

Cambios en las propiedades humectantes de suelos sometidos a diferentes manejos

A. Ellies*, R. Grez*, C. Ramirez*

RESUMEN

En dos Hapludands, uno sometido a manejo pecuario y otro forestal, y en un Palehumult con cultivos agrícolas, se evaluaron las propiedades humectantes y la estabilidad de los agregados al agua. Se midió la capacidad de humectación sobre la superficie de los microagregados y en depósitos de la solución acuosa del suelo sobre vidrio. En los tres sitios, las muestras de suelo provenientes del bosque nativo original del lugar, presentaron mayor resistencia a la humectación o ángulo de contacto, disminuyendo su efecto en los sitios intervenidos por más tiempo o sometidos a mayor uso, y mayor capacidad de humectación. Este aumento se debe a cambios cualitativos y cuantitativos de la materia orgánica, originados por el manejo del suelo. Junto con el aumento de la humectación, disminuye la estabilidad de los agregados al agua. Las mediciones directas de las propiedades humectantes sobre el suelo e indirectas sobre depósitos en vidrios, entregan similares conclusiones en relación a la estabilidad de los microagregados.

SUMMARY

In two Hapludands soils, one submitted to pasture and the other to forestry management, and a Palehumult with crops, the wetting properties and water stability of soil aggregates were evaluated. The wetting properties were measured on the surface of microaggregates and on deposition of soil solution on glass. In the three sites, soil samples coming from original native forest showed the highest wetting resistance or contact angle; these effects were smaller in the soils used for longer times and intensive management. This increase in wetting is attributed to qualitative and quantitative changes in the organic matter, associated with the soil management. In all cases of increase of the contact angle, there was a decrease of the water stability of aggregates. Both the measurements of wetting properties of aggregates and the deposition of soil solutions on glass produced similar conclusions.

INTRODUCCION

Entre las propiedades que sirven como indicadores del potencial de uso de un suelo se encuentran la estructura y la estabilidad. Representan la síntesis de los atributos que repercuten sobre la productividad y grado de alteración del recurso. El uso agropecuario del suelo modifica su estructura, dependiendo la magnitud de estos cambios del tipo de manejo y del tiempo de utilización del suelo, desde su incorporación a la actividad silvoagropecuaria (Ellies *et al.* 1993, 1994).

Múltiples trabajos sobre el efecto de los componentes del suelo en la estabilidad estructural, destacan la estrecha relación existente entre ésta y el contenido de materia orgánica (Hofman *et al.* 1974).

El efecto agregante de la materia orgánica se basa en una especie de formación de estructura reticular alrededor de los componentes inorgánicos, mediante hifas de hongos y macromoléculas en forma de micelas (Forster 1979), así como también por la unión con grupos -COOH, CO y OH. El efecto agregante se acentúa con la polaridad de estas uniones (Hamblin y Greenland 1977). A pesar del conocido efecto agregante de la materia orgánica, es difícil demostrarlo prácticamente con enmiendas orgánicas (Becher 1985), ya que el efecto estabilizante es alto sólo si el sustrato orgánico se mineraliza fácilmente; en cambio, la materia orgánica de difícil descomposición, apenas afecta la microagregación (Fortun y Fortun 1989).

La destrucción hídrica de los agregados del suelo se debe principalmente a la energía cinética del impacto del agua y a su escurrimiento superficial. El grado de destrucción de la estructura depende de la acción contrarrestante de las propiedades de materia orgánica, que varían constantemente con los

¹ Recibido el 17 de enero de 1995

² Financiado por el proyecto FONDECYT 1940889 y DID-UACH S-94-4 Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia.

procesos de mineralización. Pequeñas cantidades de sustancias orgánicas activas incrementan la estabilidad de los agregados al agua (Giovannini *et al.* 1983).

