

APLICACION DE ENMIENDAS CALCICAS A UN HORIZONTE B2t (1)

Jorge A. de Orellana (2) y Miguel A. Pilatti (3)

Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía y Veterinaria de Esperanza, Universidad Nacional del Litoral.
Rdo. P. J. Kreder 2805. 3080 Esperanza (Santa Fe).

RESUMEN

La aplicación de CaCl_2 y de cal (en dosis de 1,5 g de Ca/100 g de suelo seco) directamente sobre el límite superior del B2t de un Argiudol ácuico provocó en ese horizonte el aumento de la macroporosidad y redujo la resistencia a la penetración radical, la retención hídrica a 6 kPa, el COLE y la densidad del suelo. El cloruro se distribuyó verticalmente mejor que la cal, e inicialmente la superó en eficacia, pero su efecto tiende a disminuir con el pasaje de agua a través del horizonte tratado. La cal produjo efectos más estables pero su penetración en profundidad fue limitada. Las modificaciones introducidas en el horizonte B textural tienden a favorecer la exploración radical y mejorar el régimen hídrico, especialmente cuando el espesor enraizable es insuficiente.

Palabras clave: enmiendas cálcicas, horizontes arcillosos, penetrabilidad, COLE, macroporosidad.

APPLICATION OF CALCIC AMENDMENTS ON A B2t HORIZON

ABSTRACT

Application of CaCl_2 and lime (1,5 g Ca per 100 g dry soil) directly on the upper limit of the B2t in an aquic Argiudoll produced an increase in macroporosity and a reduction in resistance to penetration, water retention at 6 kPa, COLE and bulk density, in that horizon. Chloride presented a better diffusion than lime and its efficiency was initially higher. However, those effects tend to decrease as water flows through the treated horizon. Lime produced more stable conditions but its diffusion was restricted. These modifications in the Bt horizon favour root exploration and tend to improve the edaphic water regime, especially if there is an insufficient root depth.

Key words: calcic amendments, clay horizons, penetrability, COLE, macroporosity.

- (1) Trabajo perteneciente al PID 3-0877-00/85 "Modificación del perfil cultural", subsidiado por CONICET.
- (2) Investigador del CONICET y Profesor Titular de Edafología, FAVE, UNL.
- (3) Profesor Adjunto, cátedra de Edafología, FAVE, UNL.

INTRODUCCION

En Santa Fe los rendimientos de numerosos cultivos muestran amplias variaciones entre distintas campañas. Desempeña un papel importante en el problema el inapropiado régimen hídrico-edáfico, gobernado por dos factores naturales concurrentes: a) La irregularidad de las precipitaciones, tanto en su distribución como en su magnitud (Cáceres, 1980). b) La presencia de un fuerte horizonte B2t poco profundo, el cual dificulta la exploración radical debido a su alta resistencia a la penetración. Por otra parte, su inestabilidad mecánica reduce la aeración, la captación, circulación y almacenamiento de agua, así como su oportuno y adecuado suministro de agua a los cultivos (Pecorari y Balcaza, 1988).

El "espesor útil" o "enraizable" del cual dependen principalmente las plantas cultivadas, queda prácticamente restringido a los horizontes que yacen sobre el B2t, el cual se inicia a profundidades que oscilan entre los 20 y 47 cm en los suelos considerados.

Existen antecedentes de tentativas de incrementar ese espesor fácilmente enraizable recurriendo a métodos mecánicos como subsolado (Weir y Puricelli, 1978; Puricelly y Legasa, 1973) y aradas profundas (Pilatti y Antille, 1985) o a agentes biológicos (Pilatti et al., 1987), pero sin resultados satisfactorios. Priano et al. (1986) produjeron un aumento de la velocidad de infiltración y de la macroporosidad en un horizonte natural y Orellana y Diez (1988) modificaron las constantes de Atterberg, la capacidad de contracción, la friabilidad y la capacidad de agregación del material tratado con productos cálcicos.

En este trabajo se intenta inducir cambios en el horizonte B2t aplicando enmiendas cálcicas de acuerdo con Orellana (1989). Los objetivos de este trabajo son: a) Evaluar el efecto modificador que las enmiendas cálcicas pueden producir sobre el estado físico de un horizonte B2t con alto tenor de arcilla, en particular sobre su capacidad de contracción y expansión, densidad, macroporosidad, resistencia a la penetración y retención hídrica. b) Constatar la persistencia de las modificaciones producidas.

