

# Estudio de la compactación de los suelos en agricultura de conservación

Recomendaciones para la disminución de la compactación y ensayos en campo

Varios resultados preliminares sobre la compactación de los suelos alertan sobre el hecho de que más de un tercio del territorio europeo está clasificado como alta o muy altamente susceptible a la compactación. Entre los factores relacionados con el suelo, los que mayor relación tienen con la compactación son el manejo que se realice y la humedad que presenta a la hora de efectuar operaciones mecanizadas. En este artículo se muestran los resultados de varios ensayos de compactación de suelos cultivados en siembra directa, mínimo laboreo y laboreo convencional.

Nuria Marcos Álvarez.  
Universidad de Córdoba.

La compactación es uno de los agentes implicados en la degradación del suelo que cada vez tiene más relevancia. Se trata de un aumento en la densidad y una disminución en la porosidad de un suelo producidos por la aplicación de una fuerza mecánica que excede de la fuerza que es capaz de soportar ese suelo. Los factores que pueden ocasionar compactación son diversos, destacando la predisposición del suelo, el

manejo del mismo, el contenido de humedad, el incremento del peso de la maquinaria y su paso repetido.

La acción de éstos sobre el suelo hace que se reduzca el volumen de huecos y que se altere y pueda dañar su estructura, permitiendo un menor volumen de almacenamiento de agua. En los suelos compactados se observa una reducción de la macroporosidad, de la capacidad de infiltración y de la permeabilidad,

afectando al flujo de agua y aire a través de ellos. La deformación de un suelo debida a la compactación y los esfuerzos cortantes provocados por el paso de maquinaria pueden tener efectos perjudiciales en muchas de las propiedades relevantes del mismo, como la transitabilidad, el drenaje y el crecimiento del cultivo, y puede favorecer los procesos de erosión, ya que impide la infiltración del agua de escorrentía.

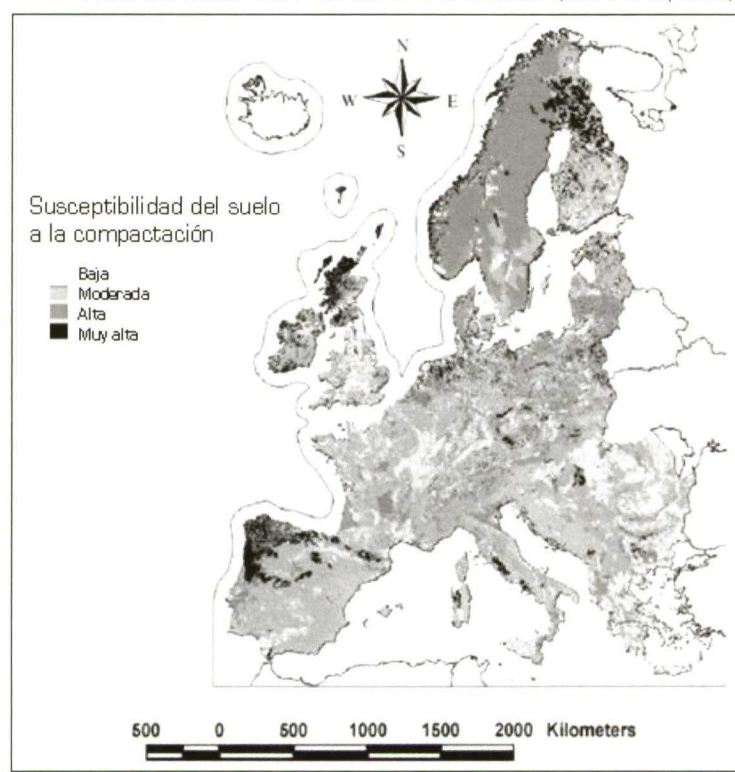
Jones *et al.* (2003) publicaron un mapa europeo de suelos susceptibles a la compactación con el objetivo de facilitar la planificación y la ejecución de las operaciones de campo y el diseño de estrategias medioambientales de protección del suelo (figura 1). Sus resultados preliminares alertan sobre el hecho de que más de un tercio del territorio europeo está clasificado como alta o muy altamente susceptible a la compactación y más del 75% como moderada o altamente susceptible. Aunque también señalan que son necesarios más datos referentes al clima y al uso del suelo antes de que la vulnerabilidad a la compactación pueda ser deducida de los datos mostrados.

