

Efecto de Enmiendas Sobre la Generación de la Estructura en un Suelo Arcilloso¹

A. Elies*

ABSTRACT

With the purpose of analyzing the initiation of processes of aggregant formation by soil dressings, degraded and non-degraded superficial soil samples belonging to the Chufquén Series were selected. The soil samples were mixed with calcium oxide, calcium carbonate, manure and a synthetic agglomerant product. The soil samples were treated over two months by successive wetting and drying cycles. At the end of the process, the size of clods, amount of contraction, size of cracks, bulk density, large pores, water stability of clods and mechanical resistance coefficients were determined. All the soil additives increased the soil contraction capacity when compared to control samples. The organic dressing and the synthetic product had larger effects. Mass soil contraction showed low inped porosity, but the cracks tended to increase exped porosity. Even though water stability of the clods produced by the agglomerants was low, it increased in relation to the untreated samples. The effect of the different dressing was greater in the non-degraded soil samples. A greater resistance to deformation by pressure was demonstrated by the treatments that included liming. On the other hand, clods treated with manure were the most deformed, but the volume recovery of soil samples not submitted to pressure was greater in the manure treatment and lower in samples treated with lime.

COMPENDIO

Se investigaron los procesos iniciales de la generación de agregados por efecto de enmiendas y un aglomerante, en muestras del suelo superficial de la Serie Chufquén provenientes de un área degradada y otra no degradada. Las muestras se mezclaron en distintas proporciones con estiércol, óxido de calcio, carbonato de calcio y un producto agregante sintético. Las muestras de suelo fueron sometidas durante dos meses a ciclos sucesivos de humedecimiento y secado. Al final de este período se evaluó la magnitud de la contracción, el tamaño de los terrones, la cantidad de grietas, la densidad aparente, la macroporosidad, la estabilidad de los terrones y los coeficientes de resistencia mecánica. Las enmiendas incrementan la contracción del suelo en relación con las muestras testigo y esta contracción es mayor con enmiendas orgánicas y con el aglomerante sintético. La contracción de la masa del suelo se manifiesta en una disminución de la porosidad inped, pero las grietas contribuyen a incrementar la porosidad exped. Aún cuando la estabilidad al agua de los terrones generados por efecto de las sustancias agregantes es baja, el tamaño medio de éstos aumenta en relación con el testigo. El efecto de las distintas enmiendas es más pronunciado en las muestras de suelo provenientes del área menos degradada. La mayor resistencia a la deformación por efecto de cargas lo muestran los tratamientos que incluyen encaladuras, mientras que los tratamientos con estiércol son los que más deformabilidad provocan, pero la recuperación volumétrica posterior a la descarga del suelo es mayor en estos tratamientos con estiércol y menor en los suelos tratados con enmiendas calcáreas.

INTRODUCCION

La generación de agregados en sedimentos arcillosos se inicia con los fenómenos de contracción e hinchamiento. La contracción permite el acercamiento y la orientación de las partículas. Con un aumento en la intensidad y en la frecuencia del humedecimiento y secado, se forman en el suelo poliedros que pueden soportar presiones mecánicas a causa de la cohesión existente entre las partículas (5). La evolución de la agregación a partir de sedimentos frescos produce una reducción del espacio poroso la cual se acentúa con la frecuencia e intensidad de la contracción (2). Con el tiempo, bajo los efectos de los cementantes y de la actividad biológica, estos poliedros generan agregados pequeños y estables lo que se traduce en un aumento de la porosidad.

El efecto de enmiendas orgánicas, calcáreas o de polímeros orgánicos sintéticos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos se conoce desde tiempos remotos, aún cuando su grado de efectividad difiere para las distintas condiciones edafoclimáticas. Existe, sin embargo, poca información sobre las fases iniciales en los procesos de la generación de estructura.

