Estudio de la compactación del suelo por los neumáticos

Sus efectos pueden limitarse eligiendo bien el tipo de tractor, sus neumáticos y las condiciones de trabajo

El paso de las unidades de tracción y los equipos autopropulsados sobre los suelos agrícolas para realizar operaciones mecanizadas es indispensable en una agricultura moderna, pero tiene algunos aspectos negativos como, por ejemplo, la compactación del suelo. Esta provoca un cambio ambiental con consecuencias económicas y ecológicas a tener en cuenta.

Jesús Gil Ribes y Diego L. Valera Martínez.
Grupo de Investigación "Mecanización y Tecnología Rural".
Dptos. de Ingeniería Rural.
Universidades de Córdoba y Almería.

Figura 1. Rodadas sobre trigo tras una operación de abonado de cobertera.

El paso de las unidades de tracción y los equipos autopropulsados sobre los suelos agrícolas para realizar operaciones mecanizadas es indispensable en una agricultura moderna, pero tiene aspectos negativos como, por ejemplo, la compactación del suelo. Esta proviene de las cargas verticales (peso) que soportan las ruedas y las cargas tangenciales (tracción) que realizan las ruedas motrices. Es un fenómeno inevitable dado que el esfuerzo de tiro que puede hacer un tractor depende de su peso sobre los ejes motores.

La compactación provoca un cambio ambiental con consecuencias económicas y ecológicas, (Soane y Van Ouererk 1994). Las primeras son difíciles de cuantificar dado que sus efectos se confunden e interaccionan con: el estado anterior del suelo; su manejo; el desarrollo de los cultivos y las condiciones climáticas. Se derivan de la reducción del rendimiento del cultivo, del menor aprovechamiento de los recursos del suelo, de las mejoras a él aplicadas y de las pérdidas de suelo debidas a la erosión. Por su parte, el impacto ambiental está relacionado con el incremento de la erosión y el transporte de agroquímicos. En la **figura 1**, se observa el daño realizado sobre un cultivo de trigo por el paso de un tractor para realizar el abonado de cobertera.

Factores que afectan a la compactación

La compactación depende del tipo y estado del suelo, aumentando con la humedad hasta llegar al punto en que el daño es intolerable: límite de transitabilidad o de traficabilidad. También depende del tipo de tractor y de sus neumáticos. Los tractores de ruedas realizan en cada pasada dos compactaciones: una la rueda delantera y otra la trasera. Esta última es menor debido a que se realiza sobre el suelo ya compactado por el eje delantero. Desde este punto de vista lo ideal es que las dos ruedas sean iguales en diámetro y anchura, o al menos intentar que cumplan esta última condición.

La compactación depende, para el mismo peso sobre la rueda, de su tamaño siendo menor cuanto mayor sea su anchura y su diámetro, porque con ello se aumenta la superficie de apoyo y se disminuye la presión sobre el suelo. La compactación es menor cuanto menor sea la presión de inflado, ya que de esta manera se aumenta la superficie de apoyo. Así en suelos blandos debemos rebajar la presión de las ruedas hasta su límite de uso que suele estar alrededor de 1 bar.

El peso del tractor es la causa de la compactación por lo que debemos quitar el lastre cuando este no sea necesario para realizar grandes esfuerzos de tracción. Además, limitamos la carga sobre los rodamientos de apoyo y el chasis y disminuimos el consumo de combustible, al hacerlo, la resistencia a la rodadura, que es proporcional al peso, se reduce la potencia empleada en la autopropulsión del tractor. La rodadura se debe, en su mayor parte, a la energía empleada por el tractor en desplazar y compactar el suelo por donde pisa, dando lugar a las rodadas y al daño al suelo (**figura 2**). El aprovechamiento al máximo del tractor y de su trabajo, especialmente en condiciones difíciles, empleando enganches delanteros y traseros para realizar más de una operación a la vez es una alternativa a tener en cuenta y potenciar.

La ventaja de los tractores oruga a este respecto se debe a su mayor superficie de apoyo, a su menor presión sobre el suelo, y a realizar una sola pasada (**figura 3**). Esto les permite realizar mayor tracción con el mismo peso y tener mejor transitabilidad.

