

Modificaciones estructurales de un suelo sometido a distintos usos forestales*

Changes of forest soil structure with different managements

C.D.O.: 114.123, 114.14

ACHIM ELLIES¹, CARLOS RAMÍREZ² Y HERIBERTO FIGUEROA S.³

¹Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. ²Instituto de Botánica. ³Instituto de Estadística, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

SUMMARY

An evaluation of the effect of management (native forest, pasture, afforestation with *Pinus radiata*) in first and second rotation on volumetric properties of Hapludand soil profiles located in Loncoche, Southern Chile was carried out.

The reference to evaluate the amount and course of changes was the soil under the native forest. Undisturbed soil samples were taken for to determine volumetric soil components. Settlement of the soil was detected through the decrease of pore volume after the native forest was eliminated. The pasture presented the highest settlement of increase with the number of afforestations. The effects of soil management were reflected in pore size distribution. The loss of pore volume goes together with a decrease of large pores and an increase of small pores.

The structural degradation of afforestation sites involves intermediate soil layers. On the site under pasture the coarse pores diminish in the upper layers. Recently incorporate soil sites to production use, show primary consolidation curves. With an increment of soil management intensity the consolidation curves were secondary and marked an increase of bearing capacity.

RESUMEN

Se evaluaron los efectos del manejo del suelo sobre las propiedades volumétricas en perfiles de un Hapludand situado en Loncoche en el centro-sur de Chile bajo bosque nativo, bosque de *Pinus radiata* en primera y segunda rotación y pradera. La base de referencia para evaluar la dirección de los cambios la constituye el suelo bajo bosque nativo. Para los análisis, se extrajeron muestras inalteradas por estrata para determinar la distribución volumétrica de los componentes del suelo. Se detectó un asentamiento global debido a la pérdida del espacio poroso al eliminar el bosque nativo. La consolidación es máxima bajo la pradera e incrementa con el número de rotaciones de pino. Junto a la pérdida en porosidad total se observa una redistribución en la frecuencia de los poros por tamaño, disminuyendo los gruesos y aumentando los finos. Con el uso silvícola se colapsa el volumen poroso en las estratas medias y, bajo pradera, disminuye la porosidad gruesa superficial. Las curvas de consolidación natural bajo bosque nativo son primarias y, con el incremento de la intensidad de uso, se transforman en secundarias, lo cual significa un aumento en la capacidad de soporte.

INTRODUCCION

Los factores edáficos que afectan el crecimiento de los cultivos no sólo se explican con el estado

nutricional del suelo, sino también con la relación aire/agua del mismo. Esta relación experimenta cambios con manejos que alteran su estructura (Eriksson, 1986).

Suelos no intervenidos pueden servir como base de referencia para evaluar la modificación de la estructura debida al uso. La distribución del espa-

* Financiado por FONDECYT 91-916 y DID S-91-17

ció poroso y las curvas de consolidación permiten inferir estas variaciones, producidas por los diferentes manejos del suelo (Hartge, 1985; Hartge y Ellies, 1990; Ellies y Hartge, 1990).

En condiciones naturales, el volumen que ocupa una masa de suelo depende de las presiones a las cuales ha sido sometido. Mientras más intensa ha sido la carga histórica sobre un suelo, tanto más se reducirá, y los cambios se traslocan a una mayor profundidad en el perfil (Hartge y Ellies, 1990; Ellies y Hartge, 1990).

Se sustenta como hipótesis que las características estructurales de un suelo se modifican con el grado de uso y que estos cambios estructurales se reflejan en la distribución volumétrica de los componentes del suelo. El objetivo es determinar las variaciones volumétricas de un suelo sometido a diferentes manejos forestales y uno pratense. El patrón de referencia lo constituye el mismo tipo de suelo, sin uso, bajo bosque nativo.

MATERIALES Y METODOS

Las investigaciones se llevaron a cabo a fines del período estival de 1992, en un suelo hapludand o trumao, perteneciente a la Serie Malihue, ubicado en Loncoche (provincia de Cautín), en el centro-sur de Chile, cuando éste aún mantenía un potencial mátrico inferior a 33 kPa.