MATERIALES Y METODOS

Suelo: Argiudol ácuico, serie Humboldt, de Esperanza (Pilatti et al., 1987). Los principales rasgos del B21t son los siguientes: estructura de prismas medios, fuertes; textura arcillo-limosa con 49 % de arcilla y 48 % de limo; consistencia extre-

madamente dura, extremadamente firme, muy plástico y ligeramente adhesivo; color (seco/húmedo) 7,5 YR 5/4; 3,5/4; carbono orgánico 0,63 % ; COLE 5,2 % ; pH 5,8; no tiene carbonato de calcio; presenta moteados y las raíces lo exploran solamente por las grietas, apareciendo fuertemente comprimidas contra las caras de los agregados.

Tratamientos: Enmiendas cálcicas aplicadas directamente sobre el B21t, retirando los horizontes suprayacentes y reponiéndolos luego de las aplicaciones.

Cloruro de calcio: Disuelto en agua; 1,5 g de calcio por cada 100 g de suelo seco. Cal: Suspensión (pH 11) aportando igual dosis de calcio que el cloruro de calcio. Testigo: Volumen de agua equivalente al aplicado con las enmiendas.

Diseño experimental: 60 parcelas totalmente aleatorizadas, de 0,7 x 0,7 m (3 tratamientos, 5 repeticiones, 4 épocas de muestreo).

Muestreos: 5 parcelas de cada tratamiento por muestreo, las cuales quedaron descartadas luego de ser tomadas las muestras. Se efectuaron 4 muestreos: marzo, junio y diciembre de 1988 y marzo de 1989. Un día antes de cada muestreo se eliminó el suelo suprayacente y se llevó el B21t a capacidad de campo, facilitando así la introducción de los cilindros para evaluar COLE, densidad y porosidad, y haciendo posible la comparación de las mediciones en condiciones estandarizadas.

Mediciones: De cada parcela se tomaron las siguientes muestras en los primeros 10 cm del horizonte B21t: 6 cilindros para evaluar: macroporosidad, agua retenida a 6 kPa y resistencia a la penetración con diferentes contenidos hídricos. 3 cilindros para determinar COLE.

Técnicas utilizadas: Densidad "aparente": Técnica del cilindro (Forsythe, 1975). Densidad de partículas: Picnómetro. Porosidad total: por cálculo; el contenido hídrico a saturación se considera igual a la porosidad total. Macroporosidad: Porosidad al aire correspondiente a una succión de 6 Kpa (Bezerra de Oliveira, 1968). Agua retenida a 6 kPa: Mesa de succión. Límite inferior del agua fácilmente utilizable: por cálculo, según Norero (1980). COLE: Fórmula de Franzmeier y Ross (1968) a partir de ensayo de contracción total (Baver et al., 1973). Resistencia a la penetración (RP): En penetrómetro con punta cónica de 1 mm de diámetro y 30 grados de semiángulo (Whiteley et al., 1978). Los valores obtenidos en las mediciones se aplican a la ecuación (Orellana, 1988b).

$$y = a \cdot \exp(-c \cdot x) \quad (1)$$

Y: resistencia a la penetración. x: saturación relativa (θ/θ_s). a,c: parámetros de la ecuación, obtenidos en ajuste por regresión lineal.

Expresión de los resultados. Aplicada la información obtenida experimentalmente a la ecuación (1) se elaboraron las figuras 1, 2 y 3, que representan la resistencia a la penetración (RP) en función del contenido hídrico, y donde se destacan los siguientes valores críticos:

RP a 6 MPa: Es el valor, medido con el penetrómetro, al cual las raíces no pueden penetrar horadando un horizonte. Surge de considerar que diversos autores (Dexter, 1978; Whiteley et al., 1978) informan que un penetrómetro como el aquí utilizado debe ejercer para introducirse en el suelo, 3 a 4 veces más presión que las raíces. A su vez, Stolzi y Barley (1968), Eavis et al. (1969) y Taylor y Ratcliff (1969) calcularon presiones críticas de penetración para dichos órganos de entre 0,9 y 1,5 MPa. Aunando ambos criterios y tomando como margen de seguridad los valores máximos se tiene como presión crítica evaluada con este penetrómetro: $1,5 \text{ MPa} \times 4 = 6 \text{ MPa}$.