## Compactación en sistemas AC de cultivos herbáceos

Entre los factores relacionados con el suelo, los que mayor relación tienen con la compactación son el manejo que se realice y la humedad que presenta a la hora de efectuar operaciones mecanizadas.

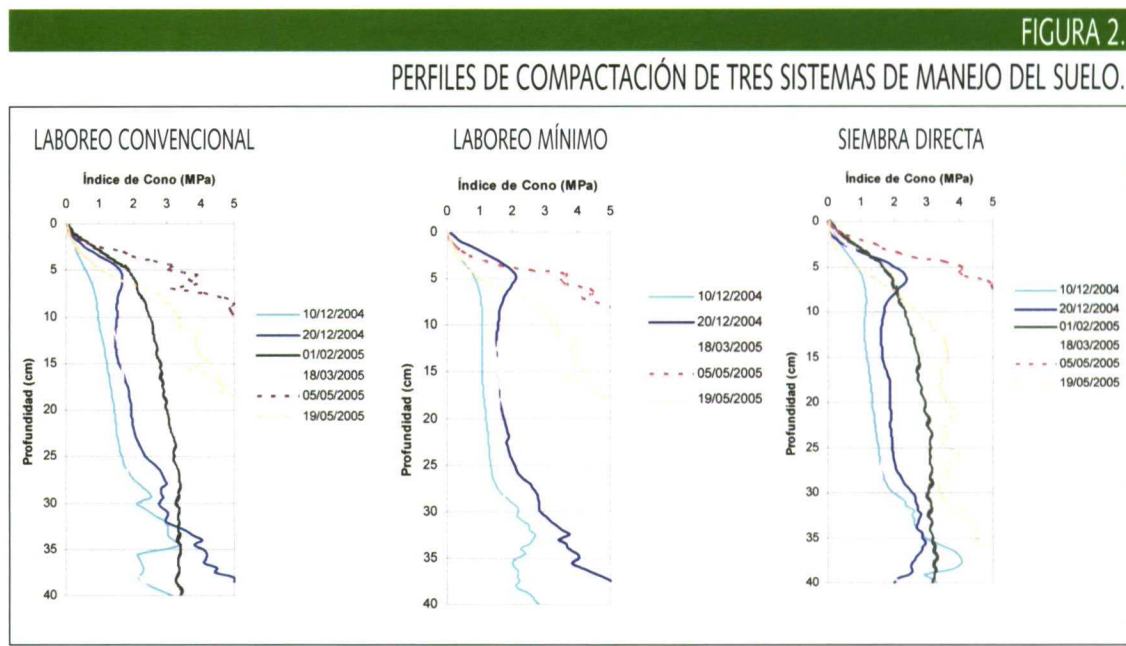
FIGURA 1.

MAPA PROVISIONAL DE LA SUSCEPTIBILIDAD INHERENTE DE LOS SUELOS EUROPEOS A LA COMPACTACIÓN, BASADO EXCLUSIVAMENTE EN PROPIEDADES DEL SUELO (Jones *et al.*, 2003).



Uno de los efectos más importantes de la agricultura de conservación es la permanencia del residuo sobre la superficie del suelo y la menor exposición de horizontes internos a la atmósfera, lo que en general aumenta el grado de humedad. Este aumento de humedad puede producir que la compresión del espacio poroso sea mayor al circular con la maquinaria. Además, la compactación natural que se origina por efecto de la gravedad no se puede eliminar con el laboreo en estos sistemas de manejo. Consecuentemente, el suelo bajo siembra directa muestra, por lo general, una densidad aparente mayor que el suelo bajo laboreo, como se viene observando a lo largo de estos años en las parcelas permanentes de laboreo de conservación. No obstante, los suelos labrados presentan otros problemas de compactación, como las conocidas "suelas de labor".