Bajo las condiciones húmedas imperantes en la zona, el bosque nativo parcialmente caducifolio

de roble-laurel-lingue (*Nothofagus-Perseetum linguete* Oberdorfer, 1960) constituye la situación original y sirve como patrón de referencia con lugares del mismo suelo que han tenido distintos usos. Se seleccionaron tres lugares con suelos sujetos a diferentes manejos desde su incorporación a la actividad silvoagropecuaria.

Un cuarto lugar lo constituyó el bosque nativo secundario, que sirvió de patrón de comparación. Las cuatro áreas estaban próximas entre sí (menos de 250 m de separación). En el cuadro 1 se detallan el sistema de incorporación y el tipo de uso de cada sector.

Se extrajeron muestras no alteradas y alteradas de suelo a fines del período estival, con cilindros metálicos de 370 cm³, por estratas de 10 cm de grosor, hasta una profundidad de 125 cm.

Las muestras inalteradas de suelo fueron saturadas en bandejas durante 15 días, y llevadas, posteriormente, a equilibrios de tensión de agua en el suelo de 6, 33 y 1.500 kPa (Richards, 1949), para determinar espacio poroso total y separar fracciones de poros según diámetro en > 50 µm, 50-10 µm, 10-0.2 µm y < 0.2 µm. Los equilibrios, de todas las muestras, se lograron después de 20 días, para las tensiones mátricas de 6 y 33 kPa y de 5 días para la tensión de 1.500 kPa. Mediante el secado se determinaron gravimétricamente los contenidos de humedad. La densidad aparente se determinó con el método volumétrico y la real con el picnómetro al vacío (Hartge y Horn, 1991).

Con la densidad aparente de las distintas estratas

CUADRO 1

Historial del uso y manejo del suelo
History of the soil use and management

Fecha inicio del uso	Incorporación	Uso histórico
Sin uso		Bosque nativo secundario desde 1935 (bosque nativo).
1940	Quema	Forestación con <i>Pinus radiata</i> en 1960, antes pradera natural (pino rotación 1).
1940	Quema	Segunda forestación con <i>Pinus radiata</i> (1972), primera forestación 1950 (pino rotación 2).
1940	Quema	Pradera naturalizada (pradera)

se calculó la presión acumulativa de la columna del suelo a distintas profundidades, determinándose con ello las curvas de consolidación natural (Ellies *et al.*, 1993). Con material de suelo alterado se determinó el contenido de carbono y la distribución granulométrica.

RESULTADOS

En la figura 1 se representa el grado de asentamiento o consolidación que experimentó el suelo, expresado como una pérdida de grosor del mismo. La base de referencia la constituye el sitio bajo bosque nativo.

En las figuras 2 a 5 se presentan los perfiles volumétricos del suelo bajo bosque nativo, pino en primera rotación, pino en segunda rotación y pradera, respectivamente. En este perfil se representan los poros de drenaje rápido ($>$ de $50 \mu\text{m}$ de diámetro), los de drenaje lento ($50\text{-}10 \mu\text{m}$), los medianos o de agua útil ($10\text{-}0.2 \mu\text{m}$) y los finos o de agua inútil ($<$ $0.2 \mu\text{m}$ de diámetro). La materia orgánica y las partículas del suelo, igualmente, se expresan en término volumétricos.

En la figura 6 se presenta la proporción de las fracciones porosas, en términos de grosor del suelo, manteniendo constante el patrón de referencia para los distintos manejos, correspondiente a la producción de los sólidos del suelo bajo bosque nativo.

En la figura 7 se representan las curvas de consolidación natural de los cuatro lugares. La presión se calculó a partir del peso de la columna de suelo en distintas profundidades. Esta se representa como el peso y/o presión de una columna de suelo a distintas profundidades. Esta debería ser una función lineal correspondiente a una consolidación primaria en suelos vírgenes bajo bosque nativo. Pero según Kézdi (1969) al presionar un suelo esta recta se modifica hacia una curva de consolidación secundaria.

