

# Estudios de compactación de suelos: neumáticos y tractores

Los neumáticos de alta flotación y el tránsito sobre cubiertas vegetales reducen la compactación

Este trabajo tiene por objeto el estudio de la compactación producida por tractores con neumáticos de alta flotación, neumáticos convencionales y cadenas y del efecto que la cubierta vegetal tiene sobre ella. Los resultados muestran que los neumáticos de baja presión o alta flotación producen una compactación y huella en el suelo muy inferior a la provocada por los neumáticos convencionales y similar a la de los tractores de cadenas.

J. Gil Ribes; N. Marcos; J. Agüera; G.L. Blanco.

GI Mecanización y Tecnología Rural.

Departamento de Ingeniería Rural. ETSIAM-UCO.

La maquinaria agrícola y los tractores ejercen una presión continuada sobre el suelo, compactándolo desde su superficie y reduciendo la calidad del mismo (B.C. Ball et al, 1997). Se ha comprobado que el primer pase del tractor es el que produce el efecto más importante en la compactación, que, en muchos casos, se da cuando el suelo está húmedo, J. Agüera, J. Gil, 2004). La compactación por rodadas tiene una especial importancia en sistemas de agricultura de conservación (AC), sobre todo en siembra directa y en cubiertas vegetales protectoras del suelo en frutales (**foto 1**) porque no se pueden eliminar con el laboreo, aunque este último genera otros problemas de suelas de labor y erosión que no vamos a comentar en este trabajo.

En este sentido, los neumáticos agrícolas y sus presiones de inflado son claves (N.H. Abu-Hamdeh, 2003). Se ha estudiado cómo prevenir la compactación, identificando las operaciones que tienen mayor riesgo de generarla y señalando la necesidad de nuevos desarrollos técnicos al respecto, y se ha recomendado el uso de presiones bajas de inflado (L. Alakukku et al, 2003). También se ha comprobado que la transitabilidad puede mejorarse utilizando neumáticos mayores y más anchos, que permiten disminuir la presión de inflado para una determinada carga axial (P. Bazzoffi et al, 1998).

Recientemente, se han desarrollado neumáticos denominados de alta flotación o baja presión que se caracterizan por soportar menores presiones de inflado y por tener una anchura mayor a la de un neumático convencional, lo que produce en el suelo un apoyo más amplio, superior en un 25%.

Este trabajo tiene por objeto el estudio de la compactación producida por tractores con neumáticos de alta flota-



Foto 1. Cubierta vegetal en naranjo con huellas del paso de equipos de tracción y recolección.



Foto 2. Tractores y neumáticos comparados.

ción, neumáticos convencionales y cadenas, y del efecto que la cubierta vegetal tiene sobre ella.

La primera parte de este estudio ha consistido en comparar la compactación producida por dos tipos de tractores (cadenas

CUADRO I. CARACTERÍSTICAS DE LOS TRACTORES Y NEUMÁTICOS UTILIZADOS

	Peso (N)	Sistema de rodadura	Dimensiones	Presión (bar)	Anchura (cm)
TRACTOR 1	30.500	Neumáticos alta flotación	Delanteros: 420/65 R 24 Traseros: 540/65 R 34	0,8 0,8	40,1 50,1
TRACTOR 2	30.500	Neumáticos convencionales	Delanteros: 16,9-34 Traseros: 12,4-24	1,6 1,2	30 40
TRACTOR DE CADENAS	41.000	Cadenas	Longitud (cm): 165	-	40



y ruedas) y dos tipos de neumáticos (convencionales y de baja presión) (**foto 2**). Posteriormente se realiza un análisis de las huellas producidas al pasar los tractores, calculando el hundimiento y el volumen de suelo desalojado. Finalmente, se hace transitar a los tractores sobre un suelo con una cubierta densa de restos de cosecha y se compara la compactación producida con respecto a la correspondiente de circular sobre el suelo desnudo (**foto 3**).

## ► Materiales y métodos

Los ensayos se han realizado en la finca La Parrilla, situada en el término municipal de Palma del Río (Córdoba). El suelo de la parcela de ensayo es de textura arcillosa y recientemente se había realizado un subsolado y un pase de grada de discos (**foto 2**).

La compactación se ha medido mediante ensayo normalizado de resistencia a la penetración (P. Bazzoffi *et al*, 1998), obteniendo valores del índice de cono (IC) cada 0,5 cm, hasta una profundidad de 0,30 m. Para ello, se ha utilizado un penetrómetro de accionamiento eléctrico desarrollado por los autores (**foto 4**) que permite realizar medias en un ancho de un metro desplazando el vástago de penetración sobre su bastidor. Se de-



Foto 3. Ensayos de compactación sobre cubierta.