La estabilidad de los agregados al agua se puede inferir a partir de tamizados en seco y en húmedo, que permiten determinar la variación del tamaño medio de los agregados (Hartge y Horn 1992). La resistencia de un agregado a su destrucción por la adsorción del agua, depende de la afinidad que tengan sus componentes por ésta. Los componentes minerales del suelo se humectan fácilmente por su alta tensión superficial, en relación al aire. Por ello, la resistencia a la humectación en los suelos se debe principalmente a los compuestos orgánicos (Jamison 1942; Letey *et al.* 1969; Letey 1972). La absorción de agua de distintos suelos de igual porosidad depende, en primera instancia, del ángulo de contacto entre las fases sólida, líquida y gaseosa de ellos (Hartge 1959). El ángulo de contacto que forma una gota de agua, y que tiene por vértice la unión entre las tres fases mencionadas, constituye una evaluación microscópica ideal de una situación de equilibrio termodinámico (Wolf 1957).

Por lo anterior, adquieren interés las investigaciones de los fenómenos de superficie, capaces de aportar antecedentes que expliquen la estabilidad estructural. La capacidad de humectación disminuye con un pH bajo y con la presencia de materia orgánica fácilmente degradable. Debido a ello se han encontrado, en determinados suelos, altas correlaciones entre su resistencia a la humectación y la estabilidad de sus agregados al agua (Bachmann 1988).

Las condiciones microclimáticas de los suelos del centro-sur de Chile se alteraron con la desaparición del dosel arbóreo original (Weinberger 1973). La simplificación de la estructura vegetativa modifica el monto y la calidad del aporte de materia orgánica al suelo y, con ello, se provocan cambios en la estructura edáfica (Ramírez *et al.* 1993; Ellies y Hartge 1990). Como no existen informaciones sobre la relación entre humectación y manejo de estos suelos, se estimó conveniente analizar los efectos del manejo sobre la estabilidad de los agregados al agua y sobre la humectación en algunos suelos del centro-sur de Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron las propiedades humectantes y la agregación de tres suelos, ubicados en distintas zonas agroclimáticas del centro-sur de Chile (Montaldo 1973). El uso del suelo en cada sitio es variado y se conocen su utilización y manejo: Uno de los suelos (Serie Valdivia), ubicado en San José de la Mariquina, está sujeto a manejos pecuarios (secuencia 1); el segundo suelo (Serie Malihue) se ubica en Loncoche (secuencia 2) y está sometido a un manejo forestal (secuencia 2) y el tercero (Serie Cudico) está ubicado cerca de la ciudad de La Unión y sujeto a cultivos agrícolas (secuencia 3). En el Cuadro 1 se describen los diferentes usos para cada sitio. Los suelos de los primeros dos sitios son Typic Hapludands y el tercero, Andeptic Palehumult. En todos los casos, la vegetación boscosa original correspondía al Bosque de Roble-Laurel-Lingue (San Martín *et al.* 1991).

Cuadro 1. Síntesis del historial de uso de los suelos.

Tiempo desde la incorporación al uso	Sistema	Uso actual	Denominación
Secuencia 1. Manejo pecuario			
	Sin uso	Bosque nativo secundario	Bosque nativo
1988	Roce bueyes	Pradera	Pradera nueva
1940	Roce máquinas	Desde 1955 Pradera mejorada	Pradera-lechería
1910	Roce con fuego	Pradera degradada y pisoteada	Corredor
1872	Roce con fuego	Rotación Cultivos con pradera	Rotación cultivos
Secuencia 2. Manejo forestal			
	Sin uso	Bosque nativo secundario	Bosque nativo
1940	Roce con fuego	<i>Pinus radiata</i> primera rotación	Pino 1° rotac.
1940	Roce con fuego	<i>Pinus radiata</i> segunda rotación	Pino 2° rotac
Secuencia 3. Manejo agrícola			
	Sin uso	Bosque nativo secundario	Bosque nativo
1900	Roce con fuego	Rotación avena con pradera	Rotación de cultivos
1900	Roce con fuego	Cultivo muy frecuente	Cultivo permanente

En cada uno de los lugares seleccionados, se enterraron, en noviembre de 1992, 20 portaobjetos de vidrio a 5, 15 y 25 cm de profundidad, con el propósito de interceptar, en forma de películas homogéneas, los residuos orgánicos de la solución del suelo. Este método se basa en la afinidad existente entre el vidrio y los compuestos orgánicos en solución. También se enterraron 10 portaobjetos de vidrio en macetas con suelos provenientes de los distintos manejos. Estas muestras de suelo, desprovistas de cubierta vegetal, quedaron bajo condiciones de invernadero siendo regadas periódicamente. Sobre otros 10 portaobjetos se espolvorearon muestras de suelo, por tipo de manejo y estrata, en forma de una capa monogranular de microagregados previamente tamizados en cedazos con 63 μm a 38 μm de diámetro de poro. Los gránulos fueron adheridos al portaobjetos con una cinta adhesiva.

