

## Evaluación del efecto de la compactación por el rodado de maquinarias sobre algunas propiedades físicas del suelo y el cultivo de trigo en siembra directa

**Pablo Richmond y Sergio Rillo**

INTA EEA 9 de Julio, Buenos Aires, Argentina  
a9julio@internueve.com.ar

### Introducción

Se define a la compactación como el aumento de la densidad del suelo como resultado de las cargas o presiones aplicadas al mismo. Su magnitud se expresa como un aumento de la densidad aparente y de la resistencia del suelo a la penetración.

Las principales causas de la compactación del suelo son las presiones generadas por el paso de rodados e implementos agrícolas, el pisoteo animal y el reacomodamiento de las partículas de suelo en planteos de trabajo sin laboreo.

Bacigaluppo y Gerster (2003), comparando sectores con y sin huella de maquinarias, trabajando en suelos argiudoles, encontraron diferencias en la densidad aparente hasta una profundidad de 31 cm. Estas diferencias se mantuvieron presentes al segundo año de evaluación.

Este fenómeno tiene implicancias directas e indirectas sobre el desarrollo de los cultivos, afectando principalmente el abastecimiento de agua y nutrientes a la planta. Altera la capacidad de infiltración de agua, su redistribución en el perfil del suelo, la aireación, la transferencia de calor y el movimiento de nutrientes. La reducción de la tasa de infiltración aumenta las pérdidas por escurrimiento y disminuye la reserva disponible para los cultivos (Gil et al., 1993). Bacigaluppo y Gerster (2003), encontraron en el sector densificado por tránsito una marcada disminución en la disponibilidad de nitratos en el horizonte superficial, menores valores de conductividad hidráulica, y menor desarrollo radicular en profundidad.

Los suelos pueden, en mayor o menor medida, y de acuerdo a sus características, recuperar su forma estructural a través de procesos naturales luego de sufrir un disturbio, como puede ser una compactación por un rodado o por pisoteo animal. La presencia de una alta proporción de limo (partículas de 0,002 - 0,05 mm) como poseen muchos suelos del área pampeana, no sólo atenta severamente contra la estabilidad estructural (son suelos frágiles o poco estables), sino que difícilmente logren la restauración natural a partir del momento que se redujeron o eliminaron los disturbios externos.

El principal efecto que ejercen las fuerzas de compresión sobre el suelo es el cambio en la porosidad, especialmente una variación en la distribución del tama-

ño de poros. A medida que las fuerzas de compresión aumentan, los poros más grandes colapsan. En otras palabras, un incremento en la densidad del suelo implica una reducción del espacio poroso, especialmente de los poros de gran tamaño.

Dada la relación directa que tiene la macro-porosidad con el crecimiento de las raíces, es importante considerar el volumen total ocupado por macro-poros que superan los 0,1 mm. de diámetro. A medida que disminuye el volumen de poros que superan este diámetro, se afecta el desarrollo de las raíces del cultivo. Se asume que una resistencia de 20 kg/cm<sup>2</sup> para suelos a capacidad de campo, luego de 48 - 72 horas de la última lluvia, resulta crítico para el crecimiento de las raíces de los principales cultivos (Gil et al., 1993).

La compactación, además de limitar el desarrollo y crecimiento de las raíces, provoca en aquellas que logran penetrar, deformaciones, estrangulaciones y otras anomalías morfológicas que alteran el sistema de conducción hacia la parte aérea.

El tamaño de poros también afecta la capacidad de almacenaje y el movimiento del agua en el suelo. La capacidad de almacenamiento de agua disponible para el uso del cultivo, está comprendido en un volumen de poros de diámetros entre 0,2 y 30 micras (poros capilares).

En resumen, la compactación del suelo provoca una reducción del tamaño de poros y ocasiona una gran disminución del volumen de agua que pasa a través de ellos. Este concepto también explica por qué la compactación de un suelo afecta la velocidad de infiltración y el movimiento de agua y nutrientes hacia las raíces. Otro aspecto directamente relacionado con la porosidad y distribución del tamaño de poros es la capacidad de aireación del suelo, que también se ve afectada.

En base a los conceptos enunciados se deduce que los suelos compactados son menos productivos. Sin embargo, la relación entre la compactación del suelo y los rendimientos no siempre es directa, debido a que interactúan una serie de factores, como el tipo de suelo, agua, aire y nutrientes en forma conjunta en los diferentes estadios de crecimiento de la planta. En general se estima que las pérdidas de rendimiento causadas por la compactación pueden superar el 10 - 20%.