Para caracterizar la compactación del suelo se utilizan modelos basados en datos de densidad aparente y/o resistencia a la penetración y de contenido de humedad. Estos modelos nos permiten valorar la compactación a lo largo de un perfil de profundidad determinado. En los estudios referidos a continuación, dicha compactación se ha determinado obteniendo datos de índice de cono (IC) en MPa, a través del ensayo de resistencia a la penetración tipificado (ASAE S313.3, 2004) y de humedad. Para ello, se ha utilizado un penetrómetro eléctrico accionado (Gil y Agüera, 2004) que registraba datos cada 5 mm de profundidad. Los perfiles de compactación de la **figura 2** nos muestran cómo varía en profundidad el IC para tres sistemas de manejo de suelo: laboreo convencional (LC), laboreo mínimo (LM) y siembra directa (SD). Los datos del estudio se obtuvieron a lo largo de la campaña 2004/2005 en parcelas experimentales de la finca Tomejil de la Vega de Carmona (Sevilla) en una rotación de secano de trigo-girasol-leguminosa. Se establecieron cuatro zonas de muestreo por



**Foto 1.** Ensayo de resistencia a la penetración con penetrómetro eléctrico.

parcela y en cada una se realizaron de diez a doce repeticiones. Cabe destacar el aumento producido entre los días 10/12/2004 y 20/12/2004, fechas entre las que se llevó a cabo la operación de siembra de trigo. Los valores de humedad gravimétrica de las parcelas en estas fechas se sitúan entre 22,41% y 20,23% de 0 a 20 cm de profundidad. Este incremento es característico del producido por el pase de maqui-

naria sobre el suelo y por la compactación natural, se localiza fundamentalmente en los 10 cm iniciales del perfil del suelo donde se duplican los valores medios de IC suelo, que pasan de 0,531 a 1,091 MPa en LC, de 0,685 a 1,440 MPa en LM y de 0,730 a 1,327 MPa en SD.

La compactación superficial en este tipo de suelos puede afectar negativamente a la infiltración de agua en el suelo y al desarrollo de

las raíces del cultivo. Esto puede ser un obstáculo inicial para la adopción de esta técnica, que oculta los beneficios que tiene a largo plazo, ya que en suelos arcillosos donde se ha practicado el sistema de siembra directa de forma continuada se incrementan los niveles de materia orgánica, lo que permite aumentar la estabilidad de los agregados y, por lo tanto, incrementar su resistencia a la compactación.

Por otra parte, la presencia de residuos puede ser beneficiosa respecto al tráfico de maquinaria, ya que actúa como una cubierta protectora amortiguando la compactación y permite realizar tareas de cultivo generando menos daños que en un suelo desnudo con el mismo contenido de humedad. En la **figura 3** se muestran los valores medios de IC obtenidos antes y después del pase de un tractor equipado con dos configuraciones de neumáticos distintos (convencionales y de alta flotación). La parcela presentaba una capa densa de restos de un cultivo de avena (**foto 1**); primero se hizo circular el tractor sobre ella y posteriormente se repitió el ensayo retirando los restos y dejando el suelo descubierto. Se observa cómo en todas las huellas estudiadas el incremento de IC es siempre menor cuando el suelo está cubierto y además se

FIGURA 3.

VALORES MEDIOS DE IC DE 0-15 CM DE PROFUNDIDAD ANTES Y DESPUÉS DEL PASE DE UN TRACTOR SOBRE SUELO DESNUDO Y SOBRE SUELO CON CUBIERTA VEGETAL.

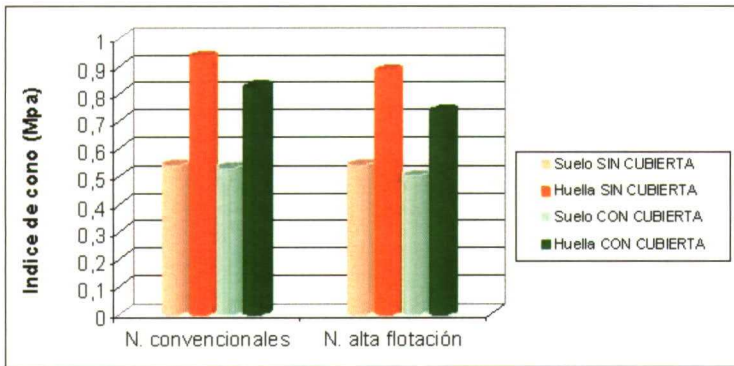


FIGURA 4.

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA COMPACTACIÓN (0-20 CM DE PROFUNDIDAD) EN UNA PLANTACIÓN DE ALGODÓN EN LOMOS Y SISTEMA DE TRÁFICO CONTROLADO. Finca La Parrilla, Palma del Río (Córdoba).

