

EFFECTO DEL MANEJO SOBRE LA ESTRUCTURA DEL SUELO

Achim Ellies Sch.¹
Renato Grez Z.²
Carlos Ramírez G.³

RESUMEN

Se evaluó el efecto del manejo sobre las propiedades estructurales de un Hapludand situado en Mariquina (Valdivia). Los sitios elegidos estaban próximos entre sí y correspondían a manejos bajo bosque nativo, praderas con distintos usos y edades y sitios bajo rotaciones culturales. Se extrajeron muestras inalteradas de suelo para determinar capacidad de soporte, resistencia al corte directo y distribución volumétrica de los componentes del suelo. Además, se evaluaron las propiedades humectantes en los distintos sitios. En terreno se determinó la resistencia a la penetración. En los manejos intensivos incrementan la resistencia a la penetración, la capacidad de soporte y la cohesión del suelo. Esta última depende en gran medida de la cantidad de raíces presentes. Al eliminar el bosque nativo se asienta el suelo, la pérdida de volumen continua durante el uso con una tasa decreciente. La pérdida de la porosidad total del suelo afecta en especial a los poros gruesos. La porosidad media incrementa en el tiempo con un manejo pratense. El deterioro estructural va aparejado con un incremento de la capacidad de humectación de los suelos.

¹. Ing. Agr. Ph.D. Universidad Austral de Chile. Casilla 567 Valdivia, Chile.

². Dr. Cs. Naturales. Universidad Austral de Chile. Casilla 567 Valdivia, Chile.

³. Dr. en Ciencias. Universidad Austral de Chile. Casilla 567 Valdivia, Chile.

ABSTRACT

The effect of management on structure properties of a Hapludand soil situated in Mariquina in Southern Chile was evaluated. The places selected were from a native forest up to sites under different pastures with different ages and sites with crops. Undisturbed soil samples were taken for the determination of bearing capacity, cohesion and the volumetric components of soil. Even soil penetration resistance was determined and surfactant properties of the different sites. Intensive soil management increases soil resistance to penetration, bearing capacity and cohesion. The last depends on the amount of roots. A settlement of the soil was detected through a decrease of pore volume after the elimination of native forest. Further use showed only a small reduction of soil volume. This loss of pore volume affects especially large pores. In pastures management increases medium pores. The detriment of structure occurs simultaneously with an increase of the soil humectation.

Key words: Soil management, bearing capacity, cohesion, pore size distribution, settlement, organic matter.

* Patrocinio de los proyectos FONDECYT 1940994 y DID UACH S-4-94

** Universidad Austral de Chile, Casilla 567 Valdivia, Chile

INTRODUCCION

El suelo es el sustrato donde las plantas anclan sus raíces, para mantenerse erguidas. También es un reservorio y una vía para el transporte del agua y del aire. Las alteraciones de la estructura del suelo modifican estas dos últimas funciones y con ello, se afecta el desarrollo vegetal.

La génesis de estructura y de la porosidad del suelo se inicia con los procesos de contracción e hinchamiento (Anderson, 1991). Posteriormente, las pedobioturbaciones y la formación de estabilizantes contribuyen a mantener el estado estructurado del suelo (Hantschel *et al.*, 1988).

Los cambios que experimenta la estructura y/o espacio poroso del suelo dependen de su manejo. Un pisoteo animal o un laboreo en condiciones muy húmedas, produce un batido del suelo, con lo cual se reduce la acción de los estabilizantes y se modifica su porosidad (Sommer, 1979; Ellies *et al.*, 1994a, 1994b). En estas condiciones se deteriora el accionar físico de la materia orgánica y como consecuencia de ello, pierde su capacidad agregante (Ellies y Hartge, 1994).

Los cambios tecnológicos experimentados por la agricultura con la llamada revolución verde, indujeron a un aumento en la potencia y el peso de la maquinaria agrícola. Además, frecuentemente las labores se realizan en condiciones desfavorables, cuando el suelo aún presenta un exceso de humedad. Resultados de ello, son la compactación del suelo y la redistribución de la frecuencia por tamaño de sus poros (Helal, 1990; Ellies *et al.*, 1994a, 1994 b).