En la agricultura moderna se ha difundido el empleo

de tractores, cosechadoras, acoplados con tolva y otras maquinarias de gran peso y tamaño.

Años atrás, cuando se utilizaban maquinarias más livianas, la compactación existía en los niveles superficiales del suelo. Con el uso de equipos grandes fue alcanzando niveles más profundos.

La compactación de los estratos superficiales está causada por la presión específica (que está estrechamente correlacionada con la presión de inflado de las cubiertas), mientras que la compactación de los estratos más profundos (a más de 30-50 cm), está determinada solamente por la acumulación total de la carga, independientemente de la extensión de la superficie en la que se distribuye la misma (Smith H. y Dickson L., 1990, citado por Jorajuria et al., 2000).

El uso de tractores con tracción en las cuatro ruedas también incide en el fenómeno de compactación. La tracción extra de estos tractores les ofrece la posibilidad de trasladarse en terrenos con exceso de humedad, aumentando la densificación del suelo.

En base a estos antecedentes, la AER INTA 9 de Julio decidió iniciar un ensayo para cuantificar el efecto de la compactación del suelo por rodados a lo largo de dos campañas agrícolas. Para el primer año el objetivo fue evaluar el efecto de la compactación producida por rodados sobre algunas propiedades físicas del suelo, el contenido de humedad y el rendimiento del cultivo de trigo en un sistema de siembra directa (SD).

### Materiales y Métodos

El ensayo se desarrolló en la Escuela MC y ML Inchausti, localizada en cercanías de Valdez, partido de 25 de Mayo. Los suelos se clasificaron como Hapludoles énticos, serie Norumbega. El análisis de fertilidad del suelo, que viene siendo manejado en SD desde hace 5 años arrojó el resultado que se muestra en la Tabla 1.

Se sembró trigo en siembra directa el día 20 de junio de 2005 utilizando la variedad Klein Sagitario. El cultivo fue fertilizado con 100 kg/ha de fosfato diamónico en la línea de siembra, más una mezcla de 150 kg/ha de urea y 20 kg/ha de sulfato de amonio al voleo en post-emergencia temprana.

Se evaluaron dos tratamientos: suelo con huella (SDCH) y testigo sin huella (SDSH). Para ello se identificaron huellas de rodado producidas durante la cosecha de soja que antecedió al trigo para su evaluación. El testigo fue el suelo sin huella visible en ese momento. Cada tratamiento se evaluó sobre tres repeticiones, cada una compuesta de una hilera de 5 metros de longitud sobre distintas huellas. Luego de la siembra de trigo se realizaron las siguientes mediciones:

- Densidad aparente por el método del cilindro a 0-20 y 20-40 cm de profundidad.
- Resistencia a la penetración del suelo hasta los 50 cm.
- Contenido de humedad en el suelo a 0-20 y 20-40 cm.

Para la evaluación de la resistencia se utilizó un penetrómetro de impacto. Para transformar el número de impactos en resistencia a la penetración se utilizó la siguiente fórmula:

$$R: k \cdot n$$

Donde:

**R:** resistencia a la penetración cada 5 cm de espesor de suelo.

**k:** constante del penetrómetro (propia del equipo). En nuestro caso 2,5 kg/cm<sup>2</sup>.

**n:** número de impactos cada 5 cm de penetración.

A la cosecha del trigo se evaluó el rendimiento y componentes del rendimiento para ambas situaciones.

### Resultados y Discusión

#### A- Efectos sobre el suelo

La figura 1 representa los perfiles medidos en profundidad para la resistencia a la penetración.

La Tabla 2 muestra las medias de resistencia a la penetración medidas y el resultado del análisis estadístico dentro de cada tratamiento. En la última columna se expresa la diferencia porcentual para ambas situaciones y para una misma profundidad.

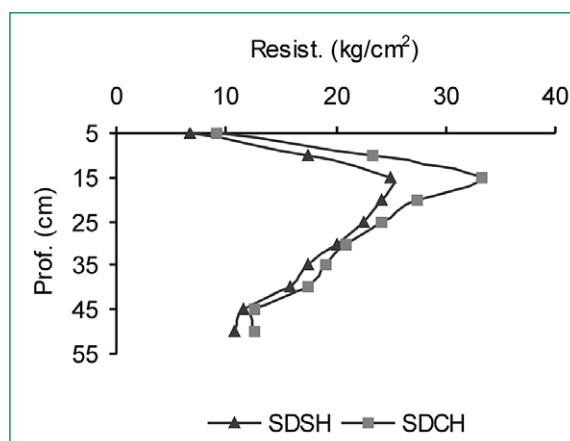


Figura 1. Resistencia a la penetración

Tabla 1. Análisis de fertilidad.