Foto 4. Penetrómetro de accionamiento eléctrico y lectura informatizada.

# AGROMONEGROS: SELECCIÓN GANADORA

Le presentamos la mejor Selección de Semillas, adecuadas para cualquier explotación cerealista. Semilla Certificada de total garantía y calidad, que le supondrá una importante reducción de costes en la siembra y máxima seguridad en los procesos de multiplicación a Cooperativas y Multiplicadores.



AGRO  
MONE  
GROS

Tel. Atención al Cliente:  
**902 168 289**

Ctra. Sariñena, Km 25,6  
Tel. 976 16 82 89 • Fax 976 16 82 95  
50160 LECIÑENA - ZARAGOZA  
e-mail: [info@agromonegros.com](mailto:info@agromonegros.com)  
web: [www.agromonegros.com](http://www.agromonegros.com)



termina la humedad gravimétrica en cada zona de estudio.

Las características de los tractores y los neumáticos utilizados se detallan en el **cuadro I**.

El proceso de toma de datos consiste en medir la compactación correspondiente al suelo en su estado original (suelo sin pisar) y la compactación en las huellas producidas por el paso de los tractores (mediciones longitudinales a las rodadas). Para ello, se realizan dos estacionamientos del penetrómetro, distanciados 3 m, en cada huella y en cada uno se obtienen 10 perfiles de IC del suelo, a 10 cm de distancia entre ellos (**foto 5**).

Los datos de IC (MPa) son analizados a intervalos de profundidad de 5 cm, agrupando diez datos (uno cada 0,5 cm) en uno.

También se mide el hundimiento (dm<sup>3</sup> de suelo desalojado) producido por el paso de los tractores (mediciones transversales a las rodadas). Para ello, se utiliza el penetrómetro como rugosímetro o perfilómetro. Se obtienen veinte perfiles de IC, transversalmente a las huellas (**foto 6**), a 5 cm de distancia entre ellos. Los datos se ordenan en forma de matriz, utilizando el primer dato de presión de cada perfil como indicador de la forma de la superficie de la huella. El área que queda entre este primer dato y el nivel de referencia (plano de la superficie del suelo antes de pasar el tractor) determinará el volumen de hundimiento producido por el paso de los tractores suponiendo que no sufre variaciones significativas en la longitud de huella de un metro.

Por último, se han estudiado las diferencias entre la compactación producida por un tractor con neumáticos convencionales y otro con neumáticos de alta flotación (**cuadro I**) cuando circulan sobre el suelo desnudo y cuando lo hacen sobre un suelo cubierto de restos del cultivo (4.000-5.000 kg de residuo de avena/ha). Se siguen los pasos anteriores y se calcula, en este caso, el incremento de compactación de cada huella respecto al suelo sin pisar, utilizando el índice de la siguiente ecuación. La profundidad hasta la que se han obtenido datos de IC es de 15 cm.

$$I = [(IC \text{ huella} / IC \text{ suelo sin pisar}) \times 100] - 100$$

## Resultados y discusión

Los datos de IC obtenidos para cada una de las huellas a intervalos de profundidad de 5 cm se muestran en el **cuadro II**. El IC medio en los intervalos de profundidad de 0-10 cm, 0-15 cm, 0-20 cm y 0-30 cm, se muestran en la **figura 1**.

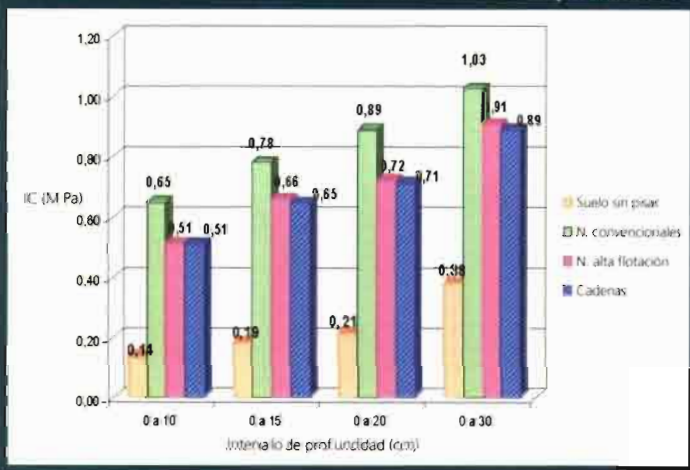
Los valores medios de IC son similares para neumáticos de alta flotación y cadenas y mayores para neumáticos convencionales. El IC aumenta con la profundidad, siendo similares los valores entre 10 y 25 cm, determinándose, por tanto, una compactación no uniforme en el perfil del suelo.