En los últimos decenios los suelos arcillosos de la Cordillera de la Costa del Sur de Chile han estado sujetos a una fuerte degradación debida a un manejo inadecuado. Como resultado, una fuerte erosión causada por la destrucción de la estructura del suelo se manifiesta en una escasa porosidad secundaria, con lo cual se favorece el escurrimiento superficial. En este trabajo se probará el efecto de distintos tipos de enmiendas y acondicionadores en la generación de la estructura de suelos arcillosos. Además, es necesario obtener información sobre el tipo y cantidad de enmiendas y acondicionadores que más favorecen la generación de la estructura en estos suelos.

¹ Recibido para publicación el 21 de octubre 1988
Proyecto de Investigación FONDECYT 913-88.

* Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Casilla 567, Valdivia, Chile.

MATERIALES Y METODOS

En la presente investigación se probaron distintas enmiendas y un aglomerante sintético para favorecer el desarrollo de la estructura en el suelo. Las muestras de suelo corresponden a un Palehumult, según la Taxonomía de Suelos provenientes de la Serie Chufquén, de un suelo arcilloso, ubicado en el sector este de la Cordillera de la Costa entre las provincias de Cautín y Malleco. Se recolectaron muestras de un área degradada y otra normal de este suelo. Las propiedades químicas y físicas de estos dos sitios se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Propiedades químicas y físicas de las muestras de suelo provenientes de la Serie Chufquén.

Propiedad		Suelo degradado	Suelo no degradado
pH		6.4	6.0
C orgánico	%	1.9	2.6
CIC	meq/100 g	35.8	40.4
K int.	meq/100 g	0.5	1.6
Na int.	meq/100 g	0.7	0.6
Ca int.	meq/100 g	16.6	20.3
Mg int.	meq/100 g	10.3	9.8
Saturación bases	%	78.5	79.8
P aprov.	ppm	3.9	26.3
N Total	%	0.2	0.3
Arena	%	13.0	18.5
Limo	%	43.0	57.0
Arcilla	%	44.0	26.0

CIC a pH 7 con acetato de amonio

Las muestras del suelo degradado tienen un menor nivel de K intercambiable, de P aprovechable y de materia orgánica. El mayor contenido de arcillas en el suelo degradado puede deberse a que éste se ubica al pie de una ladera, por lo que se puede suponer que ha recibido material fino por erosión.

De cada lugar se tomaron muestras del suelo superficial (0-20 cm) hasta totalizar 300 kg, los cuales fueron secados al aire y tamizados a 2 mm. De este material se tomaron como submuestras porciones de 3 kg a las cuales se adicionó una dosis normal y otra alta de carbonato de calcio, óxido de calcio, estiércol y un polímero orgánico sintético R.R.P. (Reynolds Road Packer). En el Cuadro 2 se detallan las cantidades equivalentes aplicadas por hectárea para una masa de suelo de 2 500 T. Las porciones de suelo mezcladas con sus respectivos aditivos fueron colocadas en cubetas de madera de 140 mm H x 170 mm L x 170 mm A y humedecidas hasta su saturación. Des-

Cuadro 2. Cantidad de enmiendas aplicadas por tratamiento en las muestras de suelo provenientes de la Serie Chufquén.

Tratamientos	Dosis	Monto
Testigo		
CaCO ₃	normal	6 t/ha
CaCO ₃	alta	12 t/ha
CaO	normal	3 t/ha
CaO	alta	6 t/ha
Estiércol	normal	30 t/ha
Estiércol	alta	60 t/ha
R R P	normal	1.7 l/ha
R R P	alta	3.4 l/ha

R R P : Reynolds Road Packer

pués de un período de ocho días las muestras fueron mantenidas en estufa a 30°C durante cuatro días y luego humedecidas nuevamente durante cuatro días. Los periodos de secado y humedecimiento se repitieron ocho veces durante 64 días.

Finalizado el periodo de incubación se efectuó la evaluación del grado de contracción y agrietamiento a partir de fotografías. Los distintos poliedros y grietas fueron medidos con planímetro. La evaluación física consistió en caracterizar la distribución por tamaño de los poros en muestras de suelo no alteradas, extraídas mediante cilindros de las macetas (4) así como el tamaño y la estabilidad de los terrones después de un tamizado en seco y húmedo (1). La evaluación mecánica consistió en un ensayo de consolidación (6), para lo cual las muestras de suelo tratadas con agregantes o aglomerantes fueron desmenuzadas y tamizadas entre 2 y 1 mm y llevadas a una densidad aparente uniforme de 1.2 g/cm³.