M.O (%)	pH	Nt (%)	P	S-SO <sub>4</sub>	K	Mg	Ca	N-NO <sub>3</sub> ppm	Zn	Mn	Cu	Fe	B
2,30	5,5	0,115	6,1	9,8	352	100	853	7,7	0,98	13,8	0,53	59,4	0,78

El mayor efecto de la compactación sobre el suelo se da en el estrato superficial. Si consideramos la diferencia de resistencia en porcentaje para cada situación y para cada profundidad, en superficie la misma alcanza el 37% y entre 5 y 15 cm un 33%.

Se observa que se superan los 20 kg/cm<sup>2</sup>, valor citado por la bibliografía para el inicio de dificultades para el correcto desarrollo del sistema radicular hasta una profundidad aproximada de 30 cm.

En la Tabla 3 se observa que la densidad aparente resulta estadísticamente diferente entre las dos situaciones a las dos profundidades, siendo mayor en la huella. El contenido de humedad gravimétrica presentó diferencias entre las dos situaciones. La misma se atribuye a la menor capacidad de infiltración y de almacenamiento de agua en el suelo compactado. No obstante, si transformamos este contenido de humedad en lámina de agua acumulada, las diferencias desaparecen para ambas situaciones y profundidades.

**B- Efectos sobre el cultivo**

Las Tablas 4 y 5 muestran para cada tratamiento los valores de biomasa producida, índice de cosecha (IC), rendimiento y sus componentes.

A partir de los datos presentados en las tablas 4 y 5 se observan los componentes de la formación del rendimiento del cultivo que fueron afectados por la compactación del suelo. El tratamiento SDCH tuvo un rendimiento menor en 21,9% en comparación a SDSH y deprimió su producción de biomasa en un 27,9%. El tratamiento SDSH alcanzó un mayor número de granos por metro cuadrado, principal determinante del rendimiento, a través del número de espigas por metro cuadrado, ya que el número de granos por espiga no arrojó diferencias. Una buena producción de biomasa tuvo oportunidad de trasladar a un alto número de destinos.

En la Figura 2 se representa la ecuación de regresión

Tabla 2. Valores de resistencia a la penetración.

Profundidad	SDCH (kg/cm <sup>2</sup> )	SDSH (kg/cm <sup>2</sup> )	Dif (%)
0-5	9,16 h	6,67 f	37,3
5-10	23,33 c d	17,50 c d	33,3
10-15	33,33 a	25,00 a	33,3
15-20	27,50 b	24,17 a	13,8
20-25	24,17 c	22,50 a b	7,4
25-30	20,83 d e	20 b c	4,2
30-35	19,17 e f	17,50 c d	9,5
35-40	17,50 f	15,83 d	10,5
40-45	12,50 g	11,67 e	7,1
45-50	12,33 g	10,83 e	13,9

p: 0,000 C.V: 8,76 % DMS: 3,00 kg/cm<sup>2</sup>

p: 0,000 C.V: 12,97 % DMS: 3,82 kg/cm<sup>2</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas.

Tabla 3. Densidad aparente y contenido de humedad gravimétrica a dos profundidades (0 -20 y 20-40 cm).

Tratamiento	Profundidad (cm)	Humedad (%)	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Lámina (mm)
SDSH	0-20	23.30 a b	1.12 b	52 a
SDSH	20-40	24.40 a	1.13 b	55 a
SDCH	0-20	20.67 c	1.31 a	54 a
SDCH	20-40	22.20 b c	1.29 a	57 a

p: 0,013

p: 0,021

p: 0,475

C.V: 4,13%

C.V: 5,44%

C.V: 6,25%

DMS: 1,868 %

DMS: 0,132 g/cm<sup>3</sup>

DMS: 6,823 mm

Tabla 4. Pesos de biomasa, índices de cosecha y rendimientos:

Tratamiento	Peso biomasa(kg/ha)	I.C (%)	Rendimiento(kg/ha)
SDSH	17.183 a	38,2 a	6.564 a
SDCH	13.269 b	38,6 a	5.124 b

p: 0.032

p: 0,414

p: 0,031

CV: 9,55%

CV: 2,75%

CV: 10,07%

DMS: 68,64

DMS: 2,339

DMS: 1308

entre rendimiento del cultivo y resistencia a la penetración del suelo para el sistema evaluado. La resistencia explica en un 48,22% la variación del rendimiento del cultivo, produciéndose por cada kg/cm<sup>2</sup> de aumento de la resistencia una disminución de 241 kg/ha en el rendimiento.

