

# Consejos para la medición de la compactación de suelos

Manual Vial Alarcón, Ing. Agrónomo M.Sc  
INIA Carillanca

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS - INFORMATIVO N° 141

## Introducción

La compactación es uno de los principales problemas que enfrenta la agricultura intensiva moderna; este fenómeno implica disminución paulatina del espacio poroso y movimiento del agua en el suelo. Su efecto principal es el aumento de la resistencia del suelo a la exploración de las raíces alterando su normal desarrollo (Foto 1), provocando la disminución del suministro de agua y nutrientes a la planta dando como resultado bajos rendimientos en la producción de grano y/o materia seca.

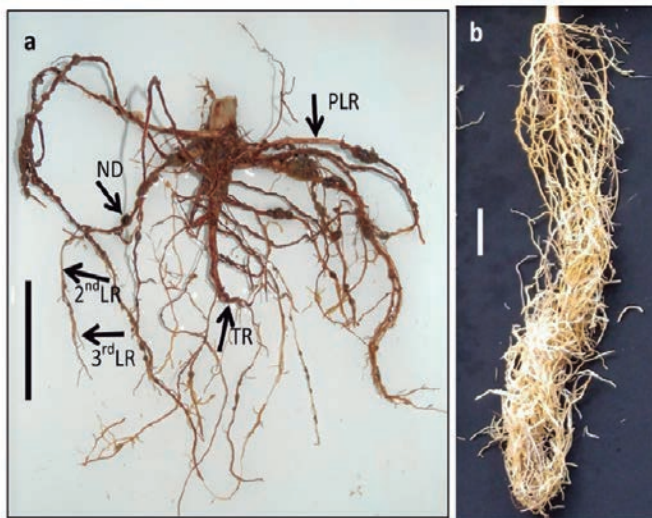


Foto 1. Desarrollo radicular en *Lupinus angustifolius* (a) sistema radicular en un suelo compactado (raíces cortas, contraídas y engrosadas); (b) sistema radicular desarrollado en condiciones de un suelo no compactado. (Extraído de Chen *et al.*, 2014)

De igual forma, la visualización de este problema no es tan evidente como otros procesos de degradación de suelos

como la erosión, por ejemplo, y muchas veces sus efectos pueden ser atribuidos a otras causas tales como problemas de germinación, calidad de la semilla, fertilidad, entre otros (Van Ouwerkerk y Soane, 1995; Batey, 2009).

Existen aspectos de manejo del suelo que inciden en el problema de la compactación, por ejemplo, pastoreo descontrolado en condiciones de exceso de humedad en el suelo, tránsito de maquinaria, laboreo intensivo y superficial, entre otros, conduciendo a procesos de disminución del espacio poroso y por ende a la aparición del problema de la compactación del suelo (Whalley *et al.*, 1995; Carrasco, 2008; Quiroga *et al.*, 2016).

Esquemáticamente se han encontrado tres situaciones recurrentes como manifestación del problema de la compactación: **1) En pradera bajo pastoreo:** con formación de capas compactadas en superficie cuya causa se atribuye al amasamiento provocado por las reiteradas pisadas del ganado en suelo excesivamente húmedo; **2) En rotación de cultivos:** formación en capas compactadas sub-superficiales provocadas por el reiterado uso de implementos de preparación de suelos que no profundizan demasiado como rastras y/o la no realización de labores de suelo de inserción vertical más profundas como el uso del arado cincel o subsolador cada cierta cantidad de años; y **3) Huellas por tránsito de maquinaria:** capas compactadas provocadas por el tránsito de maquinaria descontrolado cuya huella incide en una serie de marcas continuas de tránsito como líneas que se mantienen por varias temporadas, dependiendo del suelo (Figura 1).

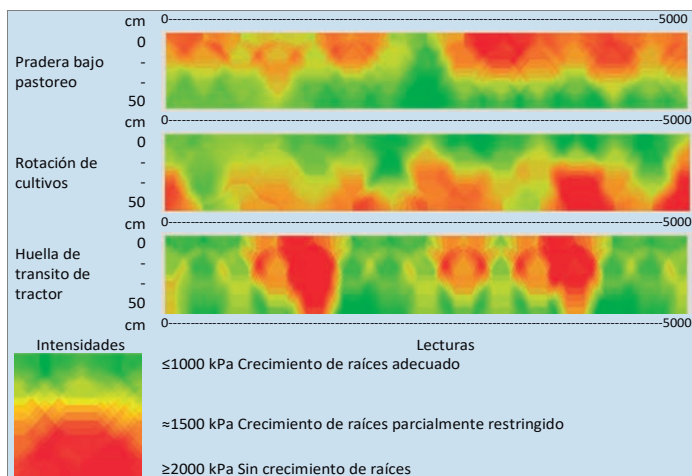


Figura 1. Esquema de perfil en profundidad 50 cm vertical y 5000 cm horizontal. Datos por uso del suelo en el secano interior de la Región de La Araucanía.

