

# Efecto del manejo sobre las propiedades físicas de suelos trumaos y rojo arcillosos\*

The land use effect on the physical properties of an Hapludand and a Palehumult

C.D.O.: 116.28; 114.1

ACHIM ELLIES SCH.

Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile

## SUMMARY

The influence of land use on the physical and mechanical properties of an Hapludand soil under cropping and a Palehumult soil under native forest in southern Chile was analyzed. The sites under forest were used as a reference base to evaluate changes. Pore size distribution, bearing capacity, and structural cohesion were determined on undisturbed samples from the different soil layers. At the field sites, penetration and torsion resistance were determined. Under intensive land use, several changes on the soil physical properties were evident. An increase in the settlement under intensive land use in both soils was noted. A loss of pore space was observed for large pores, thereby increasing the number of middle and fine pores. The Hapludand soil showed seasonal changes on pore size distribution greater than the Palehumult. The decrease in the slopes of the consolidation curves in the intensively used sites was associated with an increase in the bearing capacity, structural cohesion, torsion resistance, and soil penetration resistance. The reduced stability in water of soil aggregates from the intensively used sites was correlated with both quantitative and qualitative modifications in the soil organic matter. These soils also wetted and crumbled easily.

## RESUMEN

Se evaluaron los efectos del manejo sobre las propiedades volumétricas y mecánicas en un suelo Hapludand sometido a un manejo forestal y otro Palehumult sometido a un manejo agrícola. La base de referencia para evaluar la magnitud y dirección de los cambios la constituyen los mismos suelos bajo bosque nativo. Se extrajeron muestras de suelo inalteradas, para determinar la distribución del espacio poroso, la capacidad de soporte y la cohesión estructural. En terreno se evaluó la resistencia a la penetración y a la torsión. Al incorporar al suelo virgen a un uso se produce su asentamiento. La pérdida de espacio poroso afecta a las fracciones de poros gruesos, mientras que las medias y finas aumentan. Con una mayor intensidad de uso suelo, aumenta la variación estacional de la morfología del espacio poroso. Las curvas de consolidación en los sitios menos intervenidos son primarias, con el incremento de uso del suelo éstas se transforman en secundarias. Esto va asociado con un aumento en la capacidad de soporte, la resistencia a la penetración y de la cohesión estructural. La disminución de la estabilidad al agua de los agregados en los sitios más intervenidos se asocia a modificaciones cuantitativas y cualitativas de la materia orgánica del suelo. El suelo en los sitios más intervenidos se hidratan y desmoronan fácilmente.

## INTRODUCCION

La evaluación física de un suelo consiste en caracterizar su estructura o sistema poroso, debido

al impacto de ésta sobre la relación aire/agua/suelo. Esta relación cambia en el suelo con manejos que alteran su estructura. El efecto del manejo se manifiesta en cambios cualitativos y cuantitativos, que experimenta la distribución y la morfología del espacio poroso. Para determinar la magnitud y la dirección de los cambios producidos por el manejo sobre la estructura se utilizan suelos con

---

\* Financiado por Fondecyt 91-916, 1940889 y DID UACH S-04-94.

escasa intervención como base de referencia. La distribución de las fracciones de poros, las curvas de consolidación y la resistencia mecánica permiten inferir los cambios producidos por el uso (Hartge, 1985; Ellies y Hartge, 1990).

Para caracterizar la estructura edáfica se pueden utilizar parámetros morfológicos y mecánicos. La morfología se expresa a través de la distribución de poros por tamaño. Un cambio estructural implica un aumento en la densidad aparente. Esta consolidación antropogénica ocurre con el tráfico, pisoteo y laboreo del suelo y su magnitud depende de la cantidad, oportunidad y frecuencia de cargas a las cuales ha sido sometido un suelo y se refleja en un cambio de la morfología del espacio poroso (Dumbeck y Harrach, 1985). También se modifica la distribución por tamaño de los agregados, que en suelos intervenidos se aglomeran formando terrones. Todos estos cambios se traducen en una pérdida de la porosidad total y en un incremento de la porosidad fina a expensas de la gruesa. Ello modifica la relación aire/agua en lo que se refiere al almacenamiento y conducción de fluidos (Ellies *et al.*, 1993a y b).

Suelos escasamente intervenidos exhiben una baja resistencia a la penetración y baja capacidad de soporte. Una baja resistencia a la penetración favorece al arraigamiento en profundidad, pero la traficabilidad sobre este suelo es baja. Un incremento en la intensidad de uso implica un mayor tráfico, pisoteo y frecuencia de labranza, con ello aumenta los parámetros mecánicos, lo cual favorece la traficabilidad, a expensas del arraigamiento. A una estructura ideal, con un adecuado almacenamiento y conducción de agua y una favorable difusión de gases y por ende un buen arraigamiento, se oponen la traficabilidad y transitabilidad del suelo.

Los cambios estructurales por efecto del manejo modifican la estabilidad de los agregados al agua. Aportes orgánicos provenientes de una cubierta boscosa generan agregados que resisten la acción dispersante del agua, es decir, se humectan con dificultad. Una menor hidratación disminuye la capacidad de hinchamiento de los agregados y por ende favorece su estabilidad. Al disminuir los aportes orgánicos en cantidad como en calidad, la humectación aumenta y, como consecuencia de ello, los agregados tienden a dispersarse, y por tanto aumenta la erodabilidad del suelo (Ellies *et al.*, 1994; Ellies y Hartge, 1994).

En este trabajo se presentan las variaciones que

experimentan la estructura y las propiedades mecánicas de dos suelos disímiles sometidos a distintos manejos. El patrón de referencia será el mismo suelo, bajo bosque nativo.

