

# Variación en la Resistencia del Suelo por Efecto de su Uso<sup>1</sup>

A. Ellies\*, C. Ramírez\*, R. Mac Donald\*

## ABSTRACT

In a Hapludand soil with different kinds of management, situated in San Jose de la Mariquina in southern Chile, with different kinds of management, vertical, horizontal and torsion resistance changes were evaluated at the end of winter and summer, in 10 cm layers to a depth of 75 cm. Soil use involves increments of tension strength, principally in the upper soil layers. These changes are associated more with the manner than the time of soil use. A greater soil resistance and torsion correspond to sites with higher intensities of pastures. With agricultural use, firmness increases less than under grassland. Greater resistance in wet conditions in relation to dry conditions involves a increase of soil cohesion. The coefficient of horizontal to vertical resistance and torsion showed maximum values during winter. In this season, tendencies were observed to increase in conformity with time of soil use.

## RESUMEN

En el centro-sur de Chile, en San José de la Mariquina, en un Haplúand sujeto a distintas modalidades de manejo, se registraron, a fines de los períodos invernal y estival, modificaciones en la resistencia a la penetración, deformación y rotura, en sentido vertical como horizontal en estratos de 10 cm hasta 75 cm de profundidad. El uso del suelo incrementó principalmente las tensiones de los estratos superficiales. Las modificaciones se asociaron más al tipo de suelo que al tiempo de uso. La resistencia a la deformación, la penetración y la rotura se incrementaron con la intensidad y el tiempo de uso prátense del suelo. Con rotaciones culturales, la firmeza del suelo también aumentó pero en menor grado que bajo uso prátense. La mayor resistencia del suelo se presentó en condiciones húmedas, ya que, en condiciones secas, tiene una menor cohesión. Los coeficientes de descanso alcanzaron valores máximos durante el invierno, con una tendencia al incremento a medida que aumentó el tiempo de uso del suelo.

Palabras clave: Resistencia a la penetración, torsión y deformación del suelo.

## INTRODUCCION

Los factores edáficos que afectan el crecimiento de los cultivos no sólo se explican por el estado nutrimental sino también por la relación aire-agua-suelo. Esta relación puede experimentar cambios con los tipos de manejo que alteran la estructura del suelo. Para la evaluación del estado estructural de un suelo es necesario utilizar conceptos que integren sus propiedades físicas o mecánicas (Eriksson 1986).

En la evaluación físico-mecánica del estado estructural del suelo en terreno, se utilizan mediciones relacionadas con la resistencia a la deformación con la penetración y la torsión. En un material isomórfico, estas variables deberían incrementarse con la profundidad (Kezdi 1969), pero los cambios se producen con el tipo de manejo del suelo. Un suelo no incorporado a la actividad silvoagropecuaria y que mantiene aún su cubierta vegetal original, puede servir como referencia para determinar el grado y la dirección de los cambios que experimentan las resistencias, con los distintos manejos de uso del suelo (Ellies y Hartge 1990).

Con el uso del suelo aumenta su consolidación y, con ello, las tensiones internas que pueden modificar su estructura. Un estado más tenso promueve una mayor firmeza, la que permite más resistencia a la penetración. Estas mediciones ayudan a determinar si el suelo es arraigable, o si los poros son expansi-

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 2 de diciembre de 1992  
Fondo de Ciencia y Tecnología (FONDECYT) 91-916 y  
Dirección de Investigación y Desarrollo (DID) S-91-17.  
Universidad Austral de Chile.

\* Universidad Austral, Casilla 567. Valdivia, Arg.

vos, cuando la fuerza que une a las partículas es menor que la presión axial ejercida por las raíces (Becher 1978; Horn 1984).

Al aplicar una presión sobre el suelo, éste se desplaza aumentando el número de puntos y la superficie de contacto entre las partículas. La distancia de acercamiento entre las partículas determina la magnitud de la cohesión según el grado de encaje y unión de las mismas. El estado estructural del suelo puede evaluarse mediante la resistencia a la torsión (Hartge y Bohne 1983).