**Conclusiones:**

- La resistencia a la penetración fue mayor en el tratamiento con huella en los primeros centímetros de suelo.
- La densidad aparente fue mayor en la huella que en el testigo.
- No se encontró diferencia significativa en la lámina de agua acumulada hasta los 40 cm de profundidad entre los dos tratamientos.
- El rendimiento del cultivo de trigo fue mayor en 21,9 % en el tratamiento sin huella. Esta diferencia de rendimiento se basó en una mayor producción de biomasa y número de espigas por unidad de superficie logradas.
- Los resultados presentados corresponden al primer año de trabajo. En la temporada 2006-07 se instalará otro sitio en trigo y se continuará evaluando el sitio experimental en este ensayo, lote que se destinará al cultivo de maíz, para cuantificar el efecto de la compactación por rodado en el tiempo.

**Agradecimientos**

Los autores agradecen a las autoridades y personal de la Escuela MC. y ML. Inchausti su colaboración para la concreción del ensayo.

**Bibliografía consultada**

**Gil R.; M. Bragachini; R. Bongiovanni; L. Bonetto.** 1993. Capítulo de compactación del suelo de la obra “Sistemas de Traslado de Equipos de Cosecha para reducir la Compactación”. Proyecto PROPECO, p 9-39.

**Bacigaluppo S., G. Gerster.** 2003. Impacto de densificaciones por tránsito en planteos de siembra directa continua. Publicado en página web INTA Oliveros (www.inta.gov.ar)

**Gerster G.; S. Bacigaluppo.** 2003. Efecto del tránsito en húmedo sobre el suelo y los cultivos en sistemas de siembra directa. Publicado en página web INTA Oliveros (www.inta.gov.ar)

**Jorajuria D.; L. Draghi.** 2000. Sobrecompactación del suelo agrícola. Parte I: Influencia diferencial del peso y del número de pasadas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campinha Grande, Vol. 4 N° 3 pág: 445-452. ■

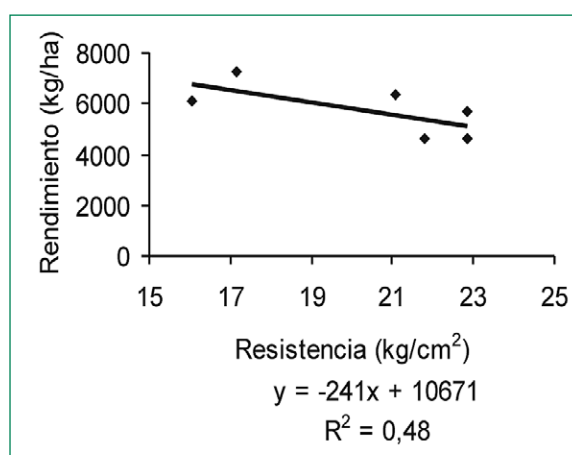


Figura 2. Relación rendimiento – resistencia a la penetración (0 – 35 cm).

Tabla 5. Componentes del rendimiento.

Tratamiento	Espigas/m <sup>2</sup>	Espiguillas/esp	Gr/espiguilla	Gr/espiga	Gr/m <sup>2</sup>	PI 000
SDSH	511a	18,45a	1,78 b	32,93 a	16827a	39,01a
SDCH	385 b	17,85 b	1,93 a	34,48 a	13275 b	38,6 a
	p:0,0100 CV: 6,81 DMS: 68,663	p: 0,0372 CV: 1,31 DMS: 0,5351	p: 0,0251 CV: 2,65 DMS: 0,1106	p: 0,3194 CV: 4,29 DMS: 5,0765	p: 0,0268 CV: 8,18 DMS: 2769,3	p: 0,5831 CV: 2,45 DMS: 2,1406

**Suscripción**

Si Ud. desea recibir Informaciones Agronómicas para el Cono Sur, por favor complete el cupón y envíelo por correo, fax o correo electrónico a:

INPOFOS Cono Sur, Av. Santa Fe 910, (B1641ABO) Acassuso, Argentina  
Tel./Fax: (54) 011-4798-9939 Correo Electrónico: [lpisauri@inpfos.org](mailto:lpisauri@inpfos.org)

Nombre y Apellido: .....

Institución o Empresa: .....

Principal Actividad: .....

Calle: ..... Nro.: ..... C.Postal: .....

Localidad: ..... Provincia: .....

E-mail: ..... Teléfono: .....

¡MUCHAS GRACIAS!