Para evaluar el grado de compactación de un suelo, no existe ninguna medida única y directa, sino que se utilizan diferentes propiedades del suelo que reflejan su estado de compactación (Soane, 1990). Los parámetros normalmente usados son su resistencia a la penetración a través del Índice de Cono, normalizado por ASAE-2000, el hundimiento y la densidad aparente, cuyos incrementos provocan disminuciones en el rendimiento de los cultivos (Rusanov, 1997).

Estudio de la compactación

Para profundizar en estos aspectos hemos realizado ensayos en un vertisol de la Vega de Carmona (Sevilla), un suelo profundo con un alto contenido en arcillas expansibles sin horizontes diferenciados, con tractores que pertenecen a los tipos más comunes en la zona: un tractor de tracción doble de 104 CV homologados y un tractor de cadenas de 76 CV (**figura 4**) buscando cuantificar la compactación y el daño al suelo que producen.

En primer lugar realizábamos las medidas sobre el suelo inalterado , es decir, sin haber transitado ningún equipo de tracción sobre él. Posteriormente, sobre el lugar en que se han realizado las medidas iniciales, pasábamos con el tractor, y volvíamos a realizar las medidas (**figura 4**). El proceso se repetía hasta completar cinco pases consecutivos.

Figura 2. Huella de un tractor de ruedas sobre un campo de trigo.

El hundimiento del tractor en el suelo se midió utilizando un perfilómetro que opera sin contacto directo con el suelo (Valera et al 1998), mediante un sensor láser de distancias que fija la distancia al suelo desde un plano de referencia, coordenada Z. Este aparato (**figura 4**) puede registrar las coordenadas X e Y mediante dos potenciómetros, almacenando en soporte informático hasta un máximo de 14.000 puntos situados en 1 m^2 de superficie de suelo. Normalmente empleamos 1.000 datos para fijar la superficie del suelo. El hundimiento lo hemos calculado como el volumen comprendido entre la superficie de suelo inicial y tras haber pasado el tractor sobre ella.

Para medir la resistencia a la penetración del suelo, se utilizaron un penetrómetro manual (**figura 4**) y otro de accionamiento eléctrico, que registran los valores de Índice de Cono a intervalos de 5 mm hasta un máximo de profundidad de 30 centímetros. El Índice de Cono es la presión que hay que hacer para clavar una punta cónica normalizada. Cada vez que pasaba el tractor se realizaban 33 pinchazos, siempre en el eje longitudinal de la huella, o paralelo a él, y en la superficie pisada por el tractor. El Índice de Cono de cada tratamiento (inicial; 1,2,3,4 y 5 pases) es la media de las 33 penetraciones.

El primer pase provocó la mayor alteración del suelo, comparándolo con los sucesivos pases (ver **figuras 5 y 6** en las que se representan el volumen de suelo desplazado tras cada pasada y la variación de la resistencia a la penetración). Lo que sugiere la adopción de estrategias de tránsito controlado. Este comportamiento se manifestó en todos los tractores y para todas las condiciones de humedad del suelo.

El tractor de doble tracción provocó mayores daños al suelo en comparación con el de cadenas. Las mayores alteraciones se encontraron en los primeros 10 cm del suelo. Se han medido mayores hundimientos de todos los tipos de tractores a medida que aumentaba la

Figura 3. Sistema de rodadura de un tractor de orugas de goma.

humedad del suelo. El hundimiento es mayor en el doble tracción que en el oruga (**Fig. 5**).

El tipo de tractor y los sucesivos pases sobre la misma superficie de suelo, no han alterado la densidad aparente seca medida a 30 cm de profundidad. Es decir, a esa profundidad no se aprecia compactación debida al tránsito de vehículos. La densidad aparente seca en superficie tiende a aumentar con el número de pases, hasta llegar asintóticamente al segundo, a partir del cual las variaciones no son significativas.

Conclusiones

Los efectos de la compactación por los sistemas de tracción pueden limitarse eligiendo bien el tipo de tractor, sus neumáticos y las condiciones de operación. Una estrategia de tráfico controlado aparece como una buena solución para limitar el daño. Para ello basta con mantener una proporcionalidad entre el ancho de las sembradoras y de las máquinas de distribución de agroquímicos (3-4 veces), pisando si es posible sobre las huellas del tractor al sembrar, dado que es preferible pisar varias veces en el mismo sitio, que una en distintos sitios. El ancho de los aperos de labranza debe coincidir con el de siembra.