El ensayo se llevó a cabo con tres réplicas en un diseño de bloques completamente al azar.

RESULTADOS Y DISCUSION

La generación de la estructura de un suelo se produce en tres etapas: floculación, cementación y finalmente soltura del material por acción biológica. Las enmiendas y acondicionadores actúan en las primeras dos etapas (3). La tercera y última etapa no se incluyó en este ensayo, en vista de su corto período de duración y de las condiciones artificiales en las cuales se realizó.

En las Figs. 1 y 2 se representan en forma gráfica la distribución de los poliedros y grietas por efecto de los distintos agentes agregantes y aglomerantes en ambas muestras de suelo. Una alta contracción implica

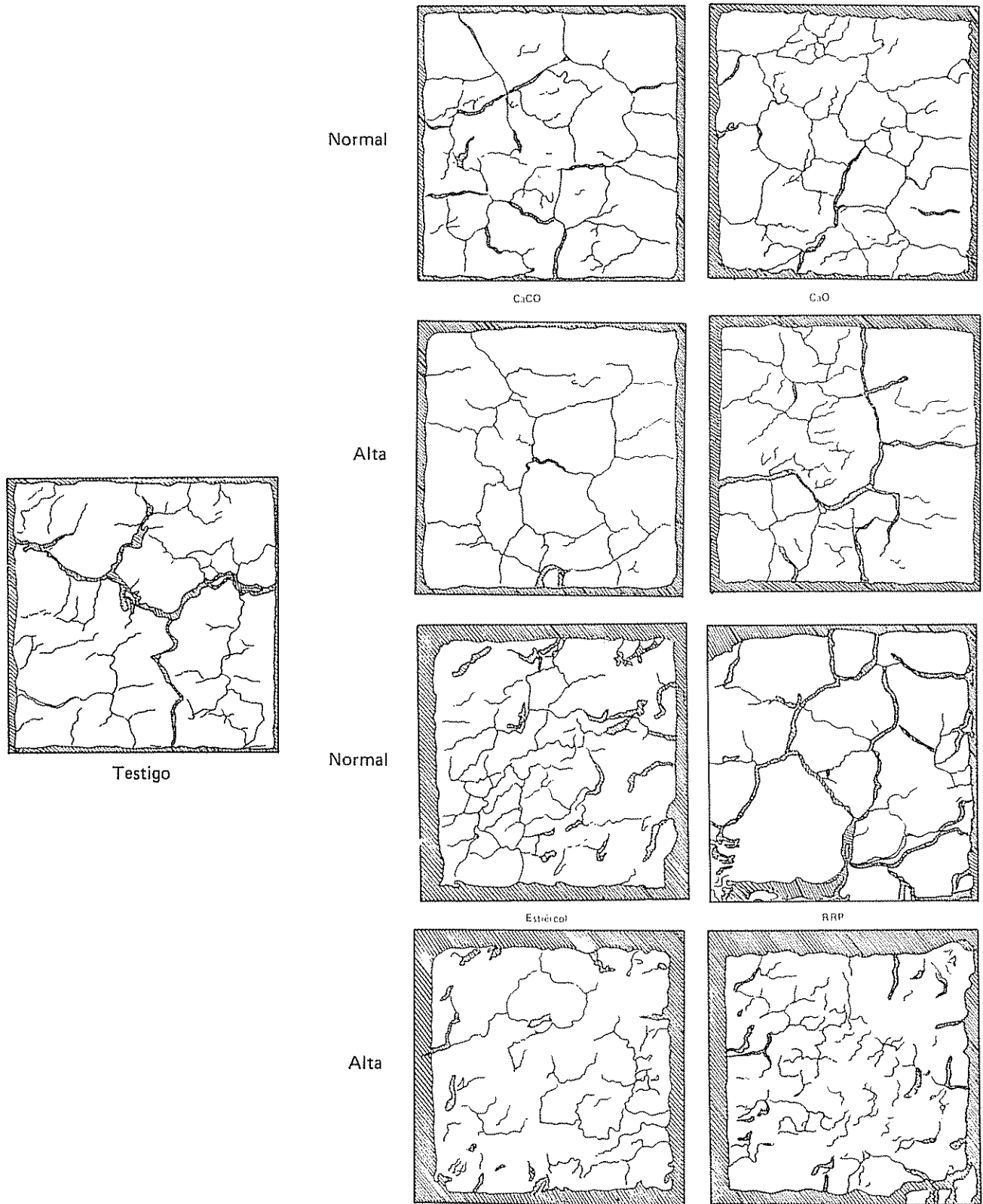


Fig. 1. Padrón de contracción y agrietamiento de muestras de suelo degradado provenientes de la Serie Chufquén por efecto de enmiendas y aglomerantes