Una consolidación del suelo va aparejada con un incremento en las tensiones. Un estado más tenso provoca una mayor firmeza, aumentando la resistencia de los poros arraigables que no

pueden ser expandidos cuando la fuerza que une a las partículas es mayor que la presión axial ejercida por las raíces (Becher, 1978; Horn, 1984).

Por todo lo anterior, las propiedades estructurales de los suelos son transitorias, cuando están sujetos a manejos agropecuarios. En la presente investigación se cuantifican los cambios que experimenta la estructura del suelo por efecto del uso.

MATERIALES Y METODOS

Las mediciones se efectuaron en un suelo Hapludand (Serie Pelchuquín), ubicado en San José de la Mariquina (provincia de Valdivia), con diversos historiales de uso conocidos. Bajo las condiciones húmedo-templadas imperantes en la zona, la vegetación natural corresponde al bosque nativo parcialmente caducifolio de Roble-Laurel-Lingue (Nothofago-Perseetum linguae) que representa la situación original (San Martín et al., 1991) y, al comparar las propiedades estructurales y mecánicas de su suelo, con las de aquellos que han tenido distintos usos, se pueden determinar los cambios producidos con dicha intervención antrópica.

Se seleccionaron 5 sitios, en los cuales, el suelo estuvo sujeto a distintos manejos agropecuarios. Un sexto lugar lo constituyó el bosque nativo, que serviría de patrón de comparación. Los sitios estaban próximos entre sí (menos de 400 m de separación). En el Cuadro 1 se detalla el sistema de incorporación y tipo de uso de cada sitio.

Cuadro 1. Historial del uso y manejo del suelo estudiado

Fecha inicio del uso	Sistema de eliminación del bosque	Uso histórico y actual
Sin uso		Bosque nativo secundario desde 1926 (Bosque Nativo)* Sin uso pecuario
1988	con bueyes	Pradera recién establecida (Pradera Nueva) Pradera de rotación larga y extensiva (Aprox. 1.0 U.A./ha)
1980	parcial con bueyes y maquinaria	Pradera con bosque (Silvopastoreo) Pradera de pastoreo estacional con vacas lecheras (0.8 U.A./ha.)
1940	mecánica	Pradera permanente de lechería (Pradera) Pradera con pastoreo rotacional intensivo con vacas lecheras (Aprox. 2.2 U.A./ha.)
1910	fuego	Pradera con tránsito continuo (Corredor) Potrero de distribución animal
1872	fuego	Pradera en rotación (Cultivos)

* Entre paréntesis se indican las abreviaturas usadas en las figuras

Las mediciones se efectuaron por estratas de 10 cm hasta una profundidad de 50 cm, y a partir de ésta, en estratas de 25 cm hasta una profundidad máxima de 125 cm.

Para la caracterización mecánica y del sistema poroso del suelo se extrajeron muestras no alteradas, con cilindros metálicos en las estratas señaladas anteriormente y, en terreno, se evaluó la firmeza del suelo mediante un penetrómetro cónico.

Para determinar la capacidad de soporte se ajustaron muestras inalteradas en condiciones saturadas a un anillo odométrico, aplicándose presiones sucesivas, duplicadas cada 10 minutos desde 6,25 a 400 kPa. A partir de la relación deformación/log presión se determinó la preconsolidación con un método gráfico. En ensayos de corte directo con muestras similares se determinaron los coeficientes de roce y cohesión. El corte se efectuó, en rangos de tensiones entre 25 y 200 kPa. (Kézdi, 1972). Para caracterizar el espacio poroso las muestras saturadas en los cilindros fueron llevadas a un equilibrio de tensión de agua de 6, 33 y 1.500 kPa. Ello permitió determinar la distribución volumétrica de las fracciones de poros según tamaño.