## Indicadores

A nivel de campo y con relativa rapidez, es posible medir el estado de la porosidad del suelo y resistencia mecánica utilizando dos indicadores: la densidad aparente y la resistencia a la penetración.

La **densidad aparente**, es la relación entre la masa del suelo y el volumen que ocupa, incluyendo los espacios dentro de las partículas de la masa y se mide  $g\ cm^{-3}$ . Se puede estimar mediante distintos métodos: método del cilindro por estrato del perfil de una calicata (Foto 2) y método del terrón, ambos métodos con particularidades prácticas. En el Cuadro 1 se presentan rangos para el desarrollo de las raíces desde condiciones adecuadas a la inhibición del crecimiento por clasificación textural del suelo.

**Cuadro 1. Referencia de relación general entre la densidad aparente y el grado de restricción para el crecimiento de raíces, según la textura del suelo<sup>1</sup>**

Textura del suelo	Da ( $g\ cm^{-3}$ ) Adecuado	Da ( $g\ cm^{-3}$ ) Afecta el crecimiento	Da ( $g\ cm^{-3}$ ) Inhibe el crecimiento
Arenosa, areno francoso	<1,6	1,69	>1,8
Franco arenosa, franca	<1,4	1,63	>1,8
Franco areno arcillosa	<1,4	1,6	>1,75
Franco limosa, limosa	<1,4	1,6	>1,75
Franco arcillosa	<1,1	1,6	>1,75
Franco arcillo limosa	<1,1	1,55	>1,65
Areno arcillosa, arcillo limosa (35-45% de arcilla)	<1,1	1,49	>1,58
Arcillosa (>45% arcilla)	<1,1	1,39	>1,47



Foto 2. Densidad aparente ( $g\ cm^{-3}$ ) determinado por tramo del perfil de una calicata

La **resistencia a la penetración (RP)**, es utilizada como índice de compactación permitiendo determinar el grado de dureza que presenta el suelo, ya sea por efecto de sellamientos superficiales, densificación de estratos o formación de pie de arado. Se mide en unidades de presión, generalmente en megapascal (MPa), kilopascal (kPa) o libra por pulgada cuadrada (PSI).

Autores señalan que lecturas de resistencia a la penetración sobre niveles de 2000 kPa ( $\geq 300$  PSI) provocan dificultades para el desarrollo normal de las raíces entorpeciendo su funcionalidad y por ende los rendimientos productivos de la planta. Lo anterior considerando que el crecimiento de la raíz es un rasgo adaptativo de cada especie, variando su desarrollo según el tipo del suelo, condiciones ambientales y competencia con otras especies cuando se trata de pradera (Atwell, 1988; Benjamín *et al.*, 2003).

El instrumento utilizado para medir la resistencia a la penetración es el penetrómetro de cono (Foto 3), que corresponde a una barra metálica y que en base a un índice señala el grado de resistencia a la penetración por cm de inserción en el suelo de manera objetiva imitando la acción de la raíz; los datos que entrega han sido determinados conforme a la capacidad de las raíces para crecer, aun cuando no considera las dinámicas biológicas del suelo, ni cambios temporales del proceso secado-humedad, ni congelamiento o descongelamiento del suelo. Se estima que la velocidad de inserción vertical correcta, accionada por el operador, debe ser de  $1''$  o  $2,56\ cm\ s^{-1}$ ; su lectura se denomina Índice de Cono (IC).

1- [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_053260.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053260.pdf)

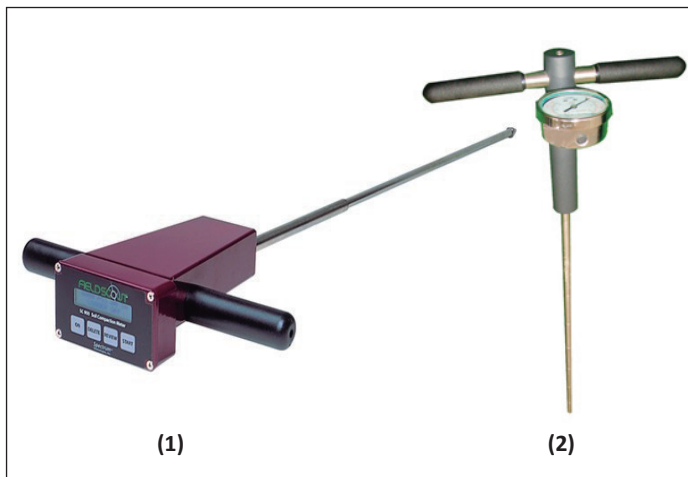


Foto 3. Penetrómetro de cono para el diagnóstico de capas compactadas del suelo (1) Penetrómetro digital, (2) penetrómetro analógico para medir la compactación<sup>2</sup>