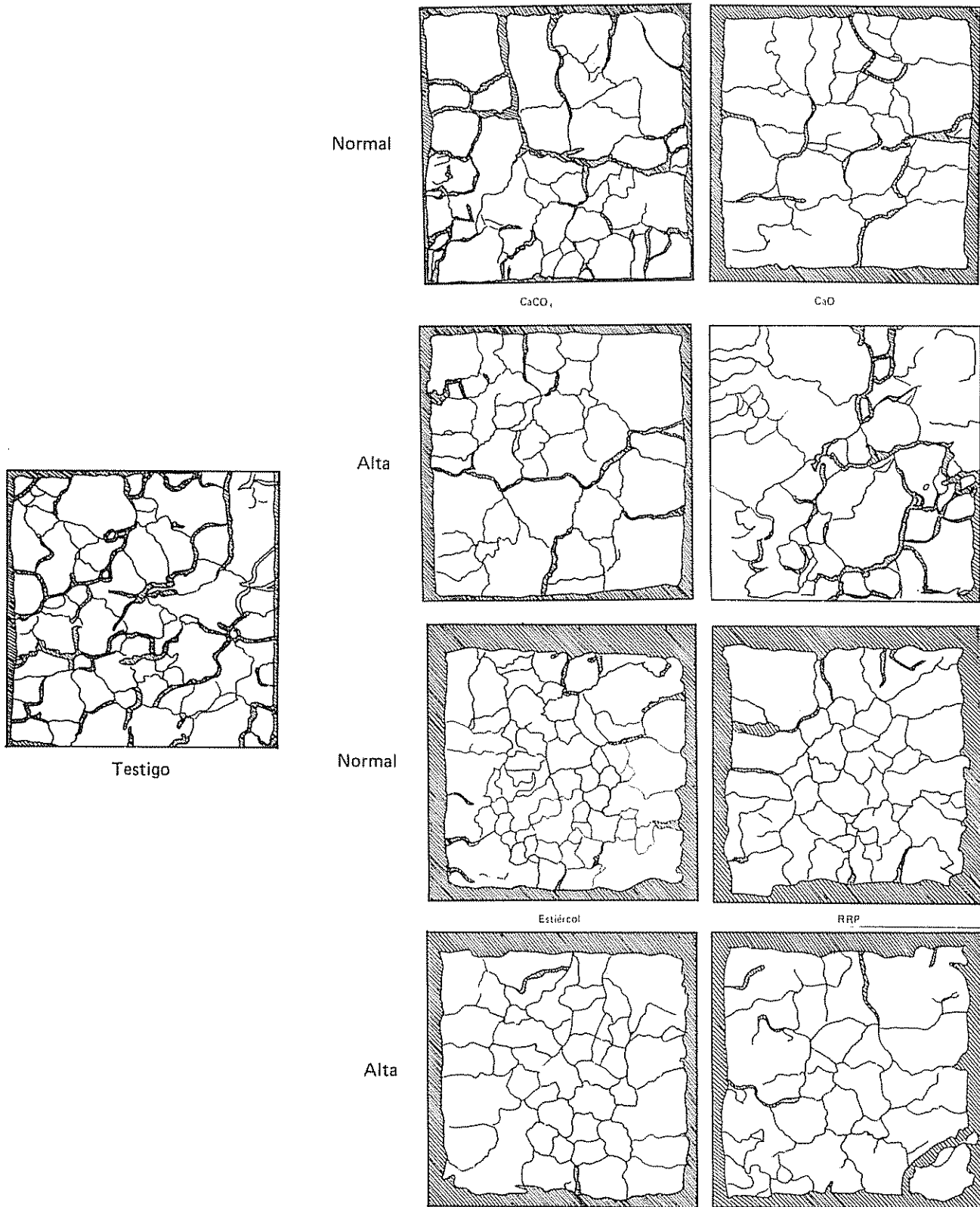


Fig 2 Padrón de contracción y agrietamiento de muestras de suelo no degradado provenientes de la Serie Chufquén por efecto de enmiendas y aglomerantes.

una disminución de la porosidad de la masa del suelo, la cual fue mayor en todos los tratamientos en relación con el testigo. Esta contracción fue más acentuada en el suelo no degradado. Probablemente, el efecto de los distintos agregantes y aglomerantes fue mayor en las muestras provenientes del suelo no degradado debido a que éste presentaba una textura algo más gruesa y con ello una superficie específica menor.

Una contracción fuerte y homogénea de la masa del suelo incrementa su densidad aparente, lo cual puede ser una limitante en la posterior actividad de soltura biológica. Una contracción alta que mantenga al mismo tiempo grietas dentro de la masa de suelo, como se observa en algunos tratamientos con estiércol y R.R.P. en las muestras del suelo no degradado, debería facilitar la actividad biológica y llevar a un incremento en los macroporos. Los tratamientos con enmiendas calcáreas en esta misma muestra de suelo presentan grietas en la masa de los monolitos, pero no presentan una contracción fuerte. En el suelo degradado algunos tratamientos mostraron una contracción muy fuerte, con formación de un monolito central con resquebraduras internas aisladas que no se conectan entre sí.