RESULTADOS

En la Figura 1 se representa la variación de la firmeza del suelo o resistencia a la penetración, que aumenta junto con la densidad aparente, en los sitios sujetos a manejo intensivo. En los sitios bajo bosque nativo o en aquellos donde este fue eliminado recientemente, se mantuvo la soltura original.

En la Figura 2 se representan las curvas de los ensayos odométricos de las estratas superficiales en los sitios estudiados. En la Figura 3 se representa la capacidad de soporte, que aumenta en los sitios sujetos frecuentemente a cargas altas.

La cohesión determinada por ensayos de corte directo, se representan en la Figura 4. Los valores de la resistencia mecánica son muy bajos y corresponden a la resistencia estructural real de un suelo saturado.

En la Figura 5 se grafica el asentamiento expresado como una pérdida de grosor del suelo para una profundidad referencial de 75 cm. La base de comparación la constituye el sitio bajo bosque nativo.

En la Figura 6 se representan los perfiles volumétricos de los seis sitios en un orden temporal secuencial, de menor a mayor, según la duración de la intervención del suelo. En estos perfiles se representan los poros de drenaje rápido ($>$ de $50 \mu\text{m}$ de diámetro), poros de drenaje lento ($50 - 10 \mu\text{m}$ de diámetro), poros medianos o de agua útil (con un diámetro entre $10 - 0,2 \mu\text{m}$) y poros finos o de agua inútil (con $<$ $0,2 \mu\text{m}$ de diámetro). La materia orgánica y los componentes minerales del suelo también se graficaron en términos volumétricos.

La Figura 7 representa, para los distintos manejos del suelo, un equivalente de altura de las distintas fracciones del sistema poroso. Para ello se mantiene constante el volumen que ocupan los sólidos del suelo bajo bosque nativo.

Finalmente, en la Figura 8 se representan los ángulos de humectación de las estratas superficiales. El mayor ángulo o resistencia a la humectación se observa en los sitios menos intervenidos.

Los resultados en las distintas figuras y cuadros se presentan hasta una profundidad de 75 cm, hasta donde trascendieron los efectos del manejo. A profundidades mayores, las diferencias entre los sitios se deben a propiedades intrínsecas del material generador.

DISCUSION

La resistencia a la penetración del suelo, aumenta con la intensidad de manejo (Fig. 1), y va aparejada con una disminución del espacio poroso aparente, en especial de la porosidad gruesa. En el sitio bajo bosque nativo, o en aquellos donde éste fue eliminado recientemente, se conserva la porosidad original. Con el uso agropecuario aumenta la resistencia a la penetración, en especial la de las estratas superiores. El aumento de la firmeza del suelo es mayor en los sitios sujetos a pisoteo animal, que en aquellos sometidos a un uso agrícola prolongado. Se puede inferir, que un aumento en la resistencia a la penetración se debe más al tipo que al tiempo de uso.

Las curvas de consolidación de los sitios escasamente intervenidos tienen el carácter de una curva de consolidación primaria; mientras que, en los sitios con un uso prolongado, ésta toma la forma típica de una curva de consolidación secundaria (Fig. 2). Esto se explica porque la capacidad de soporte del suelo, o su preconsolidación, incrementa con el tiempo e intensidad de uso (Fig. 3). En los sitios menos intervenidos, ella es muy baja en relación con la de los lugares utilizados por un tiempo más prolongado. El sitio bajo cultivo y la pradera pisoteada utilizada como corredor de tránsito animal, presentan una capacidad de soporte similar, pero en profundidades medias la del primero es más alta. Esto refleja la profundidad de trabajo de los equipos de labranza, y equivale a la presencia de un incipiente pie de arado.

El sitio bajo bosque nativo presenta la menor preconsolidación, seguido por la pradera incorporada recientemente a la actividad pecuaria (roce) y por el sitio utilizado como silvopastoreo. Esta secuencia en el incremento en la capacidad de soporte, se debe a la mayor frecuencia y oportunidad con que este sitio ha sido sometido a cargas altas. El incremento de la preconsolidación se produce necesariamente, a expensas de una reducción del espacio poroso secundario como se describe más adelante.