Los resultados en las distintas figuras se presentan hasta una profundidad de 75 cm, lugar hasta donde trascendieron los efectos del uso. A profundidades mayores, las diferencias entre los perfiles se deben más bien a propiedades intrínsecas del material generador.

DISCUSION

La pérdida de grosor del suelo, en relación al sitio bajo bosque nativo, ocurre una vez eliminado el dosel arbóreo (fig. 1). La reducción del grosor del suelo en el sitio bajo pino en primera rotación es baja (31 mm). El asentamiento llega a ser máximo en la pradera (51 mm) y en el bosque de pino en segunda rotación (57 mm). La magnitud del asentamiento depende del tipo de faenas empleadas en el destronque y arrastre de trozas. Un posterior desarrollo radicular frena el asentamiento (Helal, 1991), 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*.

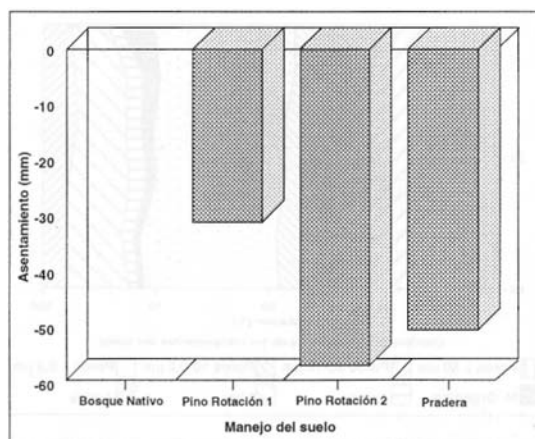


Figura 1. Asentamiento del suelo por efecto de los distintos usos.

Settlement of the soil subjected to different kinds of use.

El asentamiento de un suelo se debe, principalmente, al efecto de las cargas a las cuales ha sido sometido, variando según la época del año en que se aplicó. De lo anterior se desprende que tanto el suelo bajo pradera como el de bosque de pino en segunda rotación han sido sometidos a presiones externas. Sin embargo, la magnitud también se debe a la contracción del suelo por efecto del secado. La soltura del suelo se conserva en los sitios que se mantienen húmedos. La deshidratación del suelo no es sólo una respuesta a la energía radiante recibida en la superficie, sino que depende también del uso y consumo del agua por parte de las plantas. Con una pradera éste es máximo en las capas superficiales del suelo (Huber, 1991). La deshidratación llega a mayores profundidades, pero con valores menos extremos en el suelo bajo pino.

Estudios sobre el balance hídrico en un bosque de pino comprobaron un secado considerable en estratas profundas del suelo (Huber *et al.*, 1990).

La pérdida de volumen de suelo implica una reducción del espacio poroso. Los suelos bajo bosque nativo (fig. 2) y bajo pino de primera rotación (fig. 3) tienen el mayor volumen en poros, y aquellos con pino en segunda forestación (fig. 4) y con pradera (fig. 5) tienen un volumen algo menor. En todos los casos los cambios más significativos en el volumen poroso se observan en el suelo superficial.

Las modificaciones cualitativas del espacio poroso que experimenta el suelo con el uso son más importantes que los cambios cuantitativos. La fre-

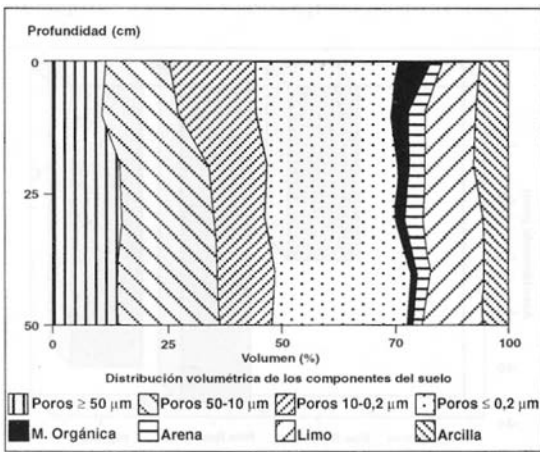


Figura 2. Perfil volumétrico del suelo bajo bosque nativo.