En los experimentos de invernadero y de campo, se desenterraron cinco de los vidrios en setiembre de 1994, y, sobre ellos, se determinaron las propiedades humectantes de la materia orgánica adherida, mediante el ángulo de contacto. Para determinar éste, se colocaron hasta 10 gotas de agua de 0.02 cm^3 sobre los vidrios. La fijación de los ángulos de contacto se efectuó con una lupa de campo de visión horizontal (*contact angle meter*), mediante un gonómetro correspondiente a una línea tangencial visible por el ocular, que tenía como origen la intersección de la fase agua/aire/sólido y se proyectaba como una tangente a la superficie de la máxima curvatura aire/agua (Burckhardt 1985).

La agregación de las estratas de los suelos con sus manejos, se evaluó mediante tamizados en seco y húmedo, midiendo la distribución de las fracciones de agregados y la variación del diámetro medio de los agregados (Hartge y Horn 1992).

RESULTADOS

En las Figuras 1 a 3 se presentan los promedios de los ángulos de contacto y la variación de diámetro medio de los agregados para las tres secuencias de manejo de suelo (manejos agropecuario, forestal y agrícola). Cada figura se descompone en cuatro subfiguras y en la sección A se presentan los ángulos de contacto medido sobre los microagregados; en la sección B, los ángulos de las películas de los

depósitos de solución de suelo sobre los portaobjetos enterrados en condiciones de invernadero; en la sección C, estos mismos ángulos sobre los depósitos formados en los portaobjetos enterrados en los suelos en condiciones de campo; y en la sección D, la variación del diámetro medio de los agregados.

Los ángulos de contacto de la estrata superficial del suelo en los microagregados de la secuencia 1 (pecuaria) presentan un orden de menor a mayor humectación, que coincide con la cronología de uso del suelo desde su incorporación a la actividad agropecuaria (Fig. 1, Sección A). En la secuencia 2 (forestal), la humectación de la estrata superficial se incrementa con el número de rotaciones con pino (Fig. 2, Sección A), y en la secuencia 3 (agrícola), la humectación aumenta en la estrata superficial, cuando el suelo ha sido sometido a araduras frecuentes (Fig. 3, Sección A).

En las tres secuencias de uso de suelo, la humectación se incrementa en profundidad. Es decir, la resistencia a la humectación disminuye con la reducción en el contenido de la materia orgánica observada en el mismo sentido (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenido de materia orgánica (%) de los tres suelos con sus distintos manejos.

Profundidad (cm)	5	15	25
Secuencia 1. Manejo pecuario			
Bosque nativo	24.3	14.21	3.8
Pradera nueva	19.6	14.6	12.7
Pradera lechería	16.0	13.8	5.4
Corredor	12.1	8.9	6.0
Rotación cultivos	11.7	10.2	9.5
Secuencia 2. Manejo forestal			
Bosque nativo	37.8	23.5	9.0
Pino 1° Rotación	19.7	14.5	8.7
Pino 2° Rotación	23.6	16.8	17.7
Secuencia 3. Manejo agrícola			
Bosque nativo	12.6	5.2	.7
Rotación de cultivos	7.5	7.1	5.0
Cultivo permanente	6.4	6.2	3.5