Para todos los sitios estudiados la cohesión es muy baja, y en especial en las estratas profundas (Fig. 4). Este parámetro corresponde a la cohesión estructural permanente de un suelo saturado y no a aquella de carácter temporal producida por la deshidratación parcial del suelo. La cohesión permanente o real se debe a la presencia de elementos agregantes tales como, la materia orgánica y los óxidos hidratados. Esta cohesión no es dependiente del contenido de agua en el suelo. La secuencia de la magnitud de esta cohesión real no sigue aparentemente, un patrón definido. Esto se explica porque ella tiene dos componentes, uno dependiente de cementantes estructurales del suelo mismo y el otro que corresponde al amarre del sistema radicular. Este último es muy importante en las estratas superficiales de los sitios con un uso pecuario o con praderas permanentes debido al mayor desarrollo radicular, de hierbas hemicriptofíticas cespitosas perennes (Ramírez et al., 1994). El Cuadro 2 ilustra las diferencias en el arraigamiento entre los distintos manejos. La biomasa radical en el suelo de bosque está repartida a lo largo de todo el perfil; mientras que en los manejos pecuarios, ella se concentra en los horizontes superficiales. Además, sólo en el suelo del bosque nativo dominan las raíces gruesas (>2 mm) y en todos los manejos agropecuarios aquellas finas (<2 mm) que crecen profusamente en los horizontes superficiales.

Cuadro 2. Biomasa radical (g/l) del suelo superficial sometido a distintos manejos

Manejo	Raíces gruesas	Raíces finas	Total
Bosque nativo	20.21	13.10	33.38
Pradera nueva	9.07	17.01	26.19
Silvopastoreo	4.51	10.73	15.31
Pradera	2.60	10.69	13.34
Corredor	4.47	17.32	21.79
Cultivo	3.54	10.79	14.40

Los cambios estructurales más significativos del suelo sujeto a distintos usos se producen en el sistema poroso. La pérdida de grosor del suelo ocurre de inmediato una vez eliminado el dosel arbóreo original. Posteriormente, el pisoteo animal y el tránsito de maquinarias repercuten significativamente en el asentamiento. La reducción del grosor del suelo en la pradera nueva, después de cuatro años de la corta del bosque nativo, fue de 213 mm. El asentamiento es máximo con 271 mm en el sitio bajo rotaciones culturales (Fig. 5). La magnitud de este asentamiento del suelo es incluso mayor al observado en otro Hapludand sometido a una explotación forestal, donde llegó sólo hasta 57 mm (Ellies *et al.*, 1993).

El asentamiento del suelo es el resultado de la magnitud de las cargas que recibió en el pasado. Este asentamiento implica una disminución del espacio poroso. El perfil volumétrico del sitio bajo bosque nativo (Fig. 6) presenta el mayor espacio poroso total con un dominio de los poros más gruesos. Al eliminar el bosque y establecer una pradera se reduce el

espacio poroso total, a expensas de la fracción de poros muy gruesos. La reducción del espacio poroso más grueso continúa con la duración del uso, aunque con una tasa decreciente. En el sitio bajo silvopastoreo disminuye la porosidad total, pero aumenta aquella fracción media o de agua útil. Con un manejo pratense prolongado e intensivo continúa la reducción de la porosidad gruesa, pero la dirección de los cambios tiende a revertirse, al aumentar, la porosidad de agua útil a expensas de la fina. En el corredor o pradera pisoteada la porosidad gruesa se pierde, mientras que la muy fina, incrementa. Finalmente, el sitio bajo rotaciones culturales mantiene una leve reducción de la porosidad gruesa.

Las modificaciones cualitativas del espacio poroso a consecuencia del tipo de uso son más importante que los cambios cuantitativos en él. La utilización del suelo reduce la porosidad gruesa, ésta pérdida es compensada parcialmente, con un aumento de la porosidad media.