## MATERIAL Y METODO

Las investigaciones se llevaron a cabo en un suelo Trumao (Typic Hapludand, Serie Malihue) y en otro Rojo Arcilloso (Andeptic Palehumult, Serie Cudico); el primero ubicado en Loncoche (provincia de Cautín) y el segundo, cerca de la ciudad de La Unión en el centro-sur de Chile. Parte de los resultados del suelo Hapludand se publicaron en Ellies *et al.*, 1993a y b. Estos resultados se utilizan en este trabajo nuevamente para poder realizar un análisis más expedito del manejo diferenciante entre los dos suelos.

Bajo las condiciones húmedo/templadas imperantes en la zona, el bosque nativo parcialmente caducifolio de Roble-Laurel-Lingue (*Nothofagus-Perseetum linguae*) constituye la situación original y, al comparar las propiedades mecánicas del suelo bajo esa comunidad boscosa, con las de aquellos que han tenido distintos usos, se pueden determinar los cambios producidos con la intervención antrópica. Junto a rodales del bosque nativo original que sirvieron de patrón de comparación, se seleccionaron sitios sujetos a distintos manejos agropecuarios y forestales. Los sitios de cada suelo estaban próximos entre sí (a menos de 400 m de separación). En el cuadro 1 se detalla el tipo de uso de cada sitio.

Por sitio de cada suelo se extrajeron, con cilindros metálicos, muestras de material edáfico por estratos de 10 cm de grosor, hasta una profundidad de 50 cm y, a partir de ésta, de 25 cm de espesor, hasta los 75 cm. En estas muestras de suelo inalteradas se determinó la distribución del espacio poroso y se realizaron ensayos odométricos y de corte directo.

Los cilindros para determinar la distribución de los poros y el perfil poroso fueron saturados durante 15 días, y llevados posteriormente a equilibrios de tensión de 6, 33 y 1.500 kPa (Richard, 1949). A partir de la relación profundidad/peso/columna de suelo, se determinaron las curvas de consolidación natural.

Para los ensayos de consolidación fueron ajustadas las muestras a un anillo odométrico, aplicando presiones sucesivas, cada 10 minutos, de 12.5,

## CUADRO 1

Historial del manejo del suelo.  
History of land managements.

Tiempo desde la incorporación al uso	Sistema	Uso actual	Denominación
<b>SECUENCIA 1: SUELO HAPLUDAND CON UN MANEJO FORESTAL</b>			
Sin uso		Bosque nativo secundario	Bosque nativo
1940	Roce con fuego	<i>Pinus radiata</i> primera rotación	Pino 1ª rotación
1940	Roce con fuego	<i>Pinus radiata</i> , segunda rotación	Pino 2ª rotación
<b>SECUENCIA 2: SUELO PALEHUMULT CON UN MANEJO AGRICOLA</b>			
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

25, 50, 100, 200, 400 y 800 kPa. Las descargas se efectuaron en secuencia contraria. La deformación vertical se determinó con un comparador micrométrico. A partir de la relación deformación/presión se determinó, gráficamente, la capacidad de soporte (Kézdi, 1972).

Para medir la cohesión y el coeficiente de roce se efectuaron ensayos de corte directo en muestras de suelo inalteradas y saturadas. La velocidad de corte fue de  $1.25 * 10^{-3} \text{ cm} * \text{s}^{-1}$  con un máximo de 21% de deformación. Los cortes se efectuaron con cargas de 25, 50, 100 y 200 kPa.

Las determinaciones de firmeza del suelo se realizaron en terreno, con una veleta de torsión y un penetrómetro de cabeza cónica, con 15 mediciones por estrata.

Las propiedades humectantes se determinaron midiendo el ángulo de contacto entre las fases sólida/líquida/gaseosa en gotas de agua colocadas sobre una superficie de microagregados del suelo. Los ángulos se observaron con una lupa de un campo de visión horizontal provista de un goniómetro.

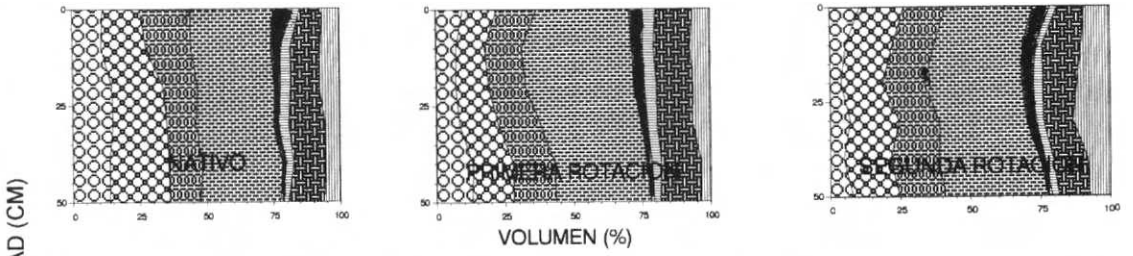
## RESULTADOS

En la figura 1 se presentan los perfiles volumétricos del suelo Trumao y Rojo Arcilloso con sus diversos usos. En estos perfiles volumétricos se representa a los poros de drenaje rápido (> de 50  $\mu\text{m}$  de diámetro), los poros de drenaje lento (50-10  $\mu\text{m}$ ), los poros medianos o de agua útil (10-0.2  $\mu\text{m}$ ) y los poros finos o de agua inútil (< 0.2  $\mu\text{m}$ ). La materia orgánica y las fracciones texturales también se expresan en términos volumétricos. La porosidad total y en especial la porosidad gruesa tiende a disminuir con los usos más intensivos del suelo.

Para los dos suelos se gráfica en la figura 2 la proporción de las fracciones porosas, en términos de altura por unidad del volumen y/o altura de los sólidos. La altura del sólido es constante y corresponde, para los dos suelos, al sitio de referencia bajo bosque nativo. De estas columnas se desprende que el asentamiento del suelo incrementa con su intensidad de uso.