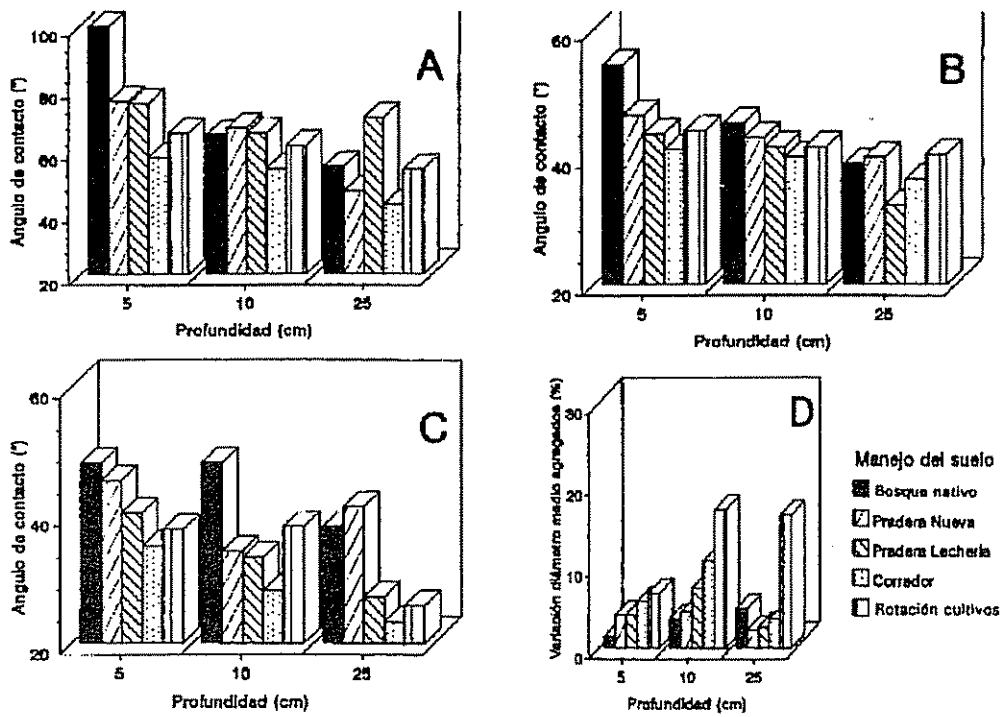


Fig. 1. Efecto del manejo pecuario sobre la humectación y estabilidad de agregados al agua en un suelo Hapludand: a) Angulos de contacto sobre microagregados; b) ángulos de contacto sobre depósitos de soluciones en condiciones de invernadero; c) ángulos de contacto sobre depósitos de soluciones formados en terreno; d) variación en el diámetro medio de los agregados.

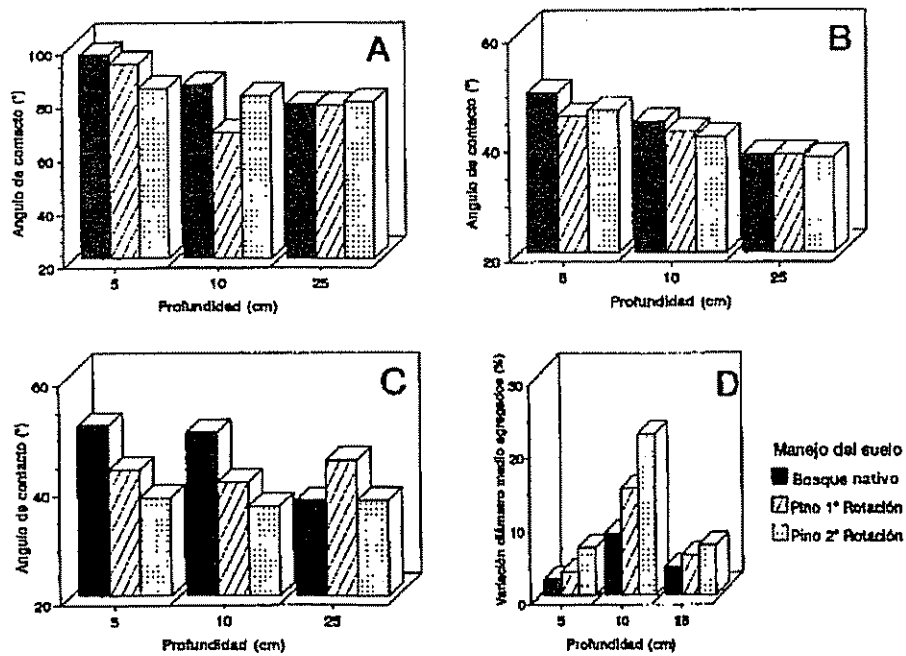


Fig. 2. Efecto del manejo forestal sobre la humectación y estabilidad de agregados al agua en un suelo Hapludand: a) Angulos de contacto sobre microagregados; b) ángulos de contacto sobre depósitos de soluciones en condiciones de invernadero; c) ángulos de contacto sobre depósitos de soluciones formados en terreno; d) variación en el diámetro medio de los agregados.