Los cambios que experimenta la porosidad se observan también en la distribución de las fracciones porosas por unidad de volumen de sólidos minerales (Fig. 7). Bajo esta perspectiva, las alteraciones se producen en la porosidad gruesa o secundaria. Esta fracción de poros se reduce a una tasa decreciente con el tiempo de uso. La porosidad muy fina por el contrario, sólo experimenta cambios leves.

En los seis perfiles volumétricos se observa que los contenidos de materia orgánica son semejantes, con la única excepción del suelo bajo bosque nativo. En términos gravimétricos las diferencias pueden ser aún mayores. El volumen de la materia orgánica del suelo disminuye desde el bosque nativo al sitio bajo pradera reciente y más tarde no se observan tendencias definidas. Sin embargo, existe un cambio cualitativo de la materia orgánica en el suelo. Los suelos menos intervenidos presentan una mayor ángulo de contacto o resistencia a la humectación (Fig. 8). La rotura y/o dispersión de los agregados de un suelo por la

acción del agua, depende de su susceptibilidad a la humectación, la cual se modifica con los cambios cualitativos que experimenta la materia orgánica debido al manejo, al desarrollo pedológico, y a la naturaleza de la vegetación que los cubre. En los sitios más intervenidos disminuyen los ángulos de contacto, es decir, incrementa la afinidad con el agua. Con ello se facilita la dispersión y el consecuente colapsamiento del sistema poroso grueso. Los cambios en la resistencia a la humectación son más notorios en las estratas más superficiales del suelo, que son las más susceptibles a la acción del agua.

CONCLUSIONES

El incremento en la firmeza del suelo aumenta más con el uso pecuario que con el uso agrícola.

La capacidad de soporte de un suelo aumenta con la intensidad de uso.

Los sitios con un mayor desarrollo radicular presentan una mayor cohesión real.

El asentamiento de una columna del suelo depende de las cargas con los cuales ha sido solicitado durante su uso.

Con el cambio de bosque nativo a pradera disminuye el volumen total de poros, en especial de la porosidad gruesa mientras que aumentan las porosidades media y fina.

Las distintas alternativas de manejo del suelo no alteran significativamente el contenido volumétrico de materia orgánica, pero ésta sufre cambios cualitativos que modifican su potencial agregante.

Figura 1: Resistencia a la penetración vertical de un suelo sujeto a distintos manejos

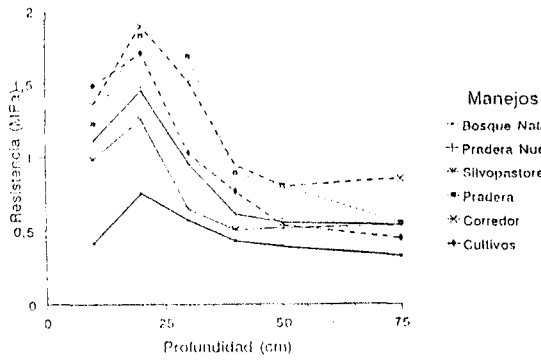


Figura 2: Curvas de consolidación de la estrata superficial de un suelo sujeto a distintos manejos