En un material isotrópico y granular, las tensiones verticales y horizontales se incrementan linealmente con la profundidad. Las tensiones horizontales son siempre menores que las verticales y entre ambas existe proporcionalidad. Al presionar el suelo se incrementan las tensiones vertical y horizontal. Cuando se elimina la carga, la tensión vertical vuelve a su valor original, pero la horizontal se mantiene si la presión ejercida supera la capacidad de soporte. Por eso, un aumento en las tensiones horizontales del suelo en relación con las verticales indica que ha sido consolidado previamente en forma secundaria (Kezdi 1969). La relación entre la resistencia hori-

zontal y la vertical corresponden al coeficiente de descanso, que en suelos con consolidación primaria oscila entre 0.2 y 0.7 (Terzaghi 1983).

En los suelos estructurados, los coeficientes de descanso son superiores a los de un material isotrópico. De allí que los cambios estructurales que experimenta un suelo por efecto de su uso sólo se pueden evaluar al comparar su coeficiente de descanso con el obtenido de un perfil patrón (Hartge *et al.* 1978; Hartge y Ellies 1990).

El objetivo de esta investigación fue determinar los cambios estacionales que experimentan la firmeza y los coeficientes de descanso de un suelo sujeto a diferentes tipos de uso; con ese fin se utilizó como patrón de referencia el mismo suelo bajo bosque nativo.

#### MATERIALES Y METODOS

Las investigaciones se llevaron a cabo al final de los periodos invernal de 1991 y estival de 1992, en un suelo Typic Hapludand (Serie Pelchuquín), ubicado en San José de la Mariquina (provincia de Valdi-

Cuadro 1. Historial del uso y manejo de los suelos.

Fecha inicio del uso	Sistema de eliminación del bosque	Uso histórico
Sin uso		Bosque nativo secundario desde 1926 (Bosque nativo)*
1988	Bueyes	Pradera recién establecida (Pradera reciente)
1980	Parcial con bueyes y maquinaria	Pradera con bosque (Silvopastoreo)
1940	Mecánica	Pradera de permanente de lechería (Pradera lechería)
1910	Fuego	Pradera con tránsito continuo de animales (Corredor ganado)
1850	Fuego	Pradera en rotación (Rotación cultivos)

\* Entre paréntesis se indican las abreviaturas usadas en las figuras

via), en el centro-sur de Chile. Las mediciones se efectuaron en un mismo suelo con diversos historiales de uso.

En las condiciones húmedas imperantes en la zona, el bosque nativo parcialmente caducifolio de roble-laurel-lingue (*Nothofagus-Persea lingue*) presenta una situación original, y al comparar las propiedades mecánicas de su suelo con aquellos que han tenido distintos usos, se pueden determinar los cambios producidos con dicha intervención.

Se seleccionaron cinco sitios, en los que el suelo estuvo sujeto a distintos usos desde que se incorporó a la actividad agropecuaria. Un sexto sitio fue el bosque que sirve de patrón de comparación. Los sitios estaban próximos entre sí (con menos de 500 m de separación). En el Cuadro 1 se detalla el sistema de incorporación y tipo de uso de cada sitio.

Para seleccionar los lugares de muestreo representativo de las distintas condiciones de uso, se efectuaron medidas penetrométricas previas. En cada sitio seleccionado, se confeccionó una calicata de 3 m x 3 m y 1 m de profundidad. La evaluación de la firmeza del suelo se efectuó con la medición de las resistencias a la torsión con una veleta y a la penetración con penetrometros de cono y plano, tanto en sentido vertical como horizontal. Las mediciones se efectuaron en estratos de 10 cm hasta una profundidad de 75 centímetros. Todas las mediciones se hicieron con 15 repeticiones.

## RESULTADOS

En la Fig. 1 se representan los valores medios de la resistencia a la penetración vertical, determinados con el penetrometro de punta cónica, obtenidos a fines de invierno y verano y que corresponden a valores medios de los primeros 30 cm de profundidad. En profundidades mayores, los distintos usos del suelo no presentan valores diferenciados.

