

Respuesta del cultivo de soja a la descompactación sub_superficial del suelo

Foto: Integrante grupo Cultivos

Pilar Etchegoimberry

Ing. Agr. Dpto. Producción Vegetal,
EEMAC – Fagro, Udelar.
pilaretda@gmail.com

Oswaldo Ernst

Ing. Agr. (Dr.) Profesor Titular Unidad Sistemas de Producción,
Dpto. Producción Vegetal, Facultad de Agronomía
EEMAC, Udelar.
oernst@fagro.edu.uy

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay, a inicios del 2000 comenzó a desarticularse progresivamente el sistema de rotación pasturas-cultivo, cuya duración media estaba entre 6 y 8 años, pasando a dominar sistemas de agricultura continua, con soja como cultivo principal. Luego de más de quince años, podría decirse que se perdió el efecto residual positivo de la última pastura sobre las propiedades del suelo, por lo que se manifiestan las propiedades emergentes del nuevo sistema de cultivo. Ernst *et al.* (2018) cuantificaron reducciones progresivas en el rendimiento de trigo en respuesta a los años de agricultura. A partir de los 5 años pos-pastura, las pérdidas de rendimiento responden al deterioro progresivo de la calidad de suelo y no puede ser compensado con el agregado de más nutrientes. Por lo tanto se asocian a pérdidas en la condición física del suelo.

Varios autores proponen a la compactación de suelo como una de las causas de las pérdidas de rendimiento de los cultivos en sistemas de agricultura continua aún bajo siembra directa (Passioura, 2002; Hamza y Anderson, 2005; Botta *et al.*, 2007). A nivel regional (Argentina), la generación del problema ha sido asociado principalmente al aumento de tráfico de maquinaria, y al uso de cultivos con baja capacidad de explorar horizontes compactados (Botta *et al.*, 2006). La compactación de suelo consiste en la disminución del espacio poroso, lo que provoca una menor infiltración del agua y aireación del suelo, restringiendo el crecimiento radicular (Langmaack *et al.*, 1999). Por tanto, las pérdidas de rendimiento responden tanto a su efecto sobre la captura de recursos como a una menor eficiencia de uso de los mismos (Sadras *et al.*, 2005).

El uso de herramientas de descompactación sub-superficial ha sido propuesto como una alternativa de mitigación del problema de compactación de suelo. Schneider *et al.* (2017) analizaron de forma conjunta 1478 experimentos de descompactación sub superficial. Si bien el rendimiento aumentó un 6%, el éxito de esta estrategia dependió fuertemente de las condiciones sitio específico, principalmente de la presencia de capas compactadas que restringen el crecimiento radicular.

En nuestro país, a partir del 2010, comenzó a sospecharse sobre la existencia de restricciones al rendimiento de cultivos provocadas por deterioro de propiedades físicas del suelo, lo que motivó un uso creciente de herramientas para mitigar el problema. Sin embargo, no existía suficiente información sobre el posible impacto generado por esta estrategia y la disponible había sido generada para otras condiciones, fundamentalmente como alternativa de manejo para la salida de la fase de pasturas. Martino (1997) cuantificó un incremento del 100% en el rendimiento de Maíz y Girasol en respuesta al uso de paraplow saliendo de pasturas, sin uso de glifosato. Esta respuesta estuvo explicada principalmente por mejora de la implantación y efectividad del control de malezas (*Cynodon*), con relación a los testigos sin descompactar. También en Argentina, Alvarez *et al.* (2009) cuantificaron una disminución de la resistencia a la penetración (RP) entre 37 y 24% por el pasaje de paraplow, lo que provocó un aumento significativo del rendimiento de Maíz. Sin embargo, los cambios en la RP no perduraron de un año a otro.

En este artículo, se resumen resultados de experimentos realizados entre el 2014 y 2017 cuyo objetivo fue generar información nacional sobre la presencia o no de problemas de compactación del suelo en sistemas de agricultura continua sin laboreo, y cuantificar la respuesta del cultivo de soja a la descompactación sub superficial.

(SD). Ambos tratamientos se implementaron en fajas apareadas de aproximadamente 400 m de largo por 30 m de ancho, con tres repeticiones. La descompactación fue realizada previa a la siembra de los cultivos de invierno. En tres años consecutivos se instaló el mismo experimento de forma contigua, manteniendo intercaladas las fajas SD. De esta forma se pretendió cuantificar el efecto residual del tratamiento tanto en las propiedades edáficas como en la respuesta vegetal.

En cada faja se establecieron entre 14 y 16 puntos de muestreo georeferenciados, donde se realizaron todas las determinaciones. En todos los sitios se cuantificó: resistencia mecánica a la penetración (seis meses después de aplicado el tratamiento), implantación, altura de planta y estado nutricional a inicio del estado reproductivo, y rendimiento en grano de soja. Este último, cuando disponible, se realizó utilizando cosechadoras equipadas con monitores de rendimiento y GPS. La resistencia a la penetración se midió luego de un periodo de recarga de agua, de manera de asegurar humedad del suelo entorno a capacidad de campo.