En la figura 3 se detallan para los dos suelos los cambios que experimenta de invierno a verano

MANEJO FORESTAL DE UN SUELO HAPLUDAND



MANEJO AGRICOLA DE UN SUELO PALEHUMULT

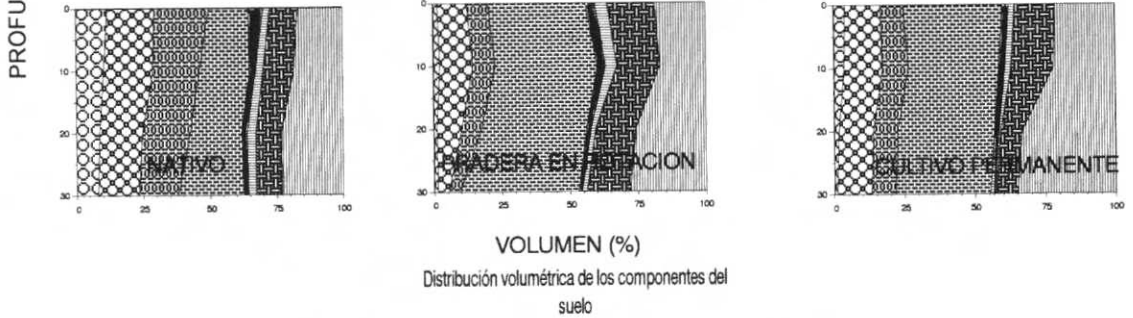


Figura 1. Perfil volumétrico de los dos suelos sometidos a distintos manejos. Volumetric profile of both soils subjected to different managements.

HAPLUDAND CON UN MANEJO FORESTAL

PALEHUMULT CON UN MANEJO AGRICOLA

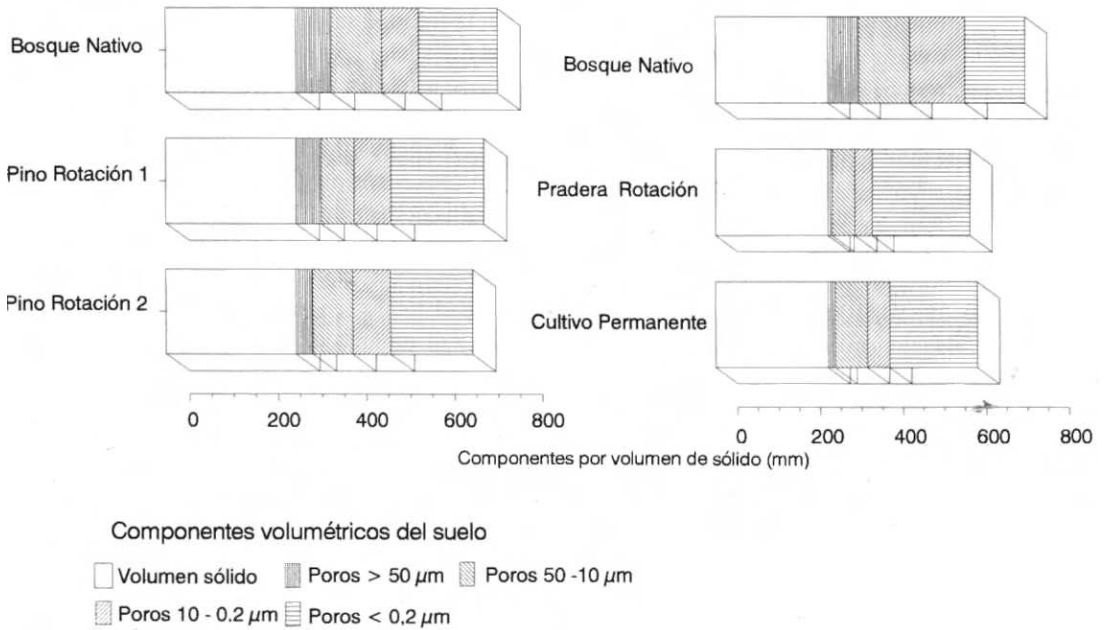


Figura 2. Distribución de las fracciones de poros por volumen de sólidos. Pore size distribution on the bases of solid volume.