En la figura 1 se mostró una situación de este tipo en un cultivo de trigo sembrado con una máquina de 4 metros de anchura, los equipos de tratamientos y abonado tienen 12 metros y pisaban sobre las mismas huellas, que a su vez coincidían con una de cada tres de la sembradora. Esto localizó la compactación y permitió abonar en malas condiciones de ese invierno, porque los suelos compactados tienen mejor transitabilidad. ■

Figura 4. Ensayos de compactación con doble tracción y oruga.

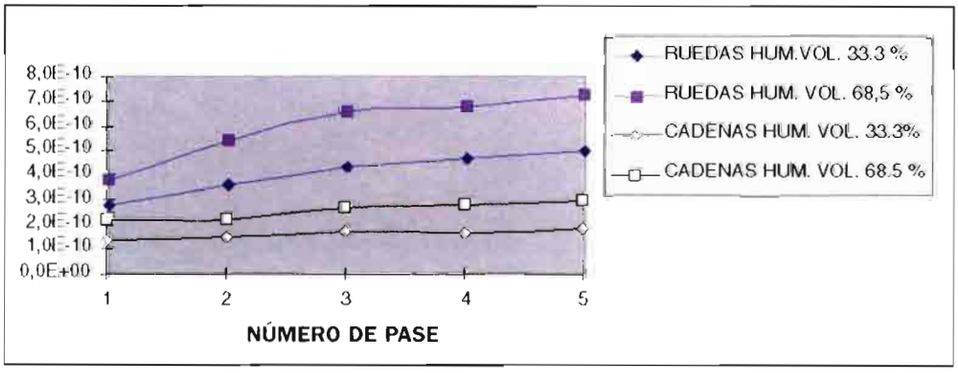

Figura 5. Volumen de suelo desplazado por cada tractor por metro de huella y tonelada de carga.

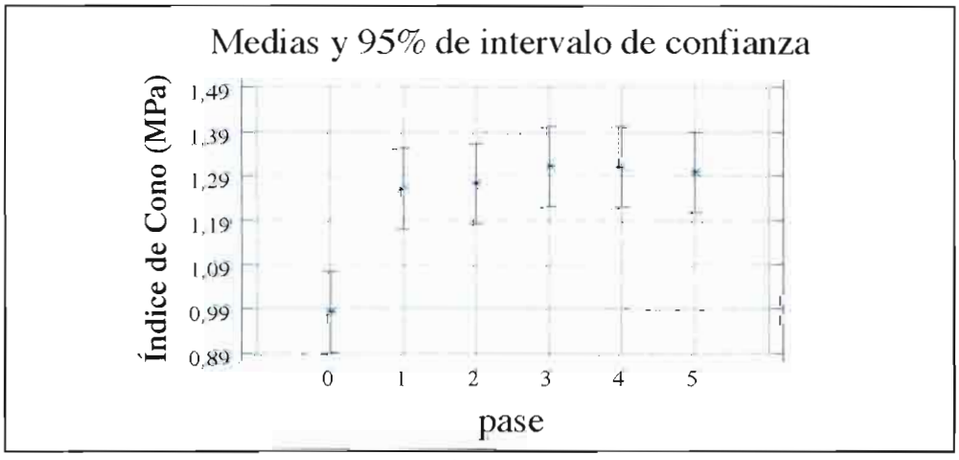

Figura 6. Modificación del Índice de Cono tras cada pasada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Plan Nacional de Investigación la ayuda prestada a través del proyecto AGF 99-0327 para la realización de las experiencias descritas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Rusanov, V.A. 1997. Methods for determinign the effects of soil compaction produced by traffic and indices of efficiency for reducing these effects. Soil and Tillage Research, 40:239-250.

[2] Soane, B.D. 1990. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. Soil and Tillage Research, 16:179-201.

[3] Soane, B.D. and Ouwerkerk, C. Van. 1994. Soil compaction problems in world agriculture. In: B.D. Soane and C. Van Ouwerkerk (Editors), Soil compaction in Crop Production. Elsevier, Amsterdam, pp 1-22.

[4] Standars Engineering Practices Data. ASAE. 2000. S313.2. Soil Cone Penetrometer.

[5] Valera, D.L., Gil, J., y Agüera, J. 1994. Medida sin contacto del microrrelieve de los suelos agrícolas. Anales de Ingeniería Mecánica. Año 10, (3): 447-453.