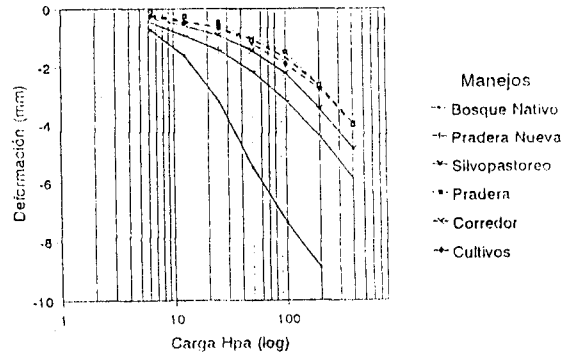


Figura 3: Capacidad de soporte de un suelo sujeto a distintos manejos

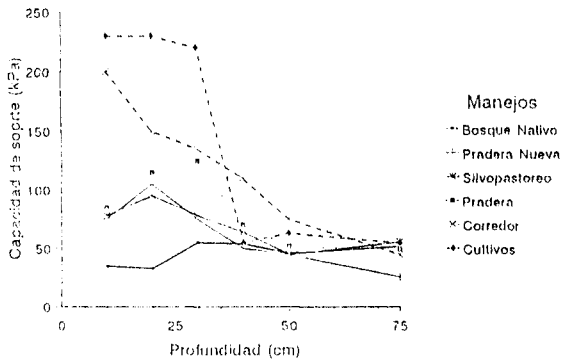


Figura 4: Cohesión real en un suelo sujeto a distintos manejos

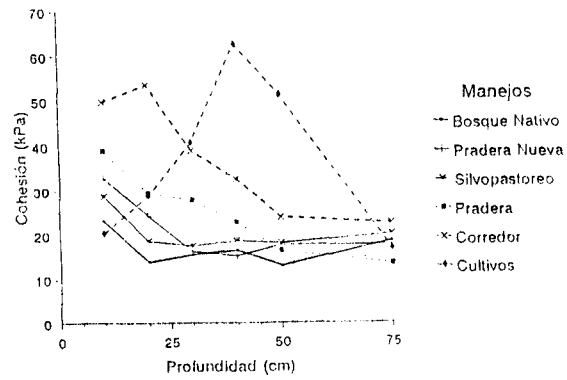
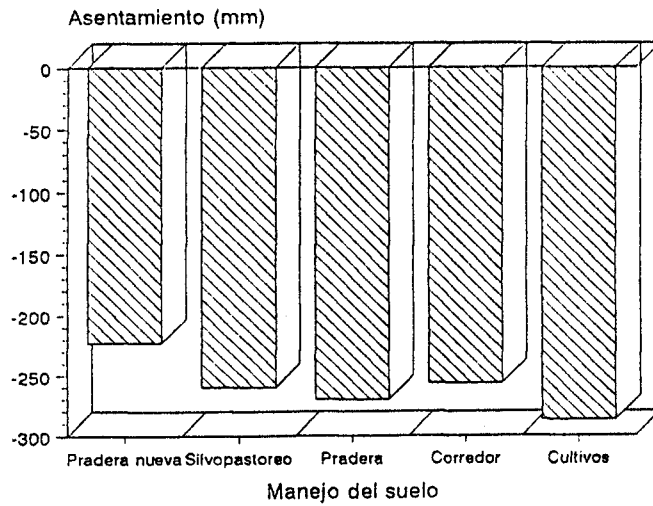
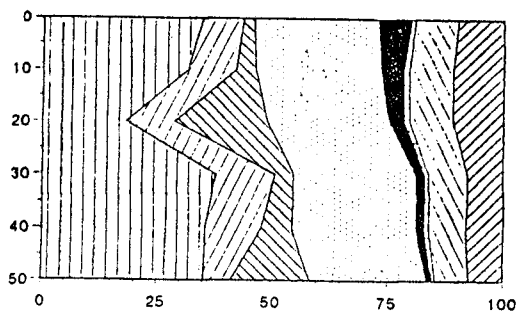


Figura 5: Asentamiento en un suelo sujeto a distintos manejos

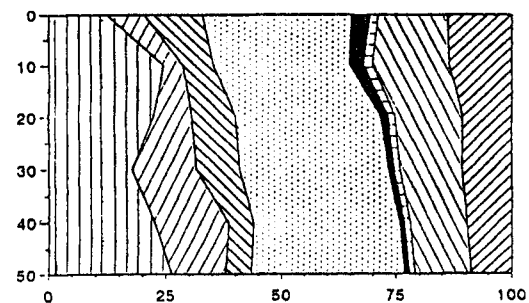


Profundidad (cm)