Contenido hídrico a saturación: θ_s .

Límite superior del agua fácilmente utilizable: Se adoptó ($\theta_x - 0,1$) para horizontes con menos de 10 % de macroporos y θ a 6 kPa para horizontes con mayor macroporosidad. Se consideraron dos casos: a) En horizontes cuya macroporosidad es inferior a $0,1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, el límite superior se calculó como $\theta_s - 0,1$ ya que, si bien para ma-

yores contenidos hídricos el agua está fácilmente retenida, su absorción puede estar restringida por aeración deficiente. b) En horizontes con mayor macroporosidad, el límite superior se estableció en θ a 6 kPa, que es el contenido hídrico remanente en el suelo una vez que drena toda el agua que ocupa poros superiores a 50 micrones.

Límite inferior de agua fácilmente utilizable (LIAFU): Corresponde al contenido hídrico en el cual comienzan a cerrarse los estomas del cultivo porque el suelo no satisface la demanda atmosférica. Cuando el contenido hídrico es inferior a LIAFU las plantas sobreviven, pero el rendimiento final se reduce.

Agua fácilmente utilizable (AFU): El intervalo total de agua fácilmente utilizable se destaca en los segmentos dibujados al pie de las abscisas en las figuras.

RESULTADOS Y DISCUSION

Datos de referencia en horizontes naturales

Para interpretar adecuadamente los efectos de las enmiendas se efectuaron mediciones paralelas en horizontes naturales suprayacentes al B21t tratado. Esto resulta de particular importancia en el caso de la RP, de cuya medida no existen antecedentes locales producidos para la técnica utilizada en estas investigaciones. La información obtenida se da en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos físicos de horizontes naturales (Argiudol ácuico, serie Humboldt).

Horizonte	Densidad g/cm ³	Macroporosi- cm ³ /cm ³	Humedad a 6 kPa	(cm ³ /cm ³) θ_s	COLE (%)	a (*)	c (*)
Ap (*)	1,10	0,20	0,364	0,564	—	13,3	4,0
Ap (**)	1,26	0,15	0,353	0,503	—	37,5	4,3
A12	1,38	0,08	0,380	0,460	—	77,7	4,5
B1	1,31	0,12	0,373	0,493	—	103,0	7,0
B21t	1,36	0,02	0,466	0,486	5,2	441,0	5,6

(*) parámetros de la ecuación (1); (*) en el momento de la siembra; (**) en la prefloración.

Se observan claras diferencias entre los horizontes ensayados. Resulta interesante comprobar que la más alta densidad se registró en el A12, no así la RP en seco (parámetro "a") que, como el COLE y el contenido hídrico volumétrico a 6 kPa, correspondió al B21t. Se destaca la baja macroporosidad en el B21t ya que valores inferiores a 0,10 pueden ser restrictivos para la mayoría de los cultivos (Luthin, 1974). También se aprecia la superior macroporosidad del B1 sobre los horizontes

supra y subyacentes. Esto se vincula con la textura, ya que el B1 presenta contenidos intermedios de arcilla, comparado con dichos horizontes, lo que facilita la agregación del abundante limo presente.

Las figuras 1 y 2 presentan las relaciones (RP; θ) de los horizontes naturales A1, B1 y B21t. A altos contenidos hídricos corresponden bajas resistencias, con valores parecidos para los distintos horizontes; al disminuir θ , la RP aumenta, con

diferente intensidad para cada horizonte. Nótese la influencia del laboreo y reacondicionamiento posterior al comparar Ap a la siembra, Ap con el cultivo de verano en floración y A12. Cotejando los registros de RP con los de macroporosidad (Tabla 1) cabe presumir una correlación negativa entre ambas variables.

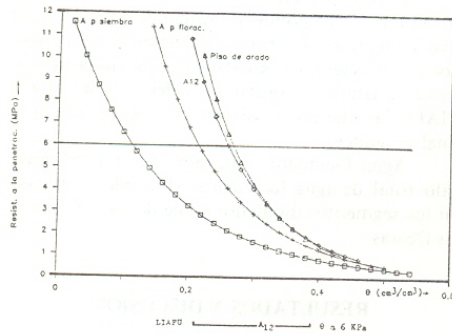


Fig. 1. Relación RP: θ para horizontes A con distinto grado de perturbación. El segmento al pie identifica el intervalo de "agua fácilmente utilizable" (AFU).