Volumetric soil profile of native forest.

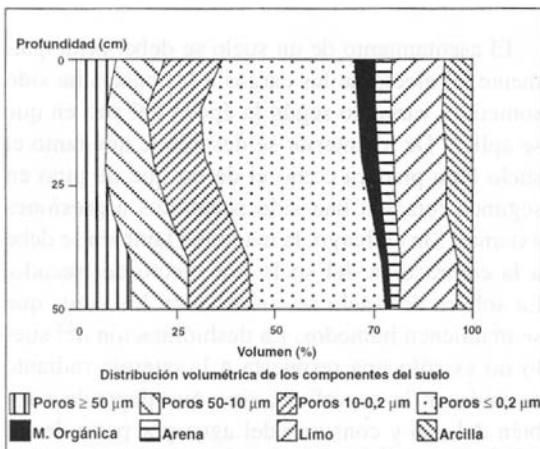


Figura 3. Perfil volumétrico del suelo *Pinus radiata* en primera rotación.

Volumetric soil profile of *Pinus radiata* forest on of first rotation.

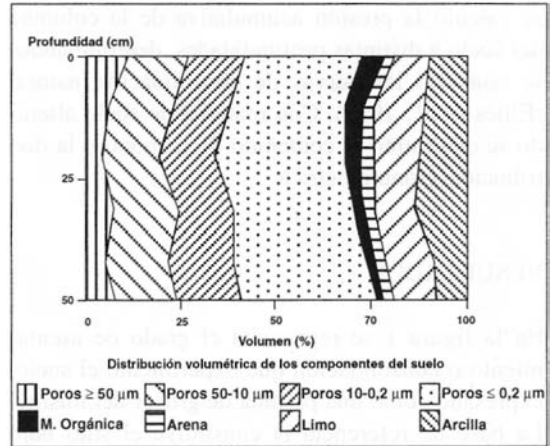


Figura 4. Perfil volumétrico del suelo *Pinus radiata* en segunda rotación.

Volumetric soil profile of *Pinus radiata* forest on second rotation.

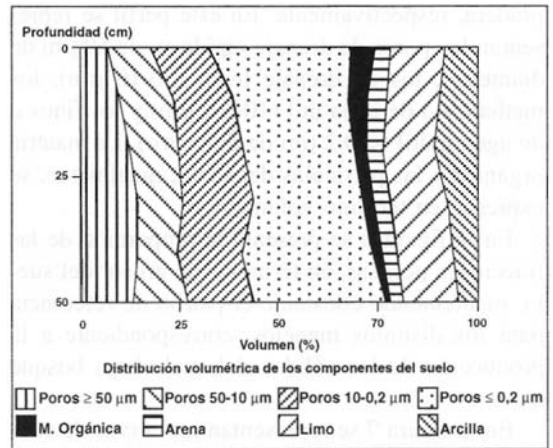


Figura 5. Perfil volumétrico del suelo bajo pradera.

Volumetric soil profile of pasture.

cuencia en la distribución por tamaño de los poros se modifica con el uso. La utilización del suelo reduce la porosidad gruesa, la cual es compensada con un aumento de las porosidades media y fina. La sustitución de la macroporosidad por otra más fina en el suelo bajo bosque artificial debe considerarse como una modificación de la estructura del suelo. Un estado menos estructurado en los suelos trumaos se asocia a un aumento en las porosidades media y fina. La traslocación de poros grandes a medianos equivale a un incremento en la capacidad de almacenamiento de agua útil, pero a expensas de una menor aireación e infiltración del agua.

El suelo con bosque nativo se caracteriza por una abundancia en poros muy gruesos (fig. 2).