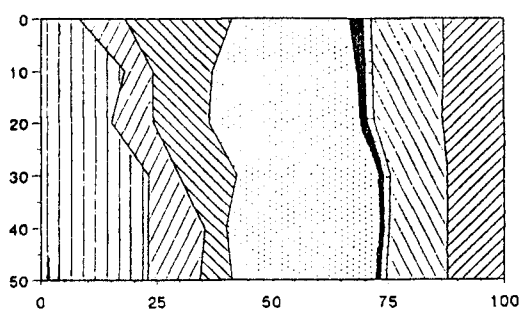


BOSQUE NATIVO

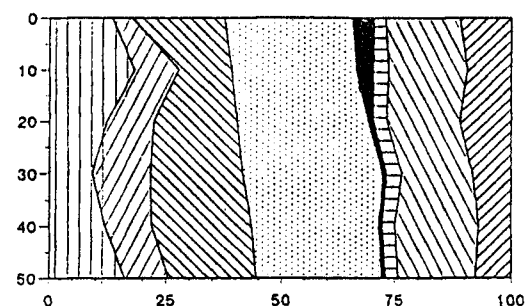
Profundidad (cm)



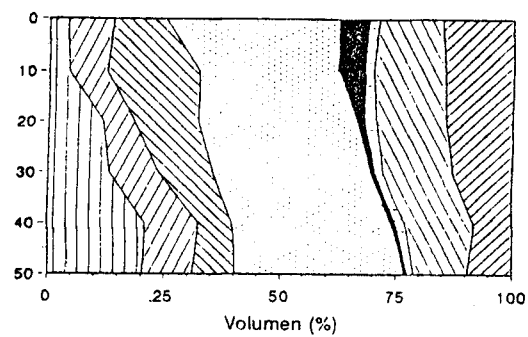
PRADERA NUEVA



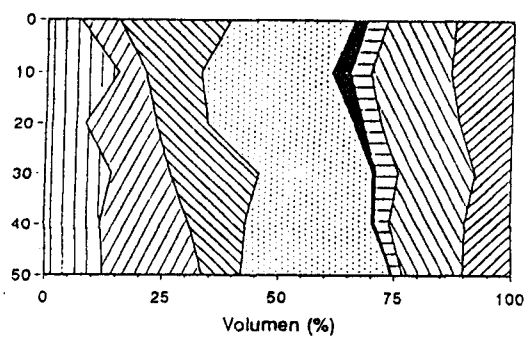
SILVOPASTOREO



PRADERA



CORREDOR



CULTIVOS

Distribución volumétrica de los componentes del suelo

□ Poros $\geq 50 \mu\text{m}$	▨ Poros 50-10 μm	▩ Poros 10-0,2 μm	▧ Poros $\leq 0,2 \mu\text{m}$
■ M. Orgánica	▤ Arena	▥ Limo	▦ Arcilla

Figura 6: Perfiles volumétricos de un suelo sujeto a distintos manejos

Figura 7: Distribución volumétrica comparativa de un suelo sujeto a distintos manejos