Los valores penetrométricos entre sitios con distinto manejo son comparables en una misma estación. Las mediciones penetrométricas por estación se efectuaron en condiciones similares de humedad de suelo. Durante la medición invernal, la tensión de la humedad del suelo en los sitios oscilaba entre 8 kPa y 15 kPa y a fines del verano, entre 80 kPa y 95 kPa.

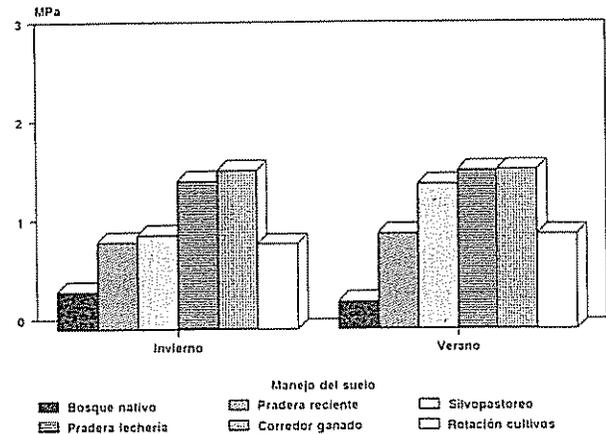


Fig. 1. Resistencia a la penetración vertical de un Hapludand sometido a distintos tipos de manejos (promedio de profundidad 0 cm - 30 cm).

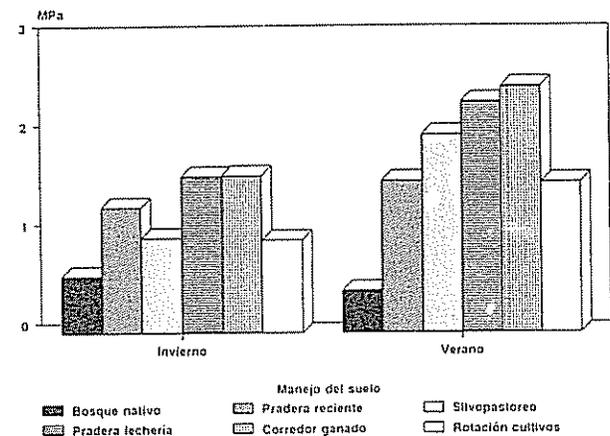


Fig. 2. Resistencia a la deformación de un Hapludand sometido a diferentes tipos de manejo (promedio de profundidad 0 cm - 30 cm).

Los cambios en la resistencia a la deformación vertical del suelo por efecto del manejo, determinados con el penetrometro plano, se representan en la Fig. 2. Esta medición permite inferir la resistencia a la deformación de la masa edáfica. A la penetración del cilindro del instrumento en el suelo se opone el roce producido durante el corte o la deformación, por el deslizamiento de las partículas o agregados de la masa edáfica.

Las variaciones de la resistencia a la torsión vertical por efecto del uso del suelo se representan en la Fig. 3. La veleta de torsión registra los cambios producidos en los agregados, en especial, en su cohesión interna.

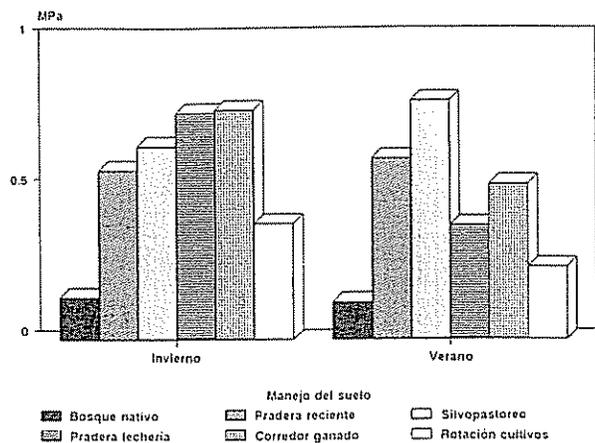


Fig. 3. Resistencia a la torsión vertical de un Hapludand sometido a distintos tipos de manejo (promedio de profundidad 0 cm - 30 cm).