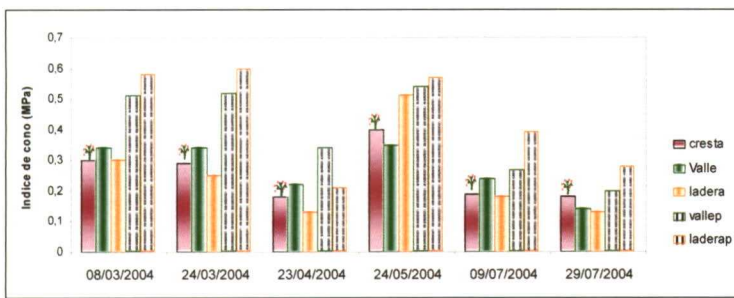
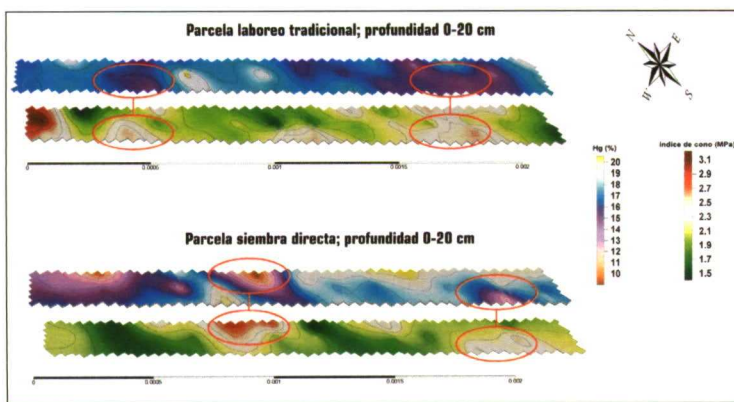


FIGURA 5.

MAPAS DE COMPACTACIÓN Y HUMEDAD EN LAS SUBPARCELAS DE LABOREO CONVENCIONAL Y SIEMBRA DIRECTA PARA EL INTERVALO DE PROFUNDIDAD DE 0 A 20 CM (Gil *et al.*, 2005).



acentúa con los neumáticos de alta flotación o baja presión.

El cultivo sobre terrenos configurados en lomos puede ser una opción útil en suelos con tendencia a la compactación, además de

que se favorece la siembra (foto 2). Ésta queda restringida a los valles de los lomos, acentuándose en las calles por donde la maquinaria hace su paso (figura 4), y posibilita que las raíces profundi-

cen en el suelo sin problemas desde lo alto de las crestas. Este sistema también permite planificar con mayor facilidad estrategias de tráfico controlado en la parcela, ya que la delimitación espacial de las calles queda perfectamente establecida por la presencia de los lomos y los tractores y máquinas que realizan las labores de este cultivo pasan únicamente por las calles establecidas en el plan de control de tráfico (figura 4).

### Variabilidad espacial de la compactación

La tendencia actual a obtener mapas de propiedades del suelo como paso previo a la utilización de técnicas de precisión hace que se empiecen a desarrollar mapas de compactación y humedad. La variabilidad espacial del IC en las parcelas agrícolas ha sido recogida por diversos autores y utilizada para la generación de mapas de compactación a través de técnicas geoestadísticas. Estos mapas nos permiten observar rápidamente las áreas donde la compactación del suelo puede limitar los rendimientos y estudiar las causas y la influencia de otras variables, como el movimiento de productos químicos o la erosión, de forma localizada.

En la figura 5 se muestran los mapas de compactación de febrero de 2005 de las parcelas de LC y SD de la finca Tomejil referida anteriormente. Dichos mapas han sido elaborados con datos de IC obtenidos a través de un muestreo de puntos con un penetrómetro portátil de accionamiento manual, georreferenciado cada medida del muestreo con un GPS y correcciones diferenciales que permiten precisión submétrica. En ambas parcelas se observan zonas donde altos valores de IC se correlacionan con bajos valores de humedad. Esta situación nos alerta de que posibles problemas de compactación puedan estar ocurriendo y su localización espacial permite realizar un manejo específico en esta área.