En la **figura 2** se muestra la forma de la superficie del suelo después de que los tractores provistos de neumáticos convencionales y neumáticos de alta flotación efectuaron el pase sobre el terreno. El área rallada se corresponde con el suelo desalojado por los neumáticos.

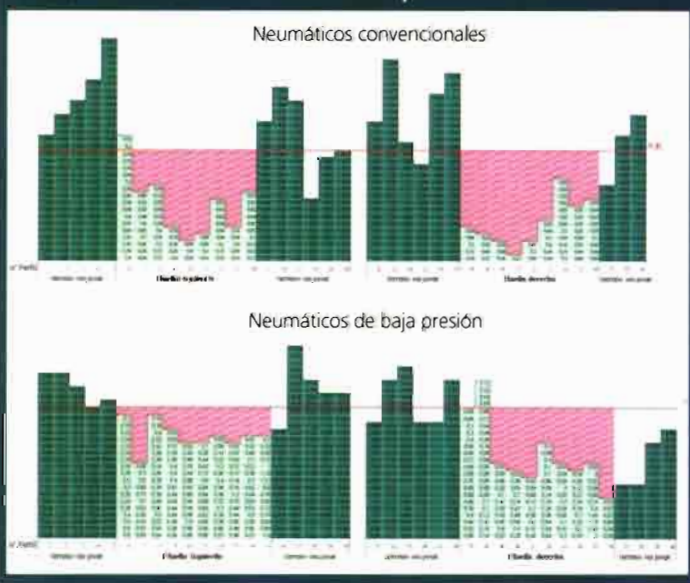
Los volúmenes de suelo desalojados (dm<sup>3</sup>) se calculan para las dos huellas de cada tractor y, posteriormente, se determina el valor medio. Los datos obtenidos se representan en la **figura 3**. El mayor valor se corresponde con los neumáticos convencionales que desalojan una media de 2,05 dm<sup>3</sup> de suelo en cada rueda. Además, son los que más hundimiento producen, ya que la superficie de contacto con el suelo es menor y profundizan más.

En la **figura 4** se muestra que el incremento de la compactación producido en los primeros 15 cm por los neumáticos de alta flotación en el suelo desnudo es comparable al producido por los neumáticos convencionales cuando circulaban sobre una cubierta densa de residuos vegetales.

**FIGURA 1.** IC medio en los distintos intervalos de profundidad.



**FIGURA 2.** Forma del suelo tras el paso de los tractores.



**CUADRO II. VALORES DE HUMEDAD, IC Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR**

Profundidad	Tractor 1			Tractor 2			Tractor oruga			Suelo sin pisar		
	_g	IC media	desv.	_g	IC media	desv.	_g	IC media	desv.	_g	IC media	desv.
0-5 cm	16,76	0,33	0,23	18,39	0,54	0,33	16,79	0,34	0,19	18,03	0,09	0,09
5-10 cm		0,73	0,3		0,75	0,29		0,66	0,29		0,19	0,08
10-15 cm	16,22	0,9	0,41	18,66	0,99	0,61	17,3	0,88	0,43	17,85	0,27	0,11
15-20 cm		0,93	0,21		1,28	0,73		0,93	0,26		0,31	0,11
20-25 cm	17	1,2	0,33	18,73	1,19	0,44	19,25	1,14	0,2	18,46	0,50	0,23
25-30 cm		1,29	0,38		1,4	0,35		1,36	0,22		0,83	0,36



# VARIO

Fendt 900 Vario TMS

# Una vez Vario, siempre Vario.



### Terminal Vario

Toda la información a la vista

### Joystick Vario

Todas las funciones a mano

### Vario TMS.

Sistema de Gestión del Tractor

### Transmisión Vario

La Transmisión Continua

### Variotronic TI

Perfecto control en las cabeceras

### Motor de 7 litros

Nunca ha habido ningún tractor tan económico

*"Nuestros Varios saben todo e incluso más"  
Es el veredicto convincente de los clientes más exigentes.  
No se puede resumir mejor la eficiencia y la versatilidad  
de la tecnología Vario. Por qué no utilizar también las excelentes  
ventajas de los tractores Fendt. Merece la pena.*

**Tractor innovation by Fendt**

<http://www.fendt.com>

# FENDT

Fendt es una marca de AGCO Corporation





El análisis estadístico (ANOVA factorial) realizado para determinar la influencia de los factores "neumático", "cubierta" y "profundidad" sobre la variable "incremento de la compactación" (I) establece diferencias estadísticamente significativas, con un nivel de confianza del 95% para los dos primeros factores, esto es, el incremento de la compactación es mayor para neumáticos convencionales y suelo sin cubierta y para la interacción cubierta\*profundidad.