La evaluación y las características de los poliedros se detallan en los Cuadros 3 y 4. En todos los tratamientos del suelo no degradado se presenta una mayor cantidad de poliedros en comparación con el suelo degradado, lo cual implica que sus tamaños también sean menores. La diferencia en el tamaño de los poliedros entre las dos muestras de suelo se debe probablemente a la distinta cantidad de arcilla que estos contienen. Un mayor contenido de arcilla implica poliedros más grandes (5). El mayor número de poliedros lo presenta la muestra testigo en el suelo no degradado.

El rango de tamaño con mayor frecuencia de poliedros (tamaño modal) es igual en ambas muestras de suelos y para todos los tratamientos ($2-3 \text{ cm}^2$), aun cuando el tamaño medio de los poliedros en todos los tratamientos con aditivos agregantes es superior al testigo, en especial del suelo no degradado.

Cuando la clase del tamaño modal de los poliedros ocupa una superficie significativa, el proceso de generación de estructura debe considerarse como homogéneo. La superficie que ocupan los poliedros con el tamaño de la moda es mayor en todos los tratamientos del suelo no degradado que en el suelo degradado. Esto se puede interpretar como un desarrollo estructural más avanzado de las muestras provenientes del suelo no degradado. En estas mismas muestras de suelo los tratamientos con estiércol tienden a un alto número de poliedros, y por ende son de un tamaño menor en comparación con los otros tratamientos.

Con una mayor variación en el tamaño de los poliedros se puede presumir que se desarrolla una estructura más heterogénea, es decir, deberían desarrollarse también poros de diversos tamaños. El "pattern" de agrietamiento que presentan las enmiendas calcáreas en las muestras del suelo no degradado sugiere la generación de este tipo de estructura.