Con la primera rotación de pino (fig. 3) disminuye considerablemente esta macroporosidad e incrementa la fina. En el suelo bajo pino, en segunda rotación, los cambios cualitativos se mantienen (fig. 4). En este lugar se recupera parte de la porosidad secundaria, al aumentar los poros de drenaje lento y agua útil, reduciéndose el volumen de los finos. Con el manejo pratense (fig. 5) en la superficie disminuye la porosidad gruesa e incrementa la inútil. Pero en las estratas más profundas incrementa la porosidad gruesa.

Los cambios relativos del espacio poroso por unidad de volumen de suelo en los distintos perfiles se destacan en la figura 6. En ésta se observa que las mayores alteraciones provocadas con el uso se producen en la porosidad gruesa o secundaria. En esta fracción de poros se presentan, precisamente, los mayores cambios absolutos y relativos. La porosidad fina se desarrolla en forma contraria a los cambios que experimenta la gruesa. Sin embargo, en términos relativos, los cambios que experimenta esta fracción de poros son menores debido a que ella constituye la fracción porosa mayoritaria en el suelo.

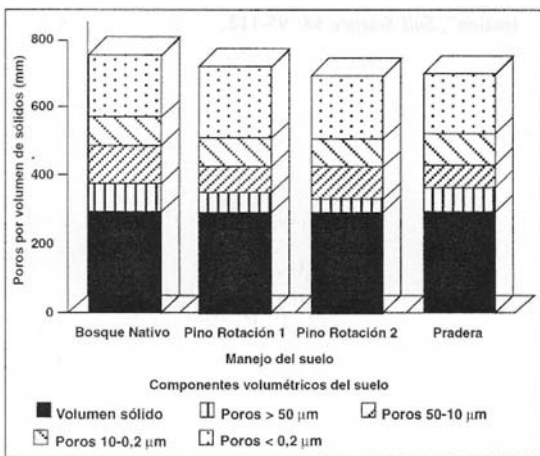


Figura 6. Efecto del manejo del suelo sobre la distribución de poros.

Effect of soil management on pore size distribution.

En los cuatro perfiles volumétricos (figs. 2 a 5) se observa que el contenido en volumen de la materia orgánica se mantiene relativamente constante en las distintas alternativas de manejo. En términos gravimétricos, en cambio, las diferencias en los contenidos de carbono entre los sitios con distinto manejo son más contrastantes.

Las alteraciones que experimenta la estructura

del suelo no son sólo el resultado del efecto de una acción mecánica de pisoteo y tráfico, sino también de los cambios cualitativos que experimenta la materia orgánica del mismo. La disminución de la porosidad gruesa se debe, por lo general, a una acción mecánica. En cambio, un incremento del espacio poroso grueso se produce con la incorporación al suelo de elementos estabilizantes de la estructura y por el incremento de la actividad biológica (Anderson, 1991).

Las curvas de consolidación natural también reflejan el efecto del manejo del suelo (fig. 7). El aumento del peso y/o presión de una columna de suelo es producto de su asentamiento (fig. 1), provocado por el tráfico de maquinarias y pisoteo animal. En efecto, en el sitio bajo bosque nativo, que históricamente tuvo la menor intervención, la curva de consolidación natural es una recta semejante a una curva de consolidación primaria. Los suelos sujetos a una segunda rotación de *Pinus radiata* y la pradera muestran una tendencia opuesta. Estas líneas de consolidación natural tienden a curvarse, indicando incipientes características de una curva secundaria.