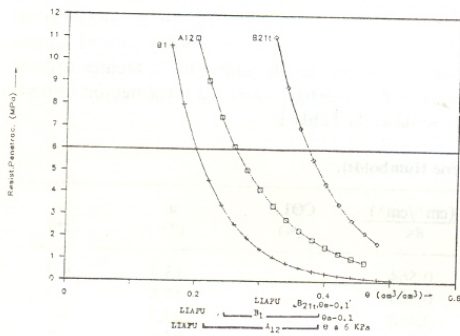


Fig. 2. Relación RP: θ para horizontes naturales del perfil objeto de estudio. Los segmentos al pie representan los intervalos de "agua fácilmente utilizable" (AFU).

Comparando cada curva con su correspondiente tramo de agua fácilmente utilizable se constata que:

El B21t, cuyo tramo es pequeño, cruza la barrera de los 6 MPa antes de llegar al LIAFU. Por tanto, las raíces no podrán explorar dicho horizonte a través de su masa cuando más comienza a necesitarlo. Cabe destacar que el valor habitual de θ para el horizonte B21t —en lapsos normalmente secos (1964/1976) del centro santafesino— es de

0,31 cm³/cm³ (Alvarez et al., 1979). Esto implica valores de RP del orden de los 11 MPa, aproximadamente, lo cual explica que las observaciones in situ localicen siempre las raíces en las grietas del B2t, aplanadas entre las caras de sus prismas. Estos nunca son atravesados por los órganos citados.

El Ap, en floración, posee un amplio intervalo hídrico favorable, pero antes de alcanzar el LIAFU ya habrá superado los 6 MPa de RP. A partir de aquí, las posibilidades de ocupación radical se reducen a los huecos y poros grandes existentes en ese momento. Las características del Ap a la siembra no poseen esas restricciones pero son rápidamente modificadas.

El B1 tiene menos AFU que los anteriores horizontes pero su escasa RP permite a las raíces continuar la exploración aún después de superar el LIAFU.

Como se deduce de lo antedicho y de las cifras de la Tabla 1 el B1 presenta menor RP y mayor macroporosidad que el A12. Desde el punto de vista de la ocupación radical, entonces, sería más favorable el B1. En contraposición, el B21t, con inferior macroporosidad y mayor RP resulta ser el más desfavorable. Para mejorarlo habría que modificar, entre otras, esas propiedades (RP y macroporosidad).

Efecto de las enmiendas sobre el B21t

Distribución de las enmiendas: A través de mediciones de Ph y resistencia de la pasta saturada (datos no publicados) se observó diferencia en la profundización de las enmiendas. El cloruro penetró rápida y profundamente. La cal, en cambio, se acumuló en los primeros 3 a 5 cm del B21t, lo cual impidió que se afectaran profundidades mayores.

La Tabla 2 resume la información obtenida en las 4 evaluaciones efectuadas al cabo de los 16 meses de duración del ensayo de campo. Allí cada variable es analizada desde 2 puntos de vista:

- "Comparación entre tratamientos" para evaluar la eficacia relativa de cada enmienda.
- "Comparación entre muestreos" se analiza la evolución temporal de los efectos logrados, en función del agua que ingresó al B21t, la cual fue de 30, 36, 62 y 132 mm respectivamente, del primero al último muestreo. Esas láminas son consecuencia de precipitaciones ocurridas durante el ensayo y de aplicaciones adicionales para facilitar el muestreo. Del total de agua que atravesó el límite superior del B21t sólo 32 mm pueden atribuirse a precipitaciones que infiltraron y alcanzaron la profundidad de ese horizonte; el resto se debe a la aplicación antes de extraer los cilindros.

Tabla 2. Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de campo para el B21t.