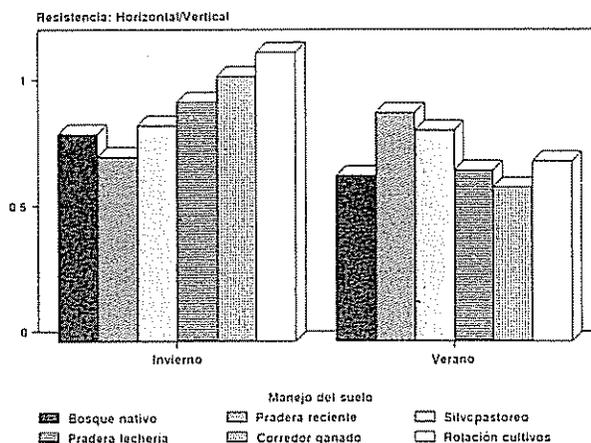


Fig. 5. Relación entre la fuerza horizontal y vertical en la deformación de un Hapludand sometido a distintos tipos de manejo (promedio de profundidad 0 cm - 30 cm).

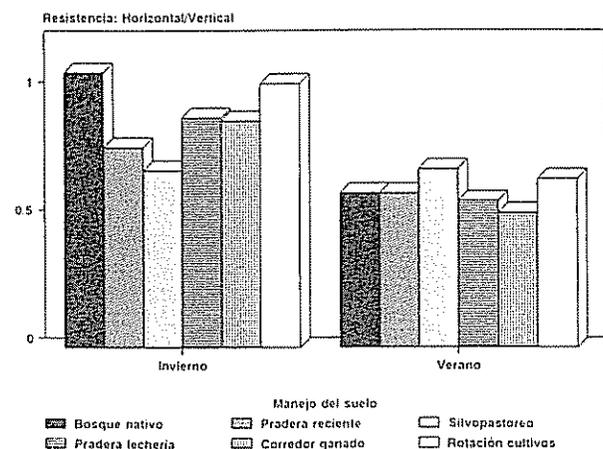


Fig. 4. Relación entre la fuerza horizontal y vertical en la penetración del Hapludand sometido a distintos tipos de manejo (promedio de profundidad 0 cm - 30 cm).

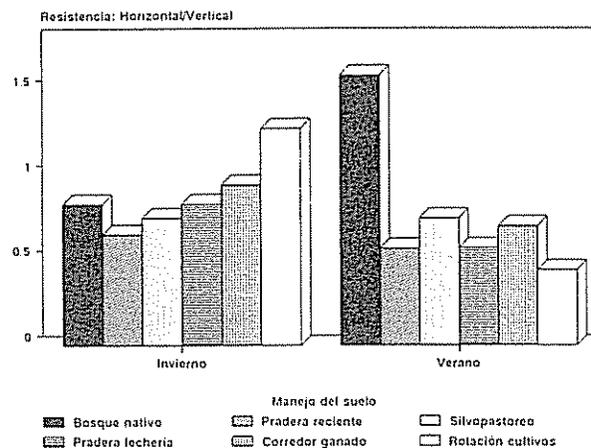


Fig. 6. Relación entre la fuerza horizontal y vertical a la torsión de un Hapludand sometido a diferentes tipos de manejo (promedio de profundidad 0 cm - 30 cm).

La relación resistencia a la penetración horizontal y vertical corresponde al coeficiente de descanso. Los valores medios, obtenidos para los primeros 30 cm del suelo con el penetrómetro de cono, se representan en la Fig. 4.

Los coeficientes de descanso de deformación medios determinados con el penetrómetro plano, para los primeros 30 cm del suelo, se presentan en la Fig. 5.

Los coeficientes de descanso medios determinados con la veleta de torsión para los primeros 30 cm de profundidad se presentan en la Fig. 6.

DISCUSION

La resistencia a la penetración afecta indirectamente la capacidad de arraigamiento. En suelos de textura fina, esta resistencia aumenta a medida que el suelo se seca, debido a un incremento de la cohesión (Mckeyes 1985). Los valores de resistencia a la penetración registrados en este trabajo en suelo seco al final del estío, no difieren mucho de los determinados a fines del invierno en suelo húmedo (Fig. 1). Este aumento se explica por un incremento en la cohesión. En Hapludand la cohesión del suelo húmedo es superior a la de un suelo seco (Ellies 1988). En condiciones secas el suelo tiende a desagregarse, con lo cual la resistencia a la penetración disminuye.