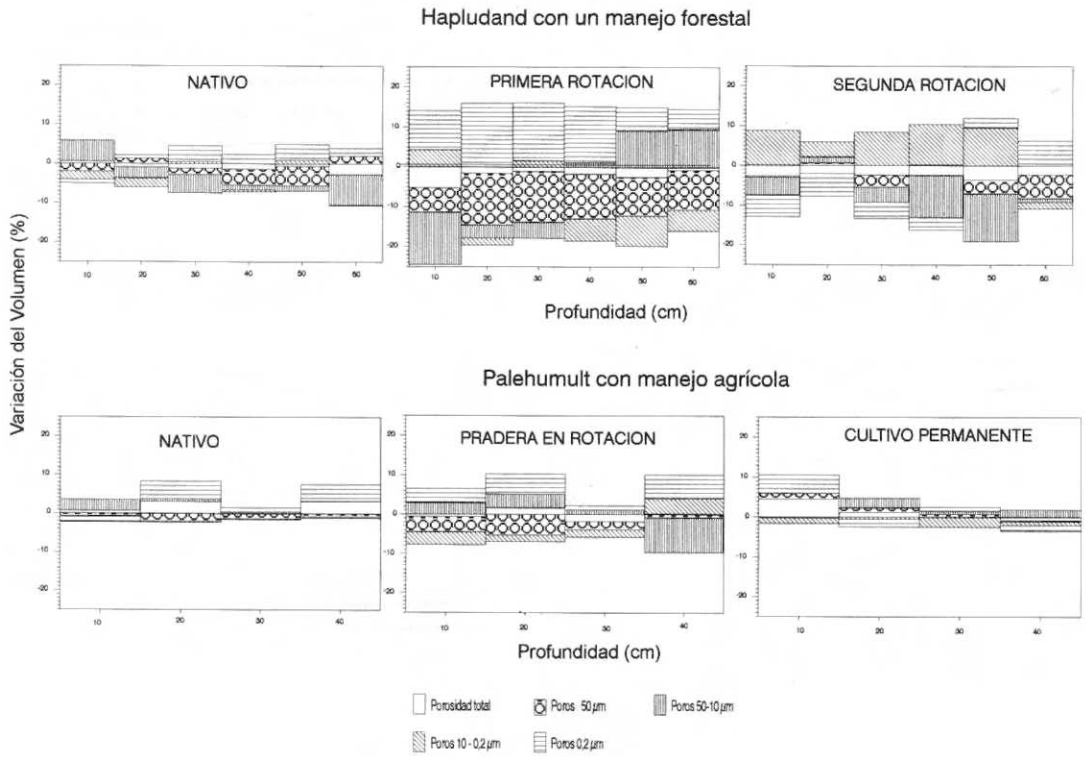


Figura 3. Variación estacional de la distribución de los poros por tamaño.  
Seasonal changes on pore size distribution.

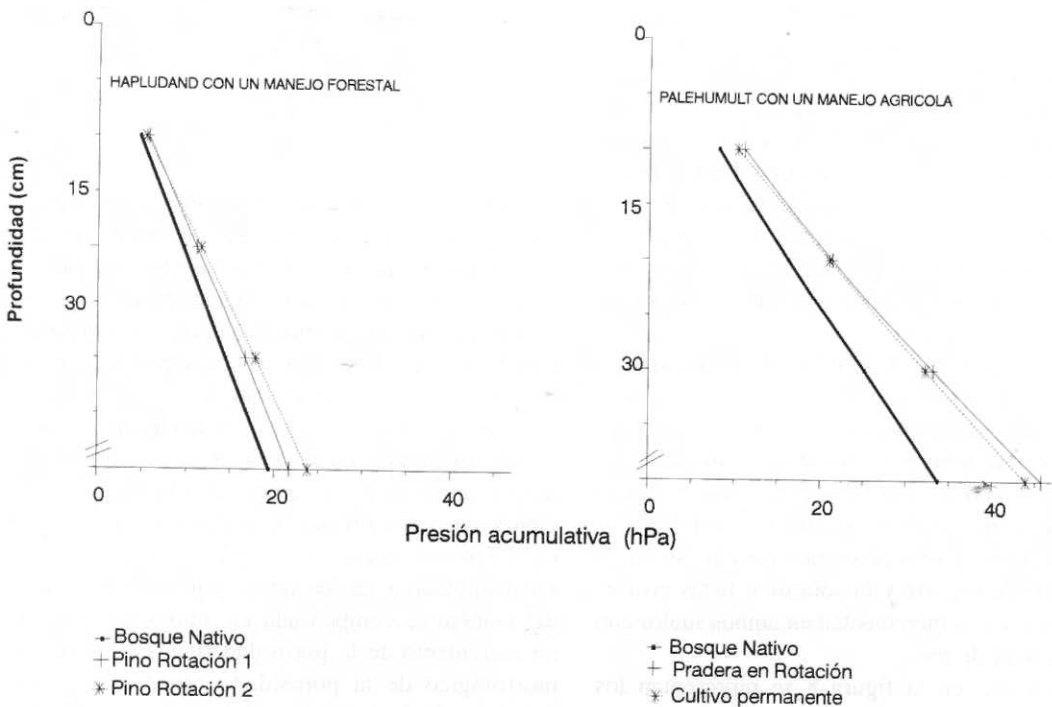


Figura 4. Curvas de consolidación natural de los dos suelos sometidos a distintos manejos.  
Natural consolidation curves for both soils subjected to different managements.

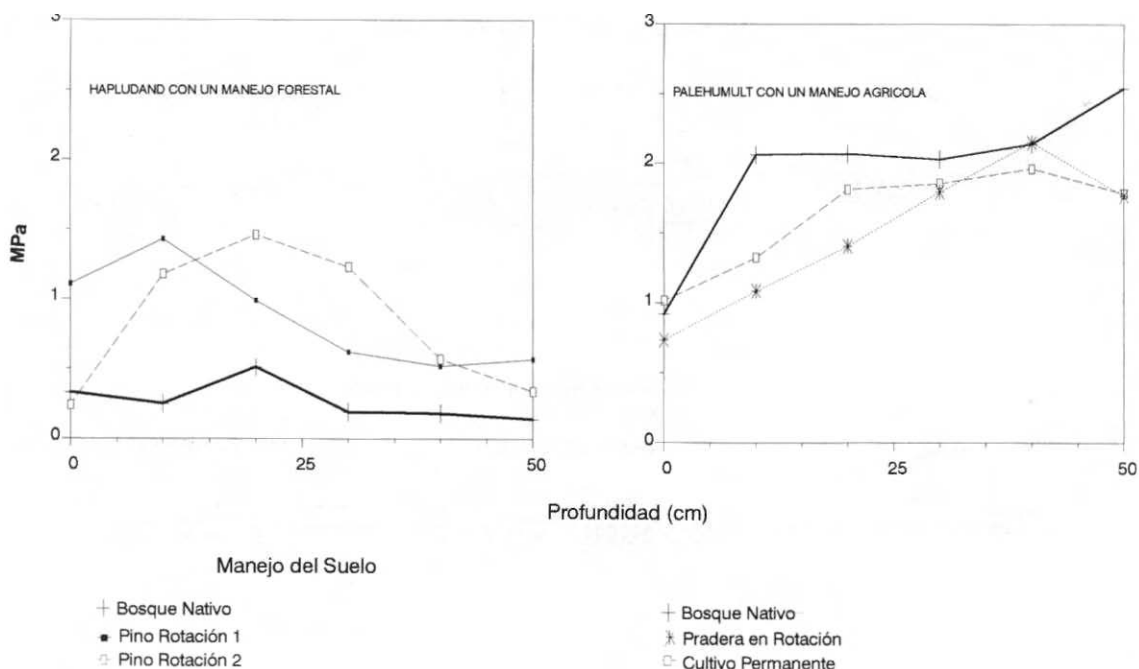


Figura 5. Resistencia a la penetración de ambos suelos sometidos a distintos manejos. Penetration resistance for both soils subjected to different managements.