El grado de contracción de la masa del suelo incide directamente sobre la magnitud y la distribución por tamaño del espacio poroso. En el Cuadro 5 se presentan la densidad aparente de los monolitos de las muestras de suelo y la cantidad de macroporos para dos situaciones considerando o no el volumen de las grietas externas del monolito. La mayor densidad de los terrones (inped) la producen las enmiendas orgánicas y el aglomerante sintético, y en el suelo no degradado se logra una densidad mayor que en el suelo degradado.

Cuadro 3. Efecto de las enmiendas sobre la contracción y tamaño de los poliedros en las muestras de suelo provenientes de la Serie Chufquén no degradada.

Tratamiento	Dosis	Poliedros			Superficie			
		Número	Tamaño medio cm^2	Superficie modal cm^2	Poliedros cm^2	%	Grietas cm^2	%
Testigo		75	3.4	150.0	257.0	88.9	32.0	11.1
CaCO_3	Normal	45	5.6	70.0	251.0	86.8	38.0	13.2
CaCO_3	Alta	40	6.3	62.5	250.9	86.9	38.1	13.1
CaO	Normal	32	7.4	37.5	237.2	82.1	51.8	17.9
CaO	Alta	55	4.7	102.5	259.1	89.6	30.0	10.4
Estiércol	Normal	70	3.0	150.0	211.2	73.1	77.8	26.9
Estiércol	Alta	46	4.7	75.0	214.8	74.3	74.2	25.7
R.R.P.	Normal	51	4.1	92.5	210.5	72.8	78.5	27.2
R.R.P.	Alta	38	5.8	52.5	219.6	76.0	69.4	24.0

Cuadro 4. Efecto de las enmiendas sobre la contracción y tamaño de los poliedros en las muestras de suelo provenientes de la Serie Chufquén degradada.

Tratamiento	Dosis	Poliedros			Superficie			
		Número	Tamaño medio cm ²	Superficie modal cm ²	Poliedros cm ²	%	Grietas cm ²	%
Testigo		24	10.8	22.5	158.5	89.5	30.5	10.5
CaCO ₃	Normal	27	9.4	75.0	253.4	87.7	35.6	12.3
CaCO ₃	Alta	17	14.8	10.0	251.0	86.9	38.0	13.1
CaO	Normal	30	8.6	30.0	257.5	89.9	31.5	10.9
CaO	Alta	18	13.4	15.0	241.9	83.7	47.1	16.3
Estiércol	Normal	27	10.1	42.5	216.5	74.9	72.5	25.1
Estiércol	Alta	8	26.4	10.0	210.7	72.9	78.3	27.1
R.R.P.	Normal	20	12.0	15.0	239.3	82.8	49.7	17.1
R.R.P.	Alta	12	18.5	12.5	222.3	76.9	66.7	23.1

Entre los tratamientos no varía, desde el punto de vista práctico, la cantidad total de poros mayores de 50 μm de diámetro. Pero el tamaño absoluto de estos incrementa a medida que la cantidad de macroporos está más dada por el efecto de las grietas. Al aumentar el tamaño de los macroporos incrementa también la continuidad del sistema poroso, lo cual favorece el movimiento del agua en condiciones más saturadas y la actividad biológica en el suelo. En los tratamientos con estiércol y R.R.P. se observa una contracción fuerte con grandes vacíos en la periferia de los monolitos. Esto significa poros muy grandes, lo cual permite también inferir una mayor continuidad del sistema poroso.

En el Cuadro 6 se detallan las características de los terrones que resultaron por efecto de los tratamientos en ambas muestras de suelo. La variación del diámetro medio de los agregados entre un tamizado seco y

otro húmedo indica para ambos casos que la muestra del suelo testigo presenta la mayor estabilidad al agua. Esto, en un primer momento, haría suponer que los cementantes no cumplen con el objetivo de la estabilidad. Probablemente se requiere de un tiempo más prolongado para que el efecto de la cementación sea duradero. Sin embargo, el tamaño medio de los agregados después del tamizado en húmedo es mayor que el de los testigos en casi todos los tratamientos. Esto se debe a que en el último caso no existen agregados, por lo cual éstos tampoco pueden ser destruidos. Un mayor tamaño de los terrones o poliedros en los distintos tratamientos significa un cierto grado de estructuración. Especialmente, el R.R.P., el estiércol y el CaCO₃ originan terrones más grandes.