La resistencia a la penetración (o firmeza) aumenta cuando los suelos son sometidos a un uso pecuario más intenso y/o prolongado. Los cambios registrados deben asociarse a un incremento en la cohesión del suelo por efecto del uso debido probablemente a un aumento de la densidad aparente. La resistencia a la penetración es mayor en los sitios sujetos a un pastoreo intenso y prolongado. En el sitio con cultivos, esta resistencia aumenta ligeramente, debido a que el laboreo devuelve la soltura original al suelo. A partir de los antecedentes de la Fig. 1, se infiere que el aumento de la resistencia a la penetración vertical, se debe más al tipo que al tiempo de uso del suelo.

Los valores medios de la resistencia a la deformación determinados a fines del verano superaron a los de invierno (Fig. 2). Esto se explica porque la resistencia está determinada principalmente por el roce, mayor en un material seco que en otro húmedo lubricado con agua.

La secuencia de menor a mayor resistencia por los diferentes tipos de manejo del suelo, coincide con la determinada con el penetrómetro de cono. Sin embargo, contrariamente a lo esperado, la pradera implantada en 1988 (Cuadro 1) presenta una alta resistencia a la deformación, no usual durante el invierno. Esta irregularidad se debe probablemente a que se mantienen aún los efectos del destronque, arrastre de trozas y arranque de raíces. Los registros de esta medición tienen mayor amplitud de lectura que los del penetrómetro de cono. Eso sensibiliza las diferencias entre los distintos usos del suelo.

Al someter los suelos a un uso más intenso, se incrementan la cohesión y la resistencia a la rotura. En los distintos manejos del suelo, la secuencia de los valores de la resistencia a la torsión o rotura al final del invierno es similar a la registrada con los penetrómetros cónico y plano (Fig. 3). Los registros estivales difieren quizá de los invernales, porque el penetrómetro registra el efecto del amarre de las raíces.

Un incremento de la resistencia a la rotura vertical del suelo puede ser también por un secado más intenso, que resulta de la eliminación del dosel arbóreo. La densidad aparente de los estratos profundos de Hapludand bajo bosque nativo es baja. Esto se debe a que el material edáfico no se ha contraído por ausencia de un secado intenso. Una vez eliminada la cubierta vegetal original, aumentan las posibilidades de secado, provocando la contracción y/o consolidación del suelo, en este caso natural.

También las tensiones horizontales se modifican con el uso del suelo como se comprueba con el alza del coeficiente de descanso (Fig. 4). El coeficiente de descanso a la penetración no discrimina los sitios con distintos usos, ya que presenta valores similares en los diferentes sitios. No obstante, en invierno son más altos que en verano, lo cual prueba, una vez más, el aumento de la cohesión durante la época invernal y la expansión lateral del suelo por un hinchamiento que favorece el crecimiento de la tensión horizontal.

Los coeficientes de descanso a la deformación medidos con el penetrómetro plano muestran durante el invierno una ordenación ascendente en los sitios, que coinciden con la duración de la intervención antrópica del suelo, desde la eliminación del dosel arbóreo original (Fig. 5). Esta secuencia permite inferir que los sitios más intervenidos aparentemente han sido sometidos a las mayores cargas que deforman el suelo, por eso el aumento de la resistencia horizontal y/o coeficiente de descanso. En verano estos coeficientes muestran una secuencia contraria, pero menos definida; probablemente con el secado estival se producen pequeñas fisuras de orientación vertical que facilitan la deformación lateral del suelo.

Este coeficiente permite caracterizar, en forma indirecta, el sistema poroso del suelo y los efectos del uso sobre su composición. Los valores del penetrómetro de cono dependen de la cantidad y magnitud de los poros gruesos o fisuras, que facilitan la deformación, en especial, cuando los planos de declive son verticales y los resultados son más altos en las mediciones horizontales.