### Conclusiones

Los neumáticos de alta flotación producen una compactación y huella en el suelo similar al tractor de cadenas, siendo en ambos casos muy inferior a la provocada por los neumáticos convencionales. La cubierta protege de la compactación y este efecto se acentúa con los neumáticos de baja presión.

La continuación de este trabajo será encaminada a la determinación y cuantificación de la influencia en las variables de estudio de los distintos grados de humedad de los suelos agrícolas, de distintos tipos y densidades de cubierta del suelo, y a la evolución de estas huellas en el tiempo. Los resultados de estos trabajos deberán ayudarnos a establecer criterios o índices para evaluar anticipadamente los daños que pueden producirse en un suelo agrícola, incorporando y determinando la perdura-



Foto 5. Huellas producidas por los neumáticos convencionales y de baja presión.



Foto 6. Estacionamientos en campo con el penetrómetro para medición transversal a las huellas.

FIGURA 3. Volúmenes de suelo desalojado para las distintas huellas.

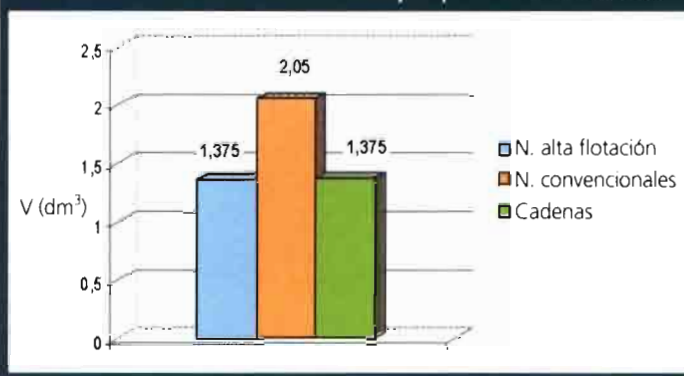
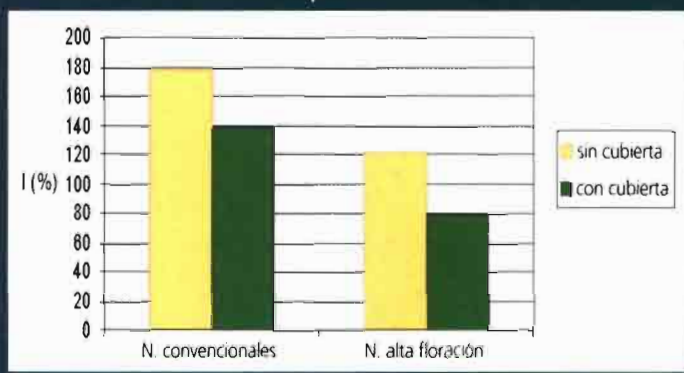


FIGURA 4. Incremento de compactación en el suelo en función del neumático.



bilidad de dichos daños. Estos índices deben incorporar variables relativas a nuevas tecnologías, como los neumáticos de baja presión, y aquellas que corresponden a técnicas de manejo del suelo en auge actualmente, como es el mantenimiento de cubiertas de restos vegetales en la superficie del suelo. ■

### Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto AGR2002-04283-C02-01

### Bibliografía

B.C. Ball, D.J. Campbell, J.T. Douglas, J.K. Henshall, M.F. O'Sullivan. Soil structural quality, compaction and land management. *Eur J. Soil Sci.*, Vol.(48) (1997) 593.

J. Agüera, J. Gil. Control de la compactación y técnicas de precisión. *Agricultura*, Vol. (866) (2004) 730.

N.H. Abu-Hamdeh. Soil compaction and root distribution for okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil Till. Res.*, Vol. (74) (2003) 25.

L. Alakukku, P. Weisskopf, W.C.T. Chamen, F.G.J. Tjink, J.P. Van Der Linden, S. Pires, C. Sommer, G. Spoor. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part 1. Machinery/soil interactions. *Soil Till. Res.*, Vol.(73) (2003) 145

P. Bazzoffi, S. Pellegrini, A. Rocchini, M. Morandi. The effect of urban refuse ... *Soil Till. Res.*, Vol. (48) (1998) 275.

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