Los resultados del ensayo de consolidación se presentan en el Cuadro 7. En ellos se observan diferencias significativas entre los tratamientos, pero las mag-

Cuadro 5. Efecto de las enmiendas sobre la macroporosidad (> 50 μm) en las muestras de suelos provenientes de la Serie Chufquén.

Tratamiento	Dosis	Suelos no degradado			Suelo degradado		
		Densidad aparente g/cm ³	Macroporosidad (%)		Densidad aparente g/cm ³	Macroporosidad (%)	
			Sin grietas	Con grietas		Sin grietas	Con grietas
			(%)	(%)		(%)	(%)
Testigo		0.87 c	31.8	39.9 a	0.95 c	20.2	28.4 b
CaCO ₃	Normal	0.97 b	13.9	25.2 c	1.02 bc	13.4	23.9 c
CaCO ₃	Alta	0.93 bc	20.0	30.6 b	1.04 ab	15.3	26.4 cb
CaO	Normal	0.94 bc	16.7	31.6 b	1.02 bc	16.8	25.8 cb
CaO	Alta	0.92 bc	20.3	28.5 bc	1.03 ab	8.9	23.7 c
Estiércol	Normal	1.08 a	7.3	32.3 b	1.13 a	9.8	32.4 ab
Estiércol	Alta	0.99 a	15.6	37.3 a	1.10 ab	10.1	34.5 a
R.R.P.	Normal	1.05 a	11.1	32.5 b	1.05 ab	12.8	27.8 b
R.R.P.	Alta	1.08 a	13.6	34.3 ab	1.03 ab	18.8	31.6 ab

Letras distintas difieren significativamente ($P \leq 0.05$).

Cuadro 6. Efecto de las enmiendas sobre la agregación en las muestras de suelos provenientes de la Serie Chufquén.

Tratamiento	Dosis	Suelos no degradado			Suelo degradado		
		VDMA (%)	Diámetro medio mm	Agregados > 1 mm ϕ (%)	VDMA (%)	Diámetro medio mm	Agregados > 1 mm ϕ (%)
Testigo		56.9 c	0.9 c	8.5 c	82.2 c	3.1 d	37.3 bc
CaCO ₃	Normal	97.6 a	17.7 a	20.5 b	95.6 b	21.2 a	48.3 ab
CaCO ₃	Alta	90.1 a	6.7 bc	27.0 a	93.7 bc	15.7 ab	48.2 ab
CaO	Normal	81.0 b	4.6 c	15.7 bc	90.4 b	7.0 c	35.0 c
CaO	Alta	56.0 c	0.8 c	10.0 c	90.0 b	8.7 bc	41.2 b
Estiércol	Normal	96.0 a	18.5 a	24.8 ab	91.2 b	15.4 ab	56.7 a
Estiércol	Alta	96.9 a	15.1 a	29.5 a	92.3 ab	14.9 ab	50.7 ab
R.R.P.	Normal	97.3 a	18.3 a	23.9 ab	92.7 ab	10.4 bc	39.5 b
R.R.P.	Alta	96.7 a	14.7 ab	28.5 a	92.3 ab	16.5 ab	54.0 a

VDMA: Variación de diámetro medio

Letras distintas difieren significativamente ($P \leq 0.05$)

nitudes absolutas de estas diferencias no son importantes desde el punto de vista práctico. En las dos muestras de suelo no se observan cambios significativos en la densidad aparente por efecto de las cargas hasta de 4 da N/cm². Se observan diferencias entre los tratamientos a partir de cargas de 8 da N/cm². En el manejo agrícola de los suelos las presiones que ejerce la maquinaria más pesada no llegan prácticamente nunca a este nivel.