	Muestras				Diferencias significativas	
	1	2	3	4	horizontal (muestras)	vertical (tratamiento)
Densidad (g/cm³)						
Testigo	1,36	1,36	1,36	1,37	A A A A	a a a a
Cloruro	1,33	1,34	1,37	1,39	A A B B	b ab a a
Cal	1,33	1,33	1,33	1,33	A A A A	b b b b
Humedad a 6 kPa (cm³/cm³)						
Testigo	0,446	0,428	0,434	0,424	A A A A	a a a a
Cloruro	0,404	0,393	0,383	0,398	A A A A	b b b a
Cal	0,425	0,426	0,402	0,406	A A B B	ab a ab a
Macroporosidad (cm³/cm³)						
Testigo	0,048	0,046	0,052	0,040	A A A A	a a a a
Cloruro	0,102	0,088	0,094	0,077	A A A A	b b b b
Cal	0,071	0,075	0,095	0,091	A A A A	b b b b
COLE						
Testigo	0,052	0,067	0,060	0,069	A A A A	a a a a
Cloruro	0,014	0,026	0,035	0,039	A A B B	b b b b
Cal	0,038	0,037	0,036	0,040	A A A A	ab b b b
Resistencia penetración (parám. "a" y "c" de ecuac. 1, respectiv.)						
Testigo	441-5.6	483-5.8	540-6.2	351-4.8		
Cloruro	105-5.7	129-6.0	363-7.0	130-4.3		
Cal	230-5.6	190-5.3	335-5.6	114-5.0		

Letras iguales indican que no hay diferencias significativas, en caso contrario $P < 0,05$ y $P < 0,01$.

Densidad: El cloruro de calcio produjo diferencias significativas con respecto al testigo en el primer muestreo. La cal lo hizo en todas las épocas con referencia al testigo y también con el cloruro excepto en el primero. El efecto del cloruro de calcio, similar a la cal al inicio, se disipa con el tiempo, esto es, al pasar agua a través del horizonte tratado. La cal logra un efecto más estable pero limitado a muy pocos centímetros. En resumen, ambas enmiendas reducen la densidad, pero mientras la estabilización con cal perdura, la acción del cloruro se desvanece con el paso del agua.

Agua retenida a 6 kPa: El cloruro produjo diferencias significativas, respecto del testigo, en los primeros muestreos. Después del lavado se diluyó el efecto y las diferencias tienden a desaparecer. La cal redujo la retención hídrica, con valores significativos en el primer y tercer muestreo, pero en menor grado que el cloruro de calcio. Los únicos cambios significativos a través del tiempo se observaron para el tratamiento cal, que acusó retenciones menores en los dos últimos muestreos. En síntesis, se redujo parcialmente la retención hídrica, especialmente por la cal. Algu-

nos capilares habrían mantenido un diámetro equivalente mayor que 50 micrones. Esto favorece la aeración, que en condiciones naturales es muy baja.

Macroporosidad: Ambas enmiendas produjeron aumentos significativos de la macroporosidad con respecto a las muestras testigo. La macroporosidad, muy pequeña en el horizonte natural crece hasta acercarse, en el cloruro, al valor de 0,1 considerado como crítico. Si se considera que salvo escasas excepciones los resultados de los tratamientos y testigo no difirieron en el tiempo, el incremento promedio de porosidad con respecto al testigo es de 94 % y 78 % para el cloruro y cal respectivamente. Los incrementos obtenidos con las enmiendas son comparables a los logrados, tras varios años de acción, con raíces de forrajeras semipermanentes (Pilatti et al., 1987).

Coficiente de extensibilidad lineal (COLE): En todos los casos las enmiendas produjeron diferencias significativas con respecto al testigo. La cal redujo considerablemente el COLE, en concordancia con lo hallado por Orellana y Diez (1988).

Los efectos del cloruro resultaron espectaculares en principio, pero con el transcurrir del tiempo se fueron nivelando con los de la cal. En líneas generales se observa una relación inversa entre macroporosidad y COLE, lo cual sugiere que una menor contracción del material mantendría un mayor porcentaje de macroporos en desmedro de los microporos. Nótese que un COLE elevado indica alta expansión y fuerte contracción. La expansión involucra la disminución en alto grado de la conductividad hidráulica en medio saturado, la formación de cutículas lisas en la superficie de los agregados, que presentan mayor RP y la obligación —para las raíces— de atravesar al horizonte por su masa, ya que en ese estado no hay grietas y la macroporosidad es casi nula. Por el contrario, una fuerte contracción ofrece grietas por las cuales pueden profundizar las raíces.

