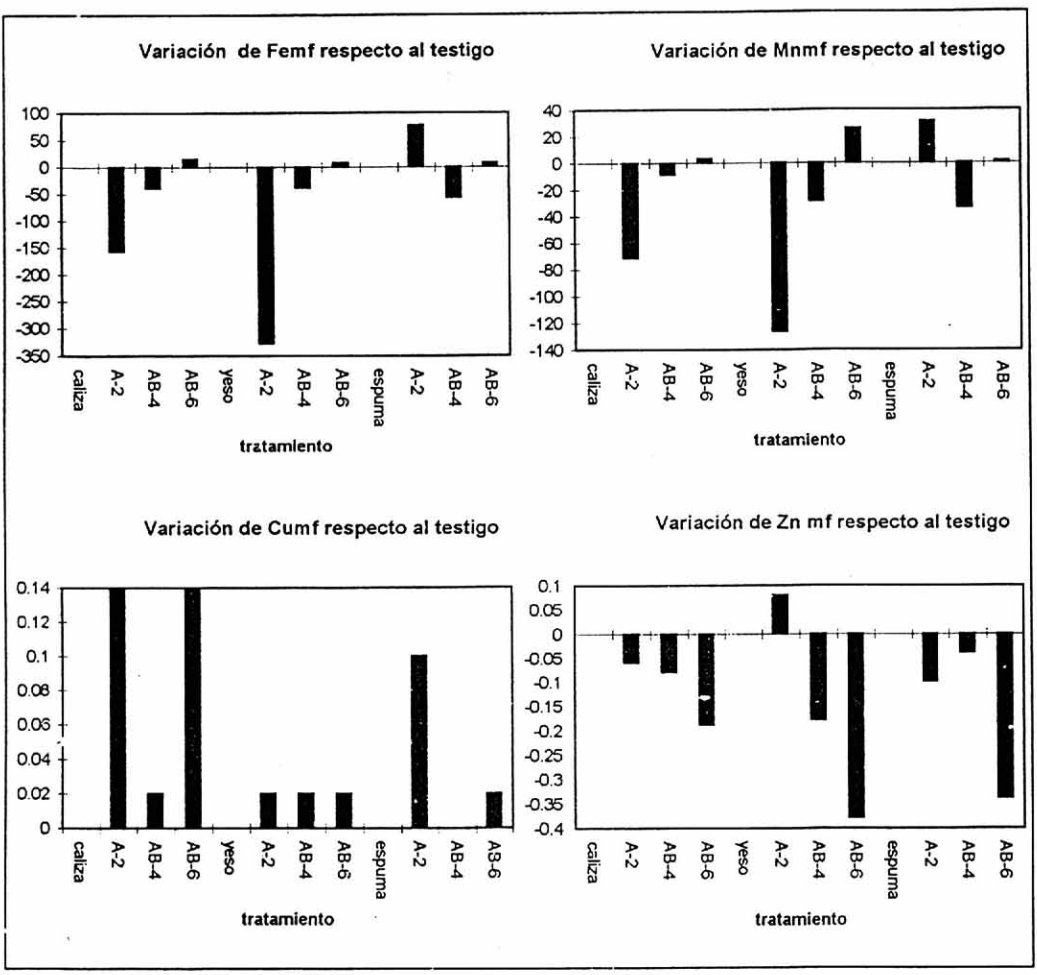

Tabla nº 7. Corrrelaciones obtenidas.

Correlación	Ecuación	r^2
V_eAlmf - Almf	$y = 0.51 * 10^{0.01x}$	0.88
V_eAlmf - ClC_emf	$y = 5.65 * 10^{-0.001x}$	0.37
V_eAlmf - Camf	$y = 6.58 * 10^{-0.02x}$	0.85
V_eAlmf - $pH_{ClK}mf$	$y = 5.74 * 10^{-0.001x}$	0.89
V_eAlmf - $pH_{H2O}mf$	$y = 6.24 * 10^{-0.001x}$	0.59
(V_eAlmf - V_eAlTmf) - ΔpH_{ClK}	y = - 0.44 - 0.06x	0.76
(V_eAlmf - V_eAlTmf) - ΔpH_{H2O}	y = - 0.59 - 0.06x	0.64

correlaciones finales entre V_eAl medio final y los valores de pH en agua y ClK medios finales, así como la correlación establecida entre (V_eAlmf-V_eAlTmf) y los incrementos correspondientes de pH.

CONCLUSIONES

De las pruebas de encalado de un suelo ácido de las rañas del N de la provincia de León, y bajo condiciones de laboratorio, con espumas de azucarería, caliza y roca de yeso, se concluye que las espumas residuales de las azucarerías resultan más eficientes en el aumento del pH-ClK del suelo y en el desplazamiento del Al de cambio en la zona superficial comprendida entre los 7-14 cm. Por todo ello, con la aplicación de estas espumas se alcanza la mayor reducción de la saturación efectiva de Al(V_eAl) en la zona superficial de aquel suelo. Por otra parte, este es el único material de los tres empleados que genera un mejoría de la disponibilidad de Fe y Mn, además del incremento del Cu que, por otra parte, resulta ser un efecto común para los tres materiales.

REFERENCIAS

COCHRANE, T.T, SALINAS, J.G. and SANCHEZ, P.A.(1980): An equation for liming acid mineral soils to compensate crop aluminun tolerance. *Trops. Agric.(Trinidad).* **57**(2), 133-140.

LINDSAY, W.L. and NORWELL, W.A.(1978): Development of a DTPA soil test for Zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci.Soc.Am.J.***42**,421-428.

M.A.P.A.(1998): *Caracterización agroclimática de la provincia de León.* Dirección General de la Producción Agraria, Madrid, 155p.

MEHLICH, A.(1976): New Buffer PH method for rapid estimation of exchangeable acidity and liming requirement of soils. *Com. Soil Sci. Plant. Anal.***7**,637-652.

MOMBIELA, F.A. y MATEO, M.E.(1984): Necesidades de cal para praderas en terrenos «a monte». *An. INIA/Ser. Agrícola/* **N.25**,129-143.

OLSEN, S.R., COLE, C.V. and WATANABEE, F.S.(1954): Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U.S. Dept Agric. Cir.* **939.** Washington, USA.

PEECH, M. and ALEXANDER, L.T.(1947): Methods of soil analysis for soil fertility investigations. *U.S. Dept. Agr. C.757*, 25p.

SANTANO, J.(1995): *Incidencia de la aplicación de diferentes enmiendas calizas y yesíferas sobre la dinámica del aluminio y*

disponibilidad de algunos nutrientes en un Palexerult de la Raña de Cañamero (Cáceres). Tes. Doc. U.P.M., 187p.

VIDAL, M. and LÓPEZ, A.(1997): Usefulness and efficiency of the waste of the sugar foam used as liming matter. *11th World Fertilizer Congress.* Gent, Belgium.

WALKLEY, A. and BLACK, A.(1934): An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* **37**, 29-38.