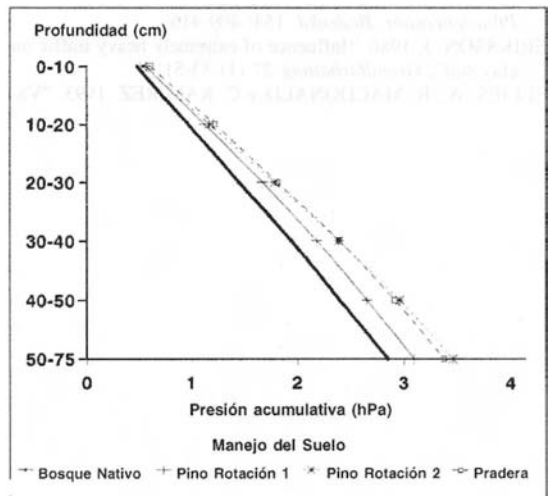


Figura 7. Curvas de consolidación natural del suelo sujeto a distintos usos.

Natural consolidation curves of the soil under different kinds of use.

El suelo con pino en segunda rotación presenta la curva de consolidación natural de menor pendiente. Esta curva refleja el efecto de las faenas de la cosecha forestal. La pradera sometida por años a pastoreo muestra una curva de consolidación similar a la del suelo bajo bosque con pino en segunda rotación. Se deduce que la consolidación y asentamiento son similares entre un sitio solici-

tado con poca frecuencia, pero en forma intensa a otro con solicitaciones menos intensas, pero frecuentes.

CONCLUSIONES

El asentamiento de un suelo trumao incrementa con la intensidad de uso.

Al eliminar el bosque nativo y reemplazarlo por otro de pino se observan modificaciones estructurales en el suelo, disminuyendo el volumen total de poros y la porosidad gruesa, pero aumentando las porosidades media y fina.

Los contenidos volumétricos de la materia orgánica en el suelo no se alteran significativamente con los distintos manejos silvícolas.

Las curvas de consolidación natural reflejan la intensidad de uso del suelo.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, T. H. 1991. "Bedeutung der Mikroorganismen für die Bildung von Aggregaten im Boden", *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 154: 409-416.

ERIKSSON, J. 1986. "Influence of extremely heavy traffic on clay soil", *Grundförbätting* 27 (1) 33-51.

ELLIES, A., R. MACDONALD y C. RAMIREZ. 1993. "Va-

riación de la estructura de un suelo forestal sujeto a distintos manejos", *Boletín* 19: 110-135. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo.

ELLIES, A. y 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.

HARTGE, K.H. 1985. "Einflu der Landbewirtschaftung auf das Bodengefüge", *VDLUFA* 16: 1-6.

HARTGE, K.H. y A. ELLIES. 1990. "Gefügeveränderung bei Andosolen in Südkile als Folge der Nutzung seit der Rodung", *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 153: 389-393.

HARTGE K.H. y R. HORN. 1991. *Einführung in die Bodenphysik*. Enke Stuttgart, 330 pp.

HORN, R., 1984. "The prediction of the penetration resistance of soils by multiple regression analysis", *Z.F. Kulturtechnik und Flurbereinigung* 25: 377-380.

HUBER, A. 1991. "Redistribución de las precipitaciones y balance hídrico de un rodal de *Pinus radiata* y un bosque nativo en el sur de Chile". *Actas II Congreso Internacional sobre Gestión en Recursos Naturales* 3: 565-569.

HUBER, A., A. ELLIES y C. OYARZUN. 1990. "Vergleichsuntersuchung über die Wasserbilanz eines *Pinus radiata* Bestandes und einer Weidelandfläche in Südkile", *Z.F. Kulturtechnik und Landentwicklung* 31: 184-190.

KEZDI, A. 1969. *Handbuch der Bodenmechanik, I. Bodenphysik*. VEB-Verlag Bauwesen, Berlín, 500 pp.

MORAGA, M., H. FIGUEROA y C. RAMIREZ. 1985. "Alteración antrópica de los suelos rojo arcilloso en la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile", *Agro Sur* 13(1): 51-64.

OBERDORFER, E. 1960. "Pflanzensoziologische Studien in Chile - Ein Vergleich mit Europa", *Flora et Vegetatio Mundi* 2: 1-208.

RICHARDS, L. 1949. "Methods of measuring soil moisture tension", *Soil Science* 68: 95-112.