Resistencia a la penetración: La Figura 3 muestra la relación RP: θ para el horizonte tratado, en tanto que los valores de los parámetros a y c de la ecuación (1), correspondientes a dichas curvas, aparecen en la Tabla 2. Los símbolos Cl-1, Cl-4, Cal-1 y Cal-4 indican el primero y cuarto muestreo en cloruro y cal respectivamente; se presentan a fin de observar la evolución temporal de los tratamientos. Para facilitar la interpretación de las curvas no se han representado los puntos experimentales; los coeficientes de variación oscilaron entre 13 y 22 %.

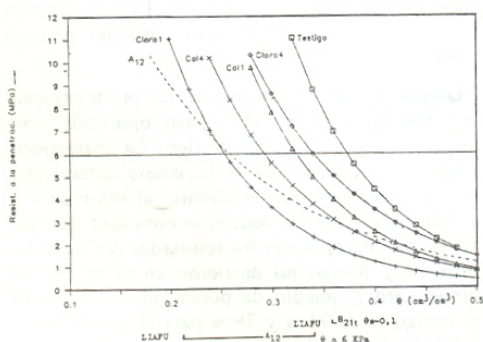


Fig. 3. Relación RP: θ para B21t natural y tratado. En trazo cortado se adiciona la curva del A12 como comparación. Los segmentos al pie indican los intervalos de "agua fácilmente utilizable" (AFU).

Se constata que ambas enmiendas lograron reducir RP considerablemente. Pero mientras el efecto del cloruro experimenta un retroceso en el tiempo, el de la cal se afianza, resultando su-

perior al final del ensayo. Para interpretar estas curvas debe tenerse presente que, si bien para altos contenidos hídricos la RP es pequeña, esto no siempre resulta adecuado para una exploración radical sin limitaciones, ya que en dichas condiciones las raíces pueden encontrar una deficiente aeración para desarrollar su actividad por exceso de agua. En consecuencia, el intervalo hídrico para que las raíces exploren un horizonte sin severas restricciones y cumplan con su función absorbente está limitado por el mínimo contenido hídrico que ofrezca una RP menor a 6 MPa y el límite superior de agua fácilmente utilizable tal como se lo definió en Materiales y Métodos.

Al observar las curvas dentro de sus correspondientes AFU se comprueba que el horizonte tratado puede recorrer todo el tramo con valores de RP menores que 6 MPa. Por debajo de LFAFU las raíces no pueden continuar la exploración del suelo hasta que, por secado, se abran grietas. Es destacable que las curvas de Cl-1 y Cal-4 trasladan la relación de RP: θ hacia la izquierda de modo que contenidos hídricos de 0,31 cm³/cm³ (habituales en condiciones naturales en el B21t) encuentran valores de RP inferiores a 6 MPa. Esto significa que el efecto producido por las enmiendas permite que durante la mayor parte del tiempo el B21t sea penetrado por las raíces. Lo contrario ocurre en el horizonte natural, donde lo frecuente es que las raíces no puedan atravesarlo si no hay grietas.

CONCLUSIONES

Se probó que es factible modificar propiedades mecánicas de horizontes B2t con alto tenor de arcilla mediante la adición directa de enmiendas cálcicas. Las propiedades cuya alteración se constató fueron: resistencia a la penetración, COLE, densidad, macroporosidad y retención hídrica.

La disminución de la impedancia facilita la penetración radical en la masa de los agregados, en tanto que la del COLE contribuye a mantener, en estado húmedo, mayor porcentaje de macroporos.

El incremento de macroporosidad facilitaría especialmente la exploración radical por los huecos y la circulación de agua y aire. Este aumento coincidió con una disminución de la retención hídrica en las inmediaciones de capacidad de campo.

Con respecto a la eficacia de las enmiendas se ha podido observar que el cloruro de calcio produjo los menores resultados en el campo. Sin embargo, aparece una tendencia a disminuir sus efectos con el tiempo, en forma proporcional a la cantidad de agua que atraviesa el horizonte tratado.

No se dispone de la información necesaria para definir el tiempo que tardaría un horizonte con cloruro de calcio en volver a valores próximos a los naturales; pero se estima —según el régimen hídrico local— que el lapso oscilará entre 5 y 9 años.