la frecuencia de las fracciones del espacio poroso, con los diferentes usos. En el suelo Rojo Arcilloso los cambios estacionales de la porosidad provocados con los diversos usos son pequeños, pero en el suelo Trumao la modificación estacional incrementa con la intensidad de uso del suelo.

Las curvas de consolidación natural de los dos suelos se representan en la figura 4. La presión se determinó a partir del peso acumulativo en profundidad de la columna de suelo. Esta función es lineal o primaria en suelos vírgenes y, en los sitios más intervenidos, cambia a una función de consolidación secundaria.

En las figuras 5 y 6 se representan los valores medios de la resistencia a la penetración vertical determinados con el penetrómetro de punta cónica y la veleta de torsión en los suelos saturados. En el Trumao incrementan éstos con el uso, mientras que en el Rojo Arcilloso ocurre lo contrario.

En la figura 7 se representan, para la estrata, la capacidad de soporte y la cohesión. Estas propiedades mecánicas incrementan en ambos suelos con la intensidad de uso.

Finalmente, en la figura 8 se representan los ángulos de contacto y la variación del diámetro medio de los agregados, después de un tamizado en seco y húmedo. El ángulo de contacto decrece

en profundidad y con la intensidad de uso en ambos suelos. Al incrementar la capacidad de humectación del suelo, aumenta la variación del diámetro medio de los agregados.

DISCUSION

La frecuencia en la distribución por tamaño de los poros se modifica con el uso del suelo (fig. 1). En las dos situaciones, el sitio bajo bosque nativo se caracteriza por la abundancia de poros muy gruesos. Con el uso disminuye la macroporosidad, e incrementa la fina. Los cambios cualitativos se acentúan cuando la intensidad de uso es mayor o cuando el manejo del suelo es inadecuado. Este cambio es notorio en el suelo Rojo Arcilloso con manejo agrícola, donde la pérdida afecta a las fracciones de poros gruesos y medios; mientras que en el Trumao afecta sólo a los poros más gruesos. La disminución de los poros gruesos por efecto del manejo es compensada en ambos suelos con un incremento de la porosidad fina. Este cambio morfológico de la porosidad corresponde a un deterioro de la estructura del suelo. Un estado menos estructurado se asocia con una participación relativa mayor, en la porosidad total de las

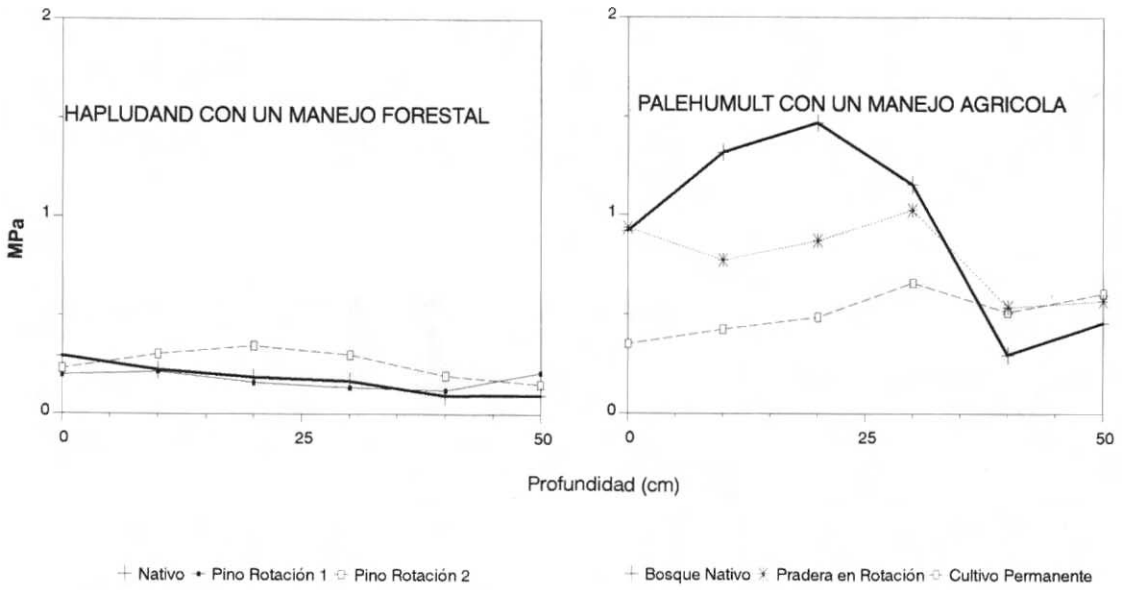


Figura 6. Resistencia a la torsión de ambos suelos sometidos a distintos manejos. Torsion resistance for both soils subjected to different managements.