A pesar de la utilidad de la elaboración de mapas de compactación, la obtención de datos de IC mediante muestreos puntuales resulta trabajosa y, en ocasiones, poco fiable. Cada vez más estudios destacan la conveniencia de realizar medidas continuas a través de cuchillas de medida de la fuerza de corte del suelo y sensores de medida continua de humedad que pueden ser acoplados al tripulante de tractores o motocarros. Un ejemplo de este tipo de cuchillas está siendo desarrollado por el grupo de investigación "Mecanización y Tecnología Rural", de la Universidad de Córdoba (foto 3).

### Conclusiones

El daño económico debido a la compactación es difícil de cuantificar, sobre todo teniendo en cuenta que sus efectos pueden perdurar mucho tiempo y que su remedio por medios mecánicos es muy costoso. En algunos países y empresas, los agricultores ya han adoptado satisfactoriamente sistemas de tráfico controlado, alomados y caballones, neumáticos de baja presión, agrupación de operaciones de un solo pase con tripulante delantero, ruedas dobles o gemelas o en tandem, y han restringido el tráfico de los remolques pesados de recolección a las zonas de cabecera de las parcelas. Algunas recomendaciones para reducir la compactación se detallan a continuación:

Sistema de manejo:

- Controlar la cubierta vegetal en los periodos secos.
- Técnica de alomado y plantaciones en caballones.
- Sistema de tráfico controlado.
- Reducir el peso por eje.

Estado físico del suelo:

- Evitar el tráfico de maquinaria con humedad alta.
- Elevar los niveles de materia orgánica.

Uso de nuevas tecnologías:

- Neumáticos más anchos y bajas presiones de inflado.
- Sistema de guiado automático del tractor.

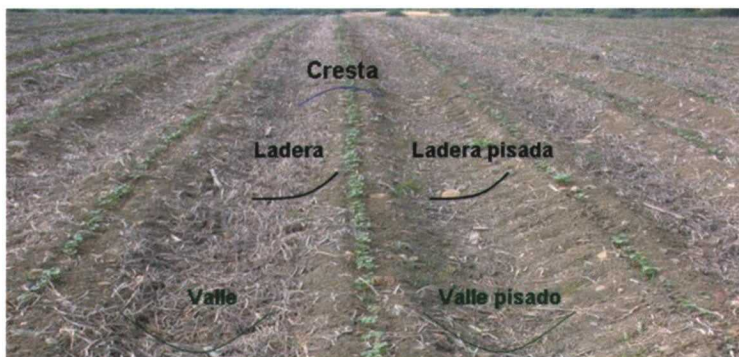


Foto 2. Delimitación de las zonas de estudio de compactación en un cultivo de algodón en lomos.



Foto 3. Cuchilla de medida continua de compactación del suelo.

Métodos para remediar la compactación:

- Uso de aperos descompactadores.
- Uso de mapas de prescripción de laboreo.

Los beneficios económicos de poner en marcha estas recomendaciones pueden no ser obtenidos directamente a través de una reducción en la compactación,

pero sí indirectamente, por ejemplo, a través de la reducción de consumo de combustible que suponen algunas de estas operaciones o del descenso de rendimientos debidos a la pérdida de calidad del suelo. ■

#### Agradecimientos

Al Ministerio de Educación y Ciencia por la financiación del Proyecto AGL2002-04283-C02-01.

## Bibliografía

Agüera J, Gil J A. 2004. El control de la compactación y técnicas de agricultura de precisión, pag 91-95. II jornada iberoamericana. Agricultura de Conservación. Edita: AEAC/SV, ECAF

ASAE Standard S313.3, Soil cone penetrometer (2004)

Gil, J.A., Marcos, N., Agüera J., Perez M., Blanco G.L. y Perea F. Evaluación de la compactación en parcelas de siembra directa y laboreo convencional. Congreso Internacional sobre agricultura de conservación. Córdoba, 9-11 Noviembre, 2005

Jones, R.J.A., Spoor, G., Thomasson, A.J. Vulnerability of subsoils in Europe to compaction: a preliminary analysis. Soil and Tillage Research, 73 (2003) 131-143.

# Oliviero

..recolectar  
olivas no es mas  
un problema..



innovazioni tecnologiche

Puntos de ventas España

tel. 0039 010 666203 - 0039 0564 625131

fax 0039 0564 621960

info@innovazionitecnologiche.com