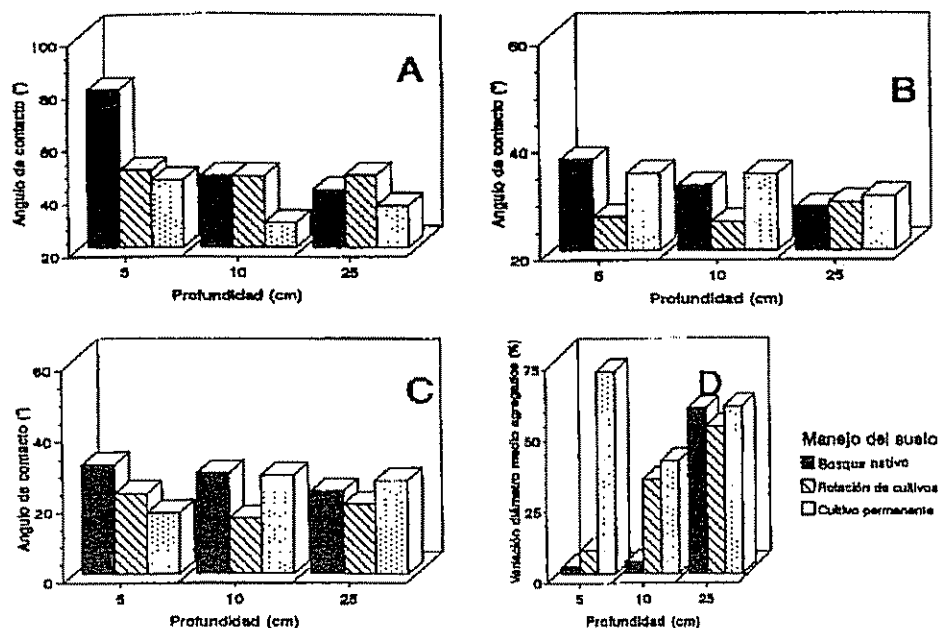


Fig. 3. Efecto del manejo agrícola sobre la humectación y estabilidad de agregados al agua en un suelo Pelehumult: a) Ángulos de contacto sobre microagregados; b) ángulos de contacto sobre depósitos de soluciones en condiciones de invernadero; c) ángulos de contacto sobre depósitos de soluciones formados en terreno; d) variación en el diámetro medio de los agregados.

La secuencia en orden decreciente de los ángulos de contacto equivalente a un incremento en la humectación de los microagregados se repite, en gran medida, sobre los precipitados de soluciones de suelo formados sobre los portaobjetos tanto en condiciones de invernadero (Sección B, Figs. 1 a 3) y de campo (Sección C, Figs. 1 a 3).

La variación del diámetro medio de los agregados después de un tamizado en seco y bajo agua, se incrementa para los tres suelos a medida que aumenta la humectación. Por ende, los agregados son menos estables al agua cuando la humectación del suelo incrementa y el contenido de la materia orgánica tiende a disminuir (Sección D, Figs. 1 a 3).

Finalmente, en el Cuadro 2 se presenta para los tres suelos y sus distintos manejos, el contenido de la materia orgánica. Esta disminuye en los suelos utilizados por un período más prolongado o que fueron sometidos a un uso más intenso.

DISCUSIÓN

De los resultados de esta investigación se desprende que los ángulos de contacto disminuyen

junto con las reducciones de la materia orgánica y de la estabilidad de los agregados al agua. Las tres metodologías con que se cuantifica la humectación de los suelos, sujetos a distinto manejo, indican que la máxima resistencia a la humectación siempre se presenta en sitios bajo bosque nativo, lo que equivale a los suelos menos intervenidos. El ángulo de contacto disminuye y, con ello, aumenta la capacidad de humectación a medida que el uso del suelo se prolonga por más tiempo o que la intensidad o frecuencia de uso, se incrementa.