## Medición

A continuación, se presentan algunas consideraciones para realizar mediciones con penetrómetro:

1. Se sugiere determinar la superficie a muestrear por zonas homogéneas representativas como terrazas, lomaje suave, lomaje abrupto, sectores bajos, entre otros.
2. De igual forma el penetrómetro se utiliza para estudios localizados en puntos representativos mediante la exploración de los perfiles en una calicata realizando inserciones de manera vertical y horizontal.
3. El cono utilizado regularmente para las mediciones tiene una punta de 12,8 mm de diámetro para suelos de texturas finas (suelos francos) y 19,2 mm para suelos de texturas gruesas o gravas, con variaciones de acuerdo al fabricante.
4. Se recomienda que las lecturas se realicen cuando todo el perfil del suelo esté bajo condición de capacidad de campo (aproximadamente 24 horas después de una lluvia), siendo la mejor época del año para realizar mediciones temprano en primavera, dado que todo el perfil se ha humedecido durante la época de invierno de manera estable y uniforme.
5. Si el suelo se encuentra demasiado húmedo (barroso o lodoso) las lecturas pueden ser subestimadas debido al comportamiento del suelo excesivamente blando,

como fluido y no como sustrato consolidado. Por otro lado, si el suelo está demasiado seco la compactación podría ser sobreestimada (Gray *et al.*, 1995).

6. Para análisis de datos comparativos y la realización de análisis más precisos conviene separar el muestreo en fases distintas. Por ejemplo, en la zona de huella del tractor y fuera de ella, en la hilera de siembra o la entre hilera, es decir para las zonas tratadas y no tratadas con distintos manejos de suelos o diferenciadas. Esto permite generar información sobre los efectos del manejo al cual está siendo sometido el suelo.
7. De forma práctica, el número de lecturas en un terreno depende de la precisión que el evaluador requiere. Se recomienda tomar una lectura cada 30 a 45 m, o 30-40 puntos de lectura por hectárea en sitios homogéneos, para obtener información que permita desarrollar una recomendación, siempre considerando que los suelos poseen una elevada variabilidad espacial. Por lo tanto, si se quiere aumentar el grado de precisión, es necesario aumentar el número de puntos de muestreo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuantificación porcentual de lecturas para determinar del grado de compactación y decisión de subsolar. IC<sup>3</sup> = Índice de cono. Adaptado de Gray, Higgins y Wells (1995)<sup>4</sup>

IC (%) sobre 300 PSI	Grado de compactación	Recomendación para realizar subsolado
<30	Poco - ninguno	no
30-50	Leve	no
50-75	Moderada	si
>75	Grave	si

8. El resultado del muestreo es generalmente un gráfico donde se muestra el promedio de las mediciones en una medida de presión (X=kPa) y profundidad (Y=cm) (Figura 2). De esta forma, se determina a qué profundidad se presentan presiones  $\geq 2000$  kPa (valor de referencia considerado como crítico donde existen dificultades para el desarrollo radicular), conociendo a la profundidad en la cual existe compactación y donde el implemento a utilizar (cincel, subsolador) debe incidir para fracturar la capa densificada.

<sup>2</sup> - Además del penetrómetro digital se utiliza regularmente para muestreos rápidos el téster de compactación que señala la existencia o ausencia de una capa compactada por profundidad dado que la barra se encuentra graduada.

<sup>3</sup> - IC (Índice de cono) >300 PSI. 300 psi = 2068 kPa a las 15" = hasta los 38,1 cm.

<sup>4</sup> - Soil Compaction in Kentucky. Cooperative Extension Service, University of Kentucky, AGR-161.