La única intervención realizada sobre el manejo del cultivo fue el tratamiento D, dejando constante el resto de las variables de manejo y sujetas a lo realizado en el área comercial.

Las condiciones climáticas durante el período de estudio fueron en general favorables para el cultivo de soja. Durante la estación de crecimiento 2014-2015 la oferta hídrica fue favorable durante el período vegetativo, desmejorando a partir del inicio de la fase reproductiva, pero sin alcanzar valores por debajo del 50 % de agua disponible (INIA GRASS). Las estaciones 2015-2016 y 2016-2017 presentaron menor oferta hídrica durante la fase vegetativa, pero las condiciones fueron muy favorables a partir del inicio del periodo crítico de determinación del número de granos.

2. ESTRATEGIA

Se seleccionaron seis chacras de productores agrícolas pertenecientes a la Asociación Uruguay pro Siembra Directa (AUSID), ubicadas en el departamento de Soriano, generando un gradiente de situaciones desde 15 años de agricultura continua a una situación de primer cultivo luego de una pastura.

En cada una de estas chacras (bajo sistema de siembra directa) se evaluó el uso de descompactación sub superficial con paraplow (D) contra el tratamiento testigo sin descompactar

3. RESULTADOS

3.1. Resistencia a la penetración

El pasaje de la herramienta redujo la resistencia a la penetración significativamente ($P \leq 0,05$) entre los 8 y 30 cm de profundidad, cuando esta se midió 6 meses luego de aplicado el tratamiento. En los primeros 8 cm y por debajo de 30 cm no hubo diferencias entre los tratamientos. En la Figura 1 se muestran dos respuestas típicas a la D, observada en los seis sitios analizados.

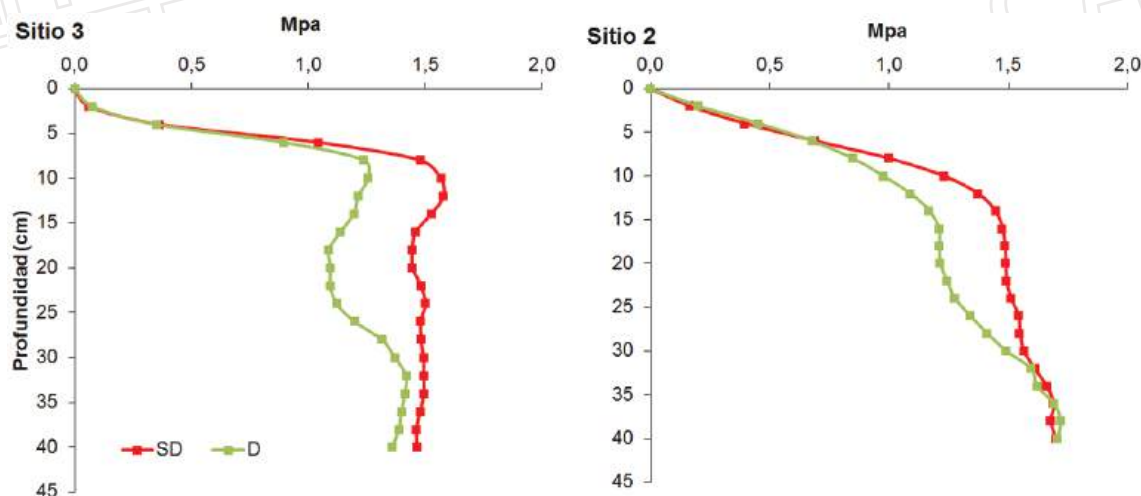
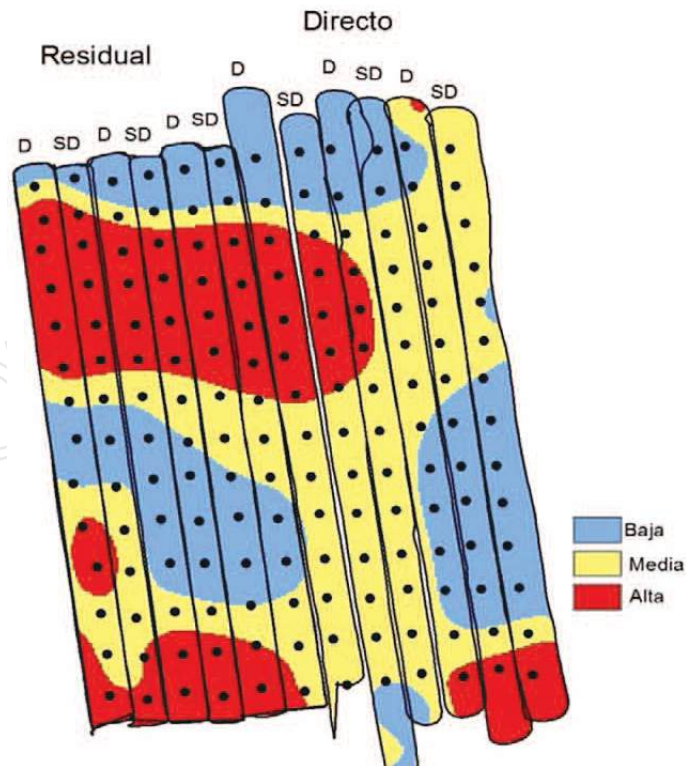


Figura 1. Perfil de resistencia mecánica a la penetración del suelo hasta 40 cm de profundidad para descompactado sub-superficialmente (D) y sin descompactar (SD) en dos sitios (2 y 3). Determinaciones realizadas 6 meses (primer cultivo) después de aplicado el tratamiento D. Fuente: Mozaquatro y Raffo, 2016; Ferreira y Rostan, 2017.