La materia orgánica es determinante en la magnitud de la resistencia a la humectación de los suelos, aun cuando su contenido no cambia substancialmente en cada uno de los tres distintos manejos. Ello permite inferir que los cambios en la humectación se deben más que nada a cambios cualitativos de la materia orgánica y que esto constituye el factor determinante en las propiedades humectantes de los suelos. Esta observación se destaca en especial en la secuencia 1, donde el suelo superficial del sitio bajo bosque nativo presenta el mayor contenido de carbono orgánico y, también, el mayor ángulo de contacto. Al eliminar el bosque nativo se reduce levemente el contenido de materia orgánica pero la reducción de los ángulos de contacto sobre los microagregados, es muy drástica (Fig. 1, Sección A).

Aparentemente, la capacidad de humectación de los suelos está en estrecha relación con las fracciones lábiles de materia orgánica. La humectación decrece con aportes orgánicos altos y frecuentes al suelo.

La relación directa entre los ángulos de contacto y el contenido de la materia orgánica se destaca más en las estratas profundas. Sin embargo, en las secuencias 1 y 3 para los manejos de rotación de cultivos y cultivos permanentes -es decir sitios con una frecuente inversión del suelo mediante araduras-, los ángulos de contacto se mantienen en profundidad. La reducción del ángulo de contacto en el suelo con una segunda rotación de pino (secuencia 2), a pesar de su alto contenido en materia orgánica, se explica más bien por los cambios cualitativos de ésta. Al eliminar el bosque nativo reemplazándolo por otro artificial, se modifica la naturaleza y calidad del aporte de materia orgánica al suelo (Ramírez *et al.* 1993), ya que al mismo tiempo que disminuyen las especies presentes, éstas corresponden en su mayoría a malezas arbustivas (Ramírez *et al.* 1984). Aparentemente, esta modificación trasciende los ángulos de contacto recién con la segunda rotación.

La magnitud de los valores de los ángulos de contacto de las secuencias pecuaria y forestal semejantes entre sí, se diferencian de la secuencia agrícola, debido seguramente a que los dos primeros suelos son Hapludands y, en cambio, el tercero es un Palehumult. Por otro lado, este último presentaba el uso más intensivo en cuanto a inversiones del horizonte superficial. Esto implica entonces que la capacidad de humectación depende más del tipo que del tiempo de uso del suelo.

También merece destacarse la estrecha relación que existe entre la estabilidad estructural y la humectación, ya que al carecer los suelos de gran afinidad por el agua, sus agregados son más estables a la dispersión y, por ende, a la erosión. Sin embargo, una resistencia extrema a la humectación no favorece el desarrollo vegetal, pero sí se requiere cierto grado de resistencia a la humectación para mantener la matriz porosa o el sistema de agregados del suelo. Es interesante destacar que la estabilidad de los agregados del suelo al agua, está más estrechamente ligada a los ángulos de contacto que al contenido total de materia orgánica. Esto parece lógico, porque para dispersar las partículas del suelo, ellas deben tener necesariamente afinidad con el agua.

La determinación del ángulo de contacto sobre microagregados y precipitaciones de soluciones del

suelo sobre portaobjetos permite conclusiones semejantes. Aun cuando los ángulos no son de la misma magnitud, la tendencia en tamaño tiende a ser similar para las capas superiores del suelo y, también, entre los microagregados y los ángulos sobre depósitos de estratas específicas mantenidas en condiciones de invernadero. Esto permite inferir que las sustancias hidrófobas del suelo son móviles.

CONCLUSIONES

La resistencia a la humectación de un suelo disminuye a medida que su uso se prolonga en el tiempo o cuando ha sido sometido frecuentemente a inversiones.

Existe estrecha relación entre resistencia a la humectación y contenido de materia orgánica. Sin embargo pesan más los aspectos cualitativos que los cuantitativos.

La estabilidad de los agregados al agua tiene relación con la resistencia a la humectación.

Los ángulos de contacto medidos sobre microagregados y precipitaciones de soluciones del suelo, permiten metodológicamente obtener similares conclusiones.