Estos coeficientes medidos con la veleta de torsión arrojan para las mediciones invernales una secuencia similar a la obtenida con el penetrómetro plano (Fig. 6). Al igual que en los otros casos, el sitio bajo cultivo presenta los mayores coeficientes. Eso indica que el aumento proporcional en las tensiones horizontales es producto de las cargas o los pesos históricos, a los que fue sometido el suelo.

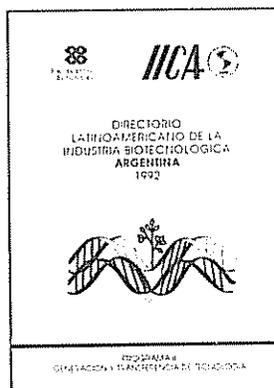
En verano el coeficiente de descanso del suelo del bosque nativo es más alto que el de los otros sitios. En el bosque la agregación del suelo presentaría un predominio del declive vertical. Con la rotura horizontal se rompen los agregados, pero no se mueven como ocurre con una rotura vertical.

En los tres tipos de registros de resistencia, los coeficientes de descanso son superiores a los estimados para suelos no consolidados. Como los suelos estructurados son anisotrópicos, los ejes de los agregados deberían tener una orientación vertical dominante. La penetración vertical desplaza el material hacia los lados. En cambio la horizontal anula la cohesión entre los agregados y, por eso, las fuerzas necesarias para romperlos deben ser mayores. Los suelos menos estructurados son más isotrópicos; por esa razón, la fuerza necesaria para romperlos depende más de las presiones sobreyacentes

#### LITERATURA CITADA

- BECHER, H.H. 1978. The resistance to penetration of model soils depending on water tension. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 141:621-633
- ELLIES, A. 1988. Mechanical consolidation in volcanic ash soils. *Catena Supplement* 11:87-92
- ELLIES, A.; HARTIGE, K.H. 1990. Erfassung der Gefügeveränderung infolge von Inkulturnahme von Böden des Sekundärwaldes in Südchile durch Multivarianzanalyse. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung* 31:380-388
- ERIKSSON, J. 1986. Influence of extremely heavy traffic on clay soil. *Grudförbätting* 27(1):33-51.
- HARTIGE, K.H.; ELLIES, A.; MACDONALD, R. 1978. Anisotropy of penetration resistance in four profiles in Chile. *Geoderma* 20:58-61
- HARTIGE, K.H.; BOHNE, H. 1983. Der Einfluß der Gefügegeometrie des Bodens auf Keimung von Roggen. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung* 24:5-10
- HARTIGE, K.H.; ELLIES, A. 1990. Gefügeveränderung bei Andosolen in Südchile als Folge der Nutzung seit der Rodung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 153:389-393.
- HORN, R. 1984. The prediction of the penetration resistance of soils by multiple regression analysis. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung* 25:377-380.
- KEZDI, A. 1969. *Handbuch der Bodenmechanik, I Bodenphysik*. Berlin, VER-Verlag Bauwesen. 500 p.
- MCKEYES, E. 1985. *Soil cutting and tillage*. Amsterdam, Elsevier. *Developments in Agriculture Engineering* 7:212.
- TERZAGHI, K. 1983. *Theoretical soil mechanics*. New York, Wiley. 500 p.

#### LIBRO RECOMENDADO



US\$5.00

*Directorio Latinoamericano de la Industria Biotecnológica: Argentina 1992. San José, C.R., Foro Argentino de Biotecnología e IICA. Programa II. 110 p.*

*Serie Publicaciones Misceláneas (ISSN-0534-5391) A1/SC-93-09.*

El IICA, por intermedio de su Programa de Generación y Transferencia de Tecnología, publica este volumen dedicado a la industria biotecnológica argentina, con la intención de fortalecer las capacidades de planificación y de gestión de las nuevas biotecnologías, en los sectores públicos y privados de ALC.

Ver lista de publicaciones disponibles para la venta y boleta de solicitud en la última sección de la revista Turrialba.