La cal da, en cambio, valores estables, como lo hacía presumir la información previa a esta experiencia. No obstante, la distribución vertical de la cal en horizontes compactos como el tratado es difícil, estratificándose en los primeros centíme-

tros. De allí que se requieran nuevas experiencias para encontrar una fórmula de enmienda que tenga efectos similares en magnitud a los del cloruro de calcio y en persistencia a los de la cal.

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Agrónomo Daniel A. Grenón por su participación en los ensayos, mediciones y trabajos de computación.

REFERENCIAS

- Alvarez, A. J.; J. L. Panigatti y M. del C. Pérez, 1979. Régimen hídrico de la serie Rafaela. INTA, EERA Rafaela, Inf. Técn. 4, 17 p.
- Baver, L. D.; W. H. Gardner y W. R. Gardner, 1973. Física de los Suelos. UTEHA. México. 529 p.
- Bezerra de Oliveira, L., 1968. Determinação da macro e microporosidade pela "mesa de tensão" em mostras de solo com estrutura indeformada. Pesquisa Agrop. Bras. 3: 197-200.
- Cáceres, L. M., 1980. Caracterización climática de la provincia de Santa Fe. Minist. de Agric. y Ganad. de la Prov. de Santa Fe, D. G. Suelos y Aguas, 35 p.
- Dexter, A. R., 1978. A stochastic model for the growth of root in tilled soils. J. Soil Sci. 29: 102-116.
- Eavis, B. W.; L. E. Ratliff y H. M. Taylor, 1969. Use of dead load technique to determine axial root growth pressure. Agron. J. 61: 640-643.
- Forsythe, W., 1975. Física de Suelos. IICA. San José. Costa Rica. 212 p.
- Franzmeier, D. P. y S. J. Ross (Jr.), 1968. Soil swelling: Laboratory measurement and relation to other soil properties. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32: 573-577.
- Luthin, J. N., 1974. Drenaje de Tierras Agrícolas; Teoría y Aplicaciones. México Limusa. 684 p.
- Norero A., 1980. Concepto dinámico de "humedad disponible", y su estimación para fines técnicos. CIDIAT, Venezuela. 26 p.
- Orellana, J. A. de, 1988. Mezcla de horizontes. Composición granulométrica y estructura. FAVE 3: 92-101.
- Orellana, J. A. de, 1989. Expansibilidad y penetrabilidad de un horizonte B2t con enmiendas cálcicas. Ciencia del Suelo 7: 107-111.
- Orellana, J. A. de y J. M. Diez, 1988. Efecto de bajas dosis de cal sobre propiedades mecánicas del B2t de un Argiudol. FAVE 3: 80-91.
- Pecorari, C. A. y L. F. Balcaza, 1988. Influencia de los horizontes B2 sobre el consumo de la reserva de agua útil en los suelos del área maicera típica. INTA, EEA Pergamino, Inf. Técn. 215, 28 p.
- Pilatti, M. A. y R. L. Antille, 1985. Labores profundas en Argiudoles del noreste santafesino. TecniCrea 5: 16-22.
- Pilatti, M. A.; L. J. J. Priano y J. A. de Orellana, 1987. Modificaciones producidas en el suelo por plantas forrajeras. Ciencia del Suelo 5: 150-157.
- Puricelli, C. A. y A. Legasa, 1973. Remoción de capas u horizontes endurecidos de un Brunizem. INTA EERA, Marcos Juárez, Inf. Técn. 45, 13p.
- Stolzy, L. H. y K. P. Barley, 1968. Mechanical resistance encountered by roots entering compact soils. Soil Sci. 105: 297-301.
- Taylor, H. M. y L. F. Ratliff, 1969. Root growth pressures of cotton, peas, and peanuts. Agron. J. 61: 398-402.
- Weir, E. y C. A. Puricelli, 1978. Crecimiento irregular de los cultivos, producido por el mal manejo del suelo. INTA, EEA Marcos Juárez; Inf. Técn. 90, 8 p.
- Whiteley, G. M.; M. V. Utomo y A. R. Dexter, 1981. A comparison of penetration pressures and the pressures exerted by roots. Plant and Soil 61: 361-364.