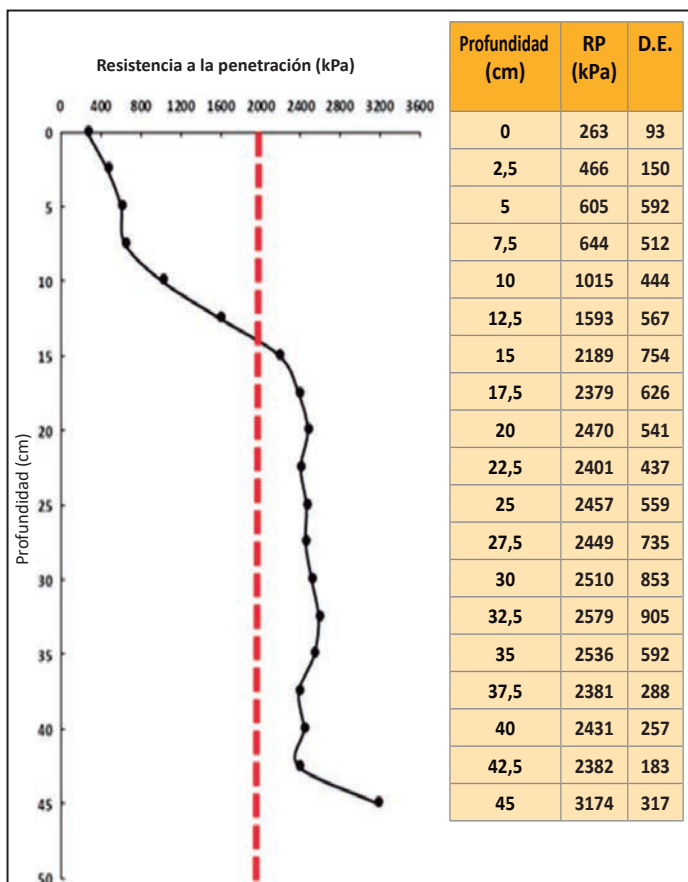


Figura 2. Valores de resistencia a la penetración RP (IC, kPa) de 0-45 cm y desviación estándar (D.E.). Línea punteada roja indica límite de crecimiento de las raíces de referencia (2000 kPa). Ejemplo de suelo bajo rotación de cultivos (n=15)

## Conclusión

La compactación no es un problema que se visualice de manera fácil o evidente en los suelos y muchas veces sus efectos sobre las plantas son atribuidos a otras causas. Generalmente los agricultores detectan el problema cuando, al extraer plantas en distintos puntos del potrero, observan raíces deformes, cortas, engrosadas o retorcidas en la base; o de igual manera, al momento de la emergencia, las plantas no crecen en su estructura aérea o proporciones normales sino estiran sus raíces arrastrando la planta en la superficie.

Permitida la reproducción total o parcial de esta publicación citando la fuente y el autor.  
La mención o publicidad de productos no implica recomendación INIA.  
Mayores antecedentes: manuel.vial@inia.cl

INIA Carillanca, km 10 Camino Cajón-Vilcún - Casilla 929 - Temuco

www.inia.cl

Por lo anterior, es conveniente llevar un historial de manejo sobre los potreros que se encuentran bajo rotación de cultivos y/o pastoreo que señale, entre otros aspectos, cuándo se realizaron labores de labranza vertical (uso de cincel o subsolado). De igual manera, es altamente recomendable realizar habitualmente diagnósticos acerca del grado de resistencia a la penetración y/o estado de la densidad aparente que existe en los suelos bajo rotación de cultivos y/o praderas.

## Referencias bibliográficas

Atwell, B. J. 1988. Physiological responses of lupin roots to soil compaction. *Plant and Soil*, 111(2), 277-281.

Benjamín, J., Nielsen, D. and Virgil, M. 2003. Quantifying effects of soil conditions on plant growth and crop production. *Geoderma*. 116,137-148.

Carrasco, J. 2008. Propiedades físicas del suelo y su relación con la productividad de frutales y vides. En: Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. INIA N°24. Centro Regional de Investigación INIA Quilmapu. Chillán. Chile. 296 p.

Chen, Y., Palta, J., Clements, J., Buirchell, B., Siddique, K. and Rengel, Z. 2014. Root architecture alteration of narrow-leaved lupin and wheat in response to soil compaction. *Field Crops Research*. 165: 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.04.007>.

Gray, M., Higgins, F., and Wells, K. 1995. Soil Compaction in Kentucky. Cooperative Extension Service, University of Kentucky, AGR-161. In: <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/agr/agr161/agr161.pdf>

Quiroga A., A. Oderiz, M. Uhaldegaray, C. Alvarez, E., Scherger, R. Fernández & I. Frasier. 2016. Influencia del uso de suelos sobre indicadores físicos de compactación. *Semiárida Rev. Fac. Agronomía. UNLPam*. 26(2): 19-26

Van Ouwerkerk C., Soane D. 1995. ISTR Workshop on 'The Effects of Soil Compaction on Physical, Chemical and Biological Factors in the Environment', 25 August 1993, Melitopol, Ukraine. *Soil and Tillage Research*. 35 (1): 1-4.

Whalley R.; Dumitru E. and Dexter R. 1995. Biological effects of soil compaction, *Soil and Tillage Research*. 35 (1): 53-68.