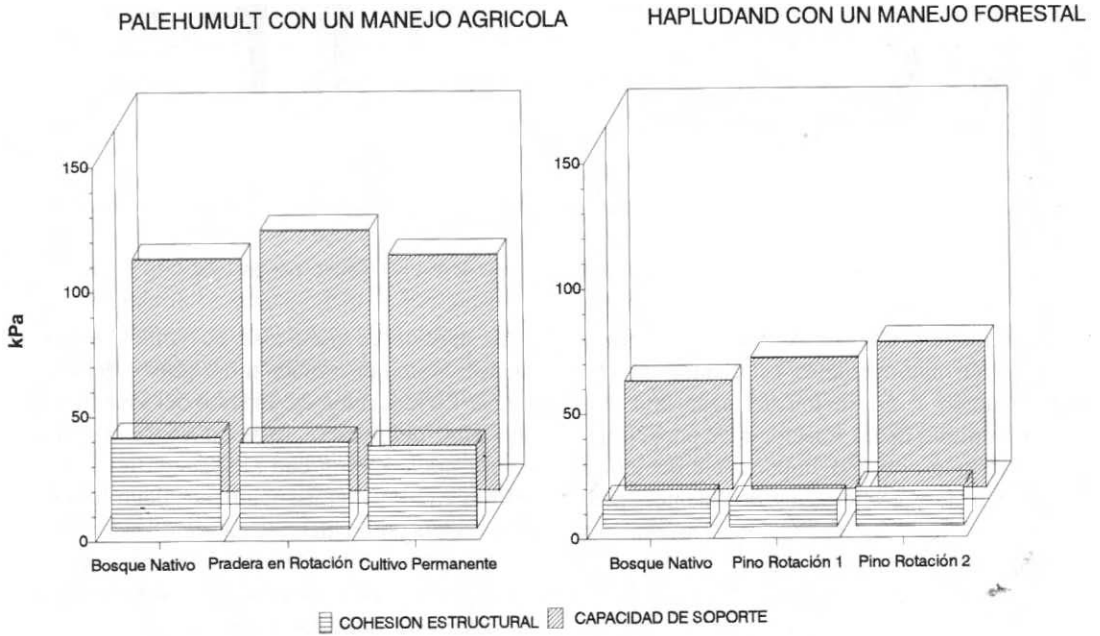


Figura 7. Cohesión estructural y capacidad de soporte de ambos suelos sometidos a distintos manejos. Structural cohesion and bearing capacity for both soils subjected to different managements.

**HAPLUDAND CON UN MANEJO FORESTAL**

**PALEHUMULT CON UN MANEJO AGRICOLA**

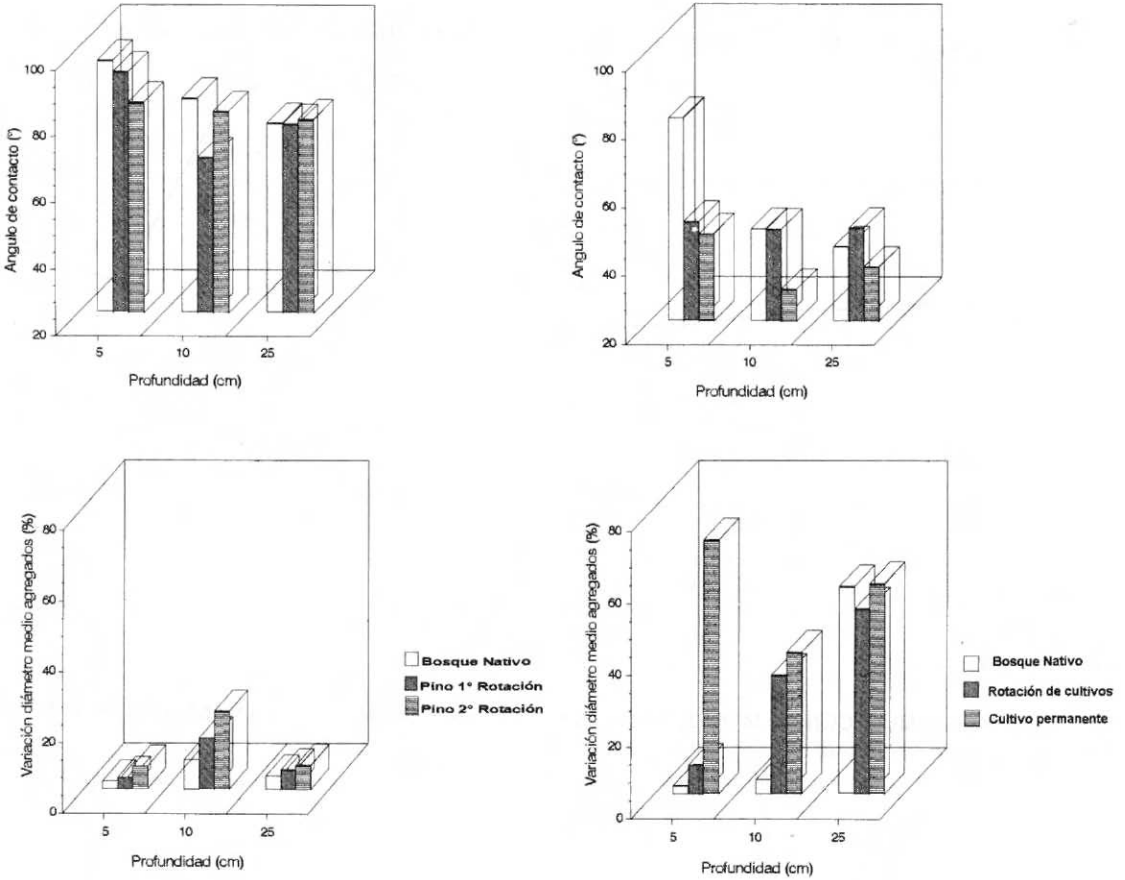


Figura 8. Angulo de contacto y variación del diámetro medio de los agregados de ambos suelos sometidos a distintos manejos.