Independientemente de la historia de cultivos de cada sitio, en promedio la RP no superó los 2,5 MPa, valor de referencia para el crecimiento radicular (Boone *et al.*, 1986; Glinski y Lipiec, 1990). No obstante, se registraron valores en el rango entre 1,5 y 1,8 MPa, que se utiliza como referencia a partir del cual comienzan a manifestarse problemas para el crecimiento de raíces (Hamza y Anderson, 2005). Sin embargo, existieron sitios dentro de cada chacra en los que se registraron valores de RP mayores a 2,0 MPa. Por tanto se estudió su distribución espacial identificándose “zonas homogéneas” con niveles de RP diferencial (Figura 2).



Implantación de soja de segunda

Figura 2. Ubicación espacial de zonas con diferentes perfiles de resistencia mecánica a la penetración del suelo (RP), identificadas a partir de la resistencia a la penetración de los tratamientos SD (Sitio 2). Alta RP: > 1,4 MPa. Media RP: 1,2 – 1,4 MPa. Baja RP: < 1,2 MPa. Directo: respuesta cuantificada el mismo año en que se aplicó D, 6 meses después. Residual: respuesta cuantificada 18 meses después de aplicado D. Fuente: Ferreira y Rostan, 2017.

En aquellas zonas donde la RP fue alta (en promedio 1,9 MPa en el estrato de 8 a 20cm) la descompactación sub-superficial produjo una disminución significativa de la RP, mientras que en las zonas de baja RP no hubo efecto del tratamiento. La zona clasificada como de RP media, corresponde a valores de RP en torno a 1,7 MPa y mostró respuesta significativa al pasaje de la herramienta (Figura 3). En cuatro de los seis sitios estudiados fue posible identificar estas zonas, y en todos ellos se observó mayor respuesta en las zonas de alta RP.

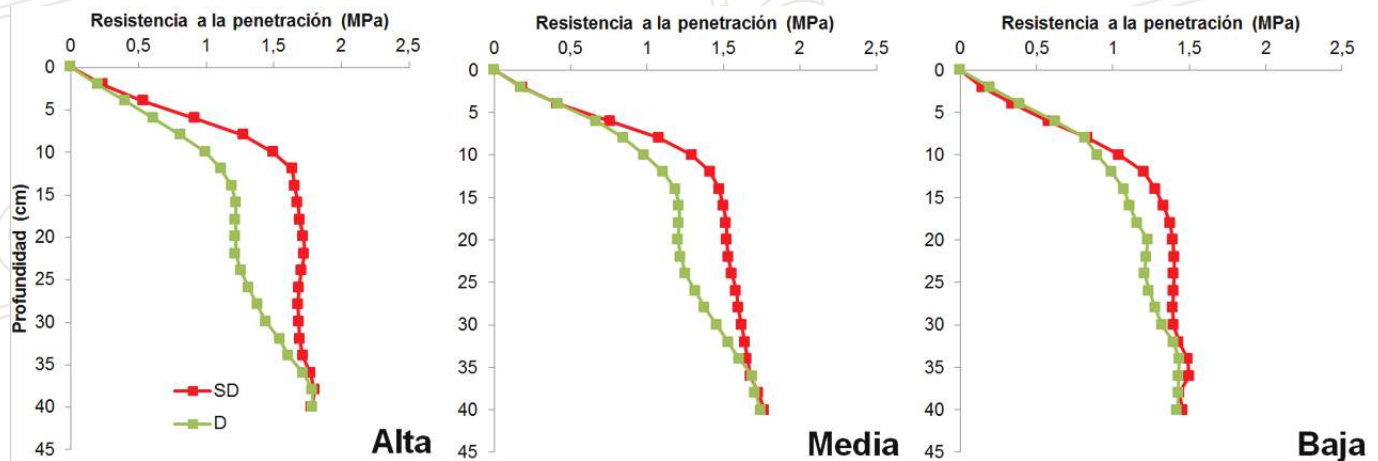


Figura 3. Perfil de resistencia mecánica a la penetración del suelo hasta 40 cm de profundidad para descompactado sub-superficialmente (D) y sin descompactar (SD) en zonas dentro de chacras con compactación inicial diferente (alta, media y baja), identificadas a partir de la resistencia a la penetración de los tratamientos SD. Fuente: Ferreira y Rostan, 2017.