El coeficiente de consolidación permite inferir el grado de resistencia a la deformación de un suelo sujeto a presión. Valores altos indican una mayor susceptibilidad a la deformación del suelo por el efecto de una presión, es decir, una baja resistencia mecánica. Los tratamientos con cal presentan altos coeficientes de consolidación en el suelo no degradado, lo que indica que este agente cementante produce poliedros

con una menor resistencia mecánica del suelo. Sin embargo, en el suelo degradado los tratamientos con CaO son los que originan la mayor resistencia.

El módulo de elasticidad define la relación entre diferencial de presión y deformación relativa. Representa la capacidad de recuperación volumétrica frente a una descarga (6). Bajos valores indican una mayor recuperación de volumen del suelo deformado después de haber sido sometido a cargas. En ambas muestras de suelo la mayor recuperación volumétrica la exhiben los tratamientos con estiércol y algunos tratamientos de encaladuras.

Por el hecho de haber realizado este ensayo *in vitro*, sus resultados sólo pueden ser considerados como aproximaciones a situaciones que podrían ocurrir en el terreno, donde influyen además otros facto-

Cuadro 7. Coeficiente de consolidación (CC) con cargas de 2-8 da N/cm² y módulos de elasticidad (ME) con descargas de 8-0.25 da N/cm² en muestras alteradas de suelos provenientes de la Serie Chufquén tratadas con enmiendas.

Tratamiento	Dosis	Suelo no degradado		Suelo degradado	
		CC	ME	CC	ME
Testigo		-0.244 a	261.7 ab	-0.231 a	285.1 bc
CaCO ₃	Normal	-0.270 ab	228.7 a	-0.256 ab	270.6 ab
CaCO ₃	Alta	-0.281 b	244.7 ab	-0.270 b	283.4 bc
CaO	Normal	-0.280 b	237.9 a	-0.224 a	271.7 ab
CaO	Alta	-0.292 b	250.1 ab	-0.202 a	295.1 c
Estiércol	Normal	-0.213 a	243.7 a	-0.260 b	246.8 a
Estiércol	Alta	-0.240 a	238.3 a	-0.265 b	257.1 a
R.R.P.	Normal	-0.242 a	278.1 b	-0.254 ab	264.4 a
R.R.P.	Alta	-0.252 a	293.5 b	-0.257 ab	275.9 ab

Letras distintas difieren significativamente ($P \leq 0.05$)
da N/cm² Presión Decanewton/cm²

res tales como el clima, la actividad biológica y el tiempo.

De los resultados obtenidos se puede inferir que el material que produce las mejores condiciones para la generación de la estructura en las muestras de suelo analizadas es el estiércol, por producir un incremento en la macroporosidad, aun cuando los agregados en una primera fase no son mecánicamente estables. Las enmiendas calcáreas no mostraron los efectos esperados. Esto puede deberse en parte a que los contenidos de calcio en el suelo ya eran de por sí altos. El R.R.P. produjo un efecto muy positivo, pero según los fabricantes es sólo de corto plazo. En períodos invernales lluviosos el efecto debería desaparecer por causa del lavado. Hasta la fecha, este producto sólo ha tenido aplicaciones en obras viales y no en suelos agrícolas.

LITERATURA CITADA

1. HARTGE, K.H. 1971. Die physikalischen Untersuchungen von Boden Ferdinand Enke, 118 p.
2. HORN, R. 1976 Festigkeitsänderungen infolge von Aggregierungsprozessen eines mesozoischen Tones Dissertation U. Hannover 120 p.
3. PEARSON, W. 1967. Soil acidity and liming. American Society of Agronomy, Madison 12: 274 p.
4. RICHARD, L.A. 1949. Methods of measuring soil moisture tension. Soil Sci. 68:95-112.
5. SCHWEIKLE, V. 1982. Gefügeeigenschaften von Tonböden. Hohenheimer Arbeiten, 117:1-78.
6. TERZAGHI, K. 1963 Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. Buenos Aires, El Ateneo. 680 p.