Contact angle and mean variation of aggregate diameter for both soils subjected to different managements.

fracciones media y fina. La pérdida de la porosidad gruesa en ambos suelos se traduce en una menor aireación e infiltración del agua. Sin embargo, las pérdidas de las fracciones de poros gruesos en el Trumao no son importantes debido al alto volumen de poros gruesos remanentes, pero para el suelo Rojo Arcilloso, que conserva una porosidad residual baja, esto significa una notoria pérdida de calidad de sitio.

En el Trumao con el manejo forestal, el contenido volumétrico de la materia orgánica se mantiene constante con las distintas alternativas de manejo. En términos gravimétricos, las diferencias en los contenidos de carbono son más contrastantes. Pero en el Rojo Arcilloso la reducción de la materia orgánica aumenta tanto en términos gravimétricos como también volumétricos, con la intensidad de uso del suelo.

La pérdida de porosidad en ambos suelos se traduce en una disminución del grosor del mismo (fig. 2). La reducción del espesor del suelo Trumao bajo pino de primera rotación es de 31 mm, e incrementa a 52 mm con la segunda rotación. En el Rojo Arcilloso el asentamiento llega hasta 122 mm. La magnitud del asentamiento depende del tipo de faenas aplicadas en el destronque, en el arrastre de trozas y con el tipo de faenas agrícolas. Un desarrollo radicular posterior puede frenar el asentamiento del suelo con una plantación artificial de árboles, incluso por efecto de las bioturbaciones; puede favorecerse la recuperación volumétrica del suelo, como lo comprobaron Moraga *et al.* (1985) en matorrales monoespecíficos de *Ulex europaeus*. Con el uso agrícola el asentamiento del suelo puede ser frenado con las remociones artificiales que se logran con los equipos



de laboreo, siempre y cuando se realizan en condiciones favorables.

Las modificaciones en estabilidad de la estructura se observan también en las variaciones que experimenta la frecuencia de las fracciones de los poros de invierno a verano. El Trumao, a pesar de su textura más gruesa que el Rojo Arcilloso, exhibe la mayor variación temporal. La variación estacional del espacio poroso total del suelo sometido a distintos manejos podría corresponder a una variabilidad espacial normal. Sin embargo, los cambios que experimenta la distribución de las fracciones de poros por tamaño son significativos, especialmente para el Trumao, y sugieren que son consecuencias del manejo.

En el suelo superficial del Trumao bajo bosque nativo, la porosidad gruesa incrementa a expensas de la muy gruesa, la media y la fina. Aparentemente, el secado estival produce una contracción suficientemente intensa como para agrandar pequeñas fisuras y, con ello, aumentar la porosidad gruesa. El subsuelo de este mismo sitio tiene un comportamiento opuesto: los poros muy gruesos y gruesos se colapsan en verano, aumentando la frecuencia de los de tamaño medio y fino.

En los sitios bajo bosque de pino la distribución de la frecuencia de poros experimenta cambios significativos entre las estaciones. En la estrata superficial del sitio con pino en primera rotación, disminuye fuertemente la porosidad gruesa, incrementando la media y en especial la fina. En las estratas medias estos cambios son aún más notorios, ya que una parte significativa de la porosidad secundaria se reduce a una de tipo primario. Estas variaciones estacionales de los poros sugieren que la estabilidad estructural es más débil.

Los cambios estacionales que experimenta el sistema poroso del suelo bajo pino en segunda rotación son similares a aquellos constatados en la primera rotación. Sin embargo, la magnitud de éstos es menor y cualitativamente distinta. Los poros gruesos se colapsan en verano, pasando a poros medianos o de agua útil. Aparentemente, la estabilidad de los agregados está en vías de regenerarse. Esta tendencia hacia una mayor firmeza en la morfología de los poros se debe, probablemente, a que las nuevas flora y fauna edáfica han logrado un desarrollo más estable (Ramírez *et al.*, 1984). La cosecha forestal al consolidar el suelo puede también influir en esta reducción estacional de la porosidad.

Bajo un manejo agrícola el suelo Rojo Arcillo-

so no presenta cambios morfológicos estacionales tan marcados en las distintas fracciones porosas. De invierno a verano se reduce el espacio poroso grueso e incrementa el fino. En el suelo bajo cultivo permanente no se observa tendencia alguna debido al efecto del laboreo que enmascara los eventuales cambios de la porosidad.

La pérdida de porosidad o aumento en la densidad aparente por efecto del manejo también se refleja en las curvas de consolidación natural (fig. 4). El aumento de la presión y/o peso de una columna de suelo es producto del asentamiento provocado por el tráfico. En efecto, en el sitio bajo bosque nativo, lugares con la menor intervención, corresponde a una curva de consolidación primaria. Con una mayor intensidad de uso, como lo son la segunda rotación de *Pinus radiata* y el sitio con cultivo permanente, las líneas de consolidación natural tienden a incipientes características de una curva de consolidación secundaria. En el sitio bajo pino en segunda rotación o con cultivo permanente, se refleja el efecto de las faenas de la cosecha forestal y del laboreo del suelo.

El cambio estructural del suelo se capta también en la resistencia a la penetración y a la torsión. Estas aumentan con la intensidad de uso en ambos suelos (figs. 5 y 6). El incremento en la firmeza del Trumao se asocia a un incremento en la cohesión del suelo y de la densidad aparente por efecto del uso. En el sitio con pino de segunda rotación los valores de la resistencia incrementan en las estratas medias del suelo, reflejando el efecto de las faenas de cosecha. Sin embargo, el sitio bajo bosque nativo del suelo Rojo Arcilloso exhibe la mayor firmeza en relación a los sitios intervenidos. Esto permite inferir que en los Trumaos el efecto del uso consolida al suelo, mientras que los Rojos Arcillosos, se sueltan.