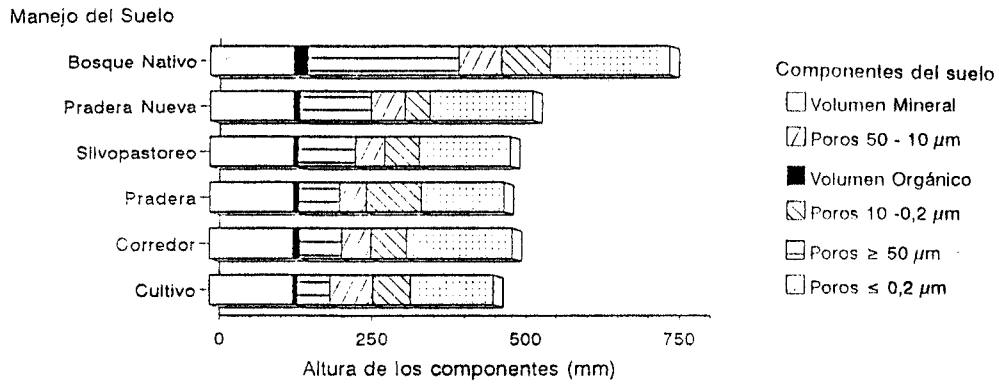
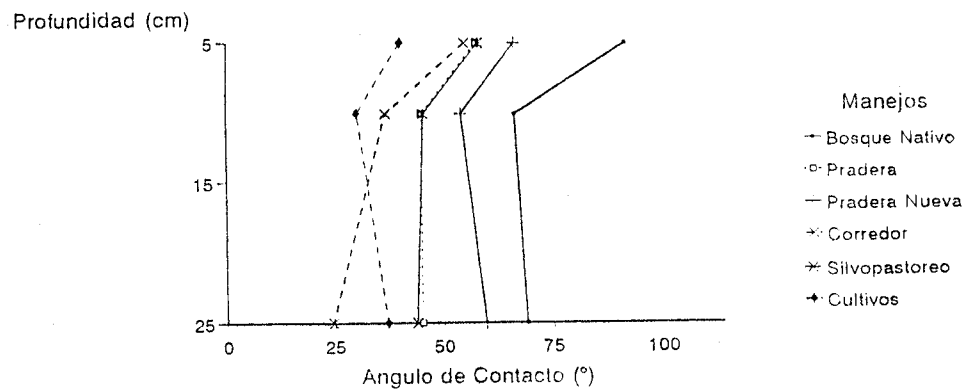


Figura 8: Angulos de humectación de un suelo sujeto a distintos manejos



LITERATURA CITADA

- ANDERSON, T. H. 1991. Bedeutung der Mikroorganismen für die Bildung von Aggregaten im Boden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 154: 409-416
- Becher, H. H., 1978: The resistance to penetration of model soils depending on water tension. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 141: 621-633.
- ELLIES, A., RAMIREZ, C., Y MAC DONALD, R. 1993. Cambios en la porosidad de un suelo forestal por efecto de su uso. Bosque (en prensa)
- Ellies, A., y Hartge, H. 1994. Veränderung der Benetzungseigenschaften der Böden mit verschiedenen Kulturen und Kulturdauer. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landesbau (en prensa).
- ELLIES, A., RAMIREZ, C., MAC DONALD, R. Y FIGUEROA, H. 1994. Modificaciones estructurales por efecto de tiempo de uso en un Hapludand. Agro Sur 22(1) 15-22.
- ELLIES, A., RAMIREZ, C. Y FIGUEROA, H. 1994. Cambios morfológicos estacionales del espacio poroso en un Hapludand. Agro Sur 22(1) 23-32.
- Hantschel, R., Durner, W. y Horn, R. 1988 Die Bedeutung von Porenheterogenitäten für die Erstellung der pF/WG- und k/psi-Kurven. DBG 53: 403-409.
- HELAL, H.M. 1991. Bodengefüge, Wurzelentwicklung und Wurzelfunktionen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 154: 403-407.
- HORN, R., 1984: The prediction of the penetration resistance of soils by multiple regression analysis. Z. F. Kulturtechnik und Flurbereinigung 25: 377- 380.
- Kézdi, A., 1969: Handbuch der Bodenmechanik, I. Bodenphysik.- VEB-Verlag Bauwesen, Berlin 500 p.
- RAMIREZ, C., SAN MARTIN, C., ELLIES, A. Y MAC DONALD, R. 1994. Cambios florísticos desde el bosque nativo a comunidades antropogénicas sometidas a diferentes manejos agropecuarios en un suelo trumao (Valdivia, Chile). Agro Sur 22 (1): 57-72.
- SAN MARTIN, C., RAMIREZ, C., FIGUEROA, H. Y OJEDA, N. 1991. Estudio sinecológico del Bosque de Roble-Laurel-Lingue del Centro-Sur de Chile. Bosque 12 (2): 11-27.
- SOMMER, C., 1979: Bodenverdichtung und ihre Beurteilung. Z. F. Kulturtechnik und Flurbereinigung 20: 257-268.