LITERATURA CITADA

- BACHMANN, J. 1988. Auswirkung der organischen Substanz verschiedenen Zersetzungsgrades auf die physikalischen Bodeneigenschaften U. Hannover p. 146.
- BECHER, H.H. 1985. Grenzen der Nachweismöglichkeit einer Gefügebeeinflussung durch organische Düngung oder Verdichtung. VDLUFA-Schriftreihe 16:281-286
- BURGHARDT, G. 1985. Bestimmung der Benetzungseigenschaften von Moorbodenlösungen durch Kontaktwinkelmessungen. Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung und Bodenkde 148:66-72
- ELLIES, A.; HARTGE, K.H. 1990. Erfassung der Gefügeveränderung infolge von Inkulturnahme von Böden des Sekundärwaldes in Südchile durch Multivarianzanalyse Z. fuer Kulturtechnik und Landentwicklung 31:380-388.
- ELLIES, A.; RAMÍREZ, C.; MAC DONALD, R. 1993. Cambios en la porosidad de un suelo por efecto de su uso Turrialba 43(1):72-76.
- ELLIES, A.; RAMÍREZ, C.; FIGUEROA, H. 1994. Cambios morfológicos del espacio poroso de un Hapludand sometido a distintos usos agropecuarios. Agro Sur (Chile) 22(1):23-32

- FORTUN, C.; FORTUN, A. 1989. Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. *Anales de Edafología y Agrobiología* 48:185-204.
- FORSTER, S.M. 1979. Microbial aggregation of sand in an embryo dune system. *Soil Biology and Biochemistry* 11:537-543.
- GIOVANNI, J.; LUCCHESI, S.; CERVELLI, S. 1983. Water-repellent substances and aggregate stability in hydrophobic soil. *Soil Science* 135:110-113.
- HAMBLIN, A.P.; GREENLAND, D.J. 1977. Effect of organic constituents and complex metal ions on aggregate stability of some East Anglian soils. *Journal of Soil Science* 28:410-416.
- HARTGE, K.H. 1959. Ursachen der Verbesserung der Strukturstabilität durch Kalkung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 85(130):214-217.
- HARTGE, K.H.; HORN, R. 1992. Die physikalischen Untersuchungen von Böden. *Enke 3rd Stuttgart* p. 177.
- HOFMAN, G.; DE LEENHEER, L.; APPELAMANS, F. 1974. Medelingen van de Riksfaculteit Landbouwetenschappen. *Gent* 39:1622-1634.
- JAMISON, V.C. 1942. The slow reversible drying of sandy soil beneath citrus trees in central Florida. *Soil Science Society of America. Proceedings* 7:36-41.
- LETEY, J.; MARTIN, J.P.; SAVAGE, S.M. 1969. Contribution of some soil fungi to natural and heat induced water repellency in sand. *Soil Science Society of America. Proceedings* 33:405-409.
- LETEY, J. 1972. Substances contributing to fire-induced water repellency in soils. *Soil Science Society of America. Proceedings* 36:374-378.
- MONTALDO, P. 1973. Determinación de zonas agroclimáticas entre la Cuesta de Lastarria y el Seno de Reloncaví, Chile. *Agro Sur* 3(2):117-130.
- RAMÍREZ, C.; FIGUEROA, H.; CARRILO, R.; CONTRERAS, D. 1984. Estudio fitosociológico de los estratos inferiores en un bosque de pino (Valdivia, Chile). *Bosque* 5(2):65-81.
- RAMÍREZ, C.; SAN MARTÍN, C.; ELLIES, A.; MAC DONALD, R.; FIGUEROA, H. 1993. Cambios florísticos y radicales en un suelo forestal sometido a diferentes manejos. *Boletín Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo* 10:11-31.
- SAN MARTÍN, C.; RAMÍREZ, C.; FIGUEROA, H. OJEDA, N. 1991. Estudio sinecológico del bosque de Roble-Laurel-Lingue del centro-sur de Chile. *Bosque* 12(2):11-27.
- WEINBERGER, P. 1973. Beziehungen zwischen mikroklimatischen Faktoren und natürlicher Verjüngung araukano-patagonischer Nothofagus-Arten. *Flora* 162:157-179.
- WOLF, K.L. 1957. *Physik und Chemie der Grenzflächen*. Berlin, Springer Verlag p. 230.