Los cambios registrados con la veleta de torsión están relacionados con la cohesión interna del suelo (fig. 6). Al someter los suelos a un uso intensivo, esta cohesión aumenta y, debido a ello, la disposición de las curvas de torsión de los dos suelos difiere sólo ligeramente de aquella obtenida con el penetrometro. Pero al mantener la proporcionalidad de la escala en los valores de resistencia a la torsión, el Trumao sólo registra ligeros cambios. Esto implica que la cohesión interna de estos suelos es muy baja. El uso del Rojo Arcilloso incrementa la resistencia a la torsión y con ello debería exhibir también una mayor cohesión interna.

La capacidad de soporte o preconsolidación tien-

de a incrementar desde el bosque nativo hasta el pino en segunda rotación (fig. 7). En el Rojo Arcilloso no se observa un incremento en la capacidad de soporte por efecto del uso. Esto es concordante con observaciones anteriores. El sitio bajo bosque al presentar una mayor resistencia a la penetración, debería tener también una mayor capacidad de soporte.

La cohesión estructural o permanente determinada con el ensayo de corte directo (fig. 7) es baja en los dos suelos. La cohesión estructural se debe a los efectos cementantes que provoca la materia orgánica dentro de los agregados. Esta resistencia cementante es reducida en los suelos volcánicos de baja densidad aparente (Ellies, 1986). Sin embargo, ésta aumenta en los sitios más intervenidos del Trumao, debido a la mayor densidad aparente que exhiben y al mayor encaje entre los agregados.

En el Rojo Arcilloso se observó sólo una leve reducción de la cohesión estructural, aun cuando se esperaba una mayor. Esto se debe a que dicha cohesión tiene dos componentes: uno que depende del material edáfico y otro, propio del sistema, dado por el amarre radicular fino que es más intenso en los sitios con manejo pecuario y/o agrícola en relación al bosque original.

Al eliminar el bosque nativo la materia orgánica del suelo disminuye con algunos manejos, pero más inciden los cambios cualitativos en ésta. Estos cambios se expresan en la humectación y en la estabilidad de los agregados al agua (fig. 8). La estabilidad de los agregados al agua o la resistencia a la dispersión depende de la afinidad que tienen éstos con el agua. La materia orgánica del suelo actúa como agregante e inhibiendo la humectación del suelo y, por ende, los agregados no se dispersan. Los ángulos de contacto incrementan y con ello la humectación en los sitios más intervenidos. Paralelamente incrementa la variación del diámetro medio de los agregados, es decir, con un mayor potencial de humectación los agregados son menos estables al agua.

Las alteraciones que experimenta la estructura del suelo no sólo se deben a la acción mecánica del pisoteo y del tráfico, sino también a los cambios cualitativos que experimenta la materia orgánica. La disminución de la porosidad gruesa puede ser una acción mecánica, pero la reducción en la estabilidad se debe a cambios en los componentes orgánicos del suelo. El aumento del espacio poroso grueso y de la estabilidad de los agregados se produce con la incorporación de elementos

estabilizantes al suelo y con un incremento de la actividad biológica del mismo (Anderson, 1991).

## CONCLUSIONES

Con un uso forestal y agrícola intensivo disminuye el espacio poroso de los suelos, en especial los poros gruesos.

Con el manejo forestal un Trumao incrementa la variación estacional de la frecuencia de poros según tamaño.

Con un manejo más intensivo del Trumao incrementa la resistencia a la penetración y torsión. En el suelo Rojo Arcilloso éstas disminuyen.

En ambos suelos con un manejo más intensivo aumenta la capacidad de humectación y con ello disminuye la estabilidad de los agregados al agua.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, T.H. 1991. "Bedeutung der Mikroorganismen für die Bildung von Aggregaten im Boden", *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154: 409-416.
- DUMBECK, G., T. HARRACH. 1985. "Porenverteilung bei Bodenverdichtungen", *Mitteiln. Dtsch. Gesellschi* 43: 213-218.
- ELLIES, A. 1986. "Efectos de la consolidación mecánica sobre algunos suelos Dystrandepts y Palehumults del sur de Chile", *Ciencia del Suelo* 2: 91-97.
- ELLIES, A., K.H. HARTGE. 1990. "Erfassung der Gefügeveränderung infolge von Inkulturnahme von Böden des Sekundärwaldes in Südkile durch Multivariananalyse", *Z.F. Kulturtechnik und Landentwicklung* 31: 380-388.
- ELLIES, A., C. RAMIREZ, H. FIGUEROA. 1993a. "Modificaciones estructurales de un suelo sometido a distintos usos forestales", *Bosque* 14(2): 25-30.
- ELLIES, A., C. RAMIREZ, R. MAC DONALD, H. FIGUEROA. 1993b. "Modificaciones estacionales en la distribución del espacio poroso por tamaño de un suelo sometido a un variado uso forestal", *Bosque* 14(2): 31-36.
- ELLIES, A., K.H. HARTGE. 1994. "Changes of Wetting properties of soils as consequence of forest Clearing followed by different land use", *Z.F. Kulturtechnik und Landentwicklung* 35: 358-364.
- HARTGE, K.H. 1985. "Einfluß der Landbewirtschaftung auf das Bodengefüge", *VDLUF* 16: 1-6.
- KEZDI, A. 1969. *Handbuch der Bodenmechanik. I. Bodenphysik.* VEB-Verlag Bauwesen, Berlins- 500 pp.
- MORAGA, M., H. FIGUEROA, C. RAMIREZ. 1985. "Alteración antrópica de los suelos rojo-arcillosos en la cordillera de la costa de Valdivia, Chile". *Agro Sur* 13(1): 51-64.
- RAMIREZ, C., H. FIGUEROA, R. CARRILLO, D. CONTRERAS. 1984. "Estudio fitosociológico de los estratos inferiores de un bosque de pino (Valdivia, Chile)", *Bosque* 5(2): 65-81.
- RICHARDS, L. 1949. "Methods of measuring soil moisture tension", *Soil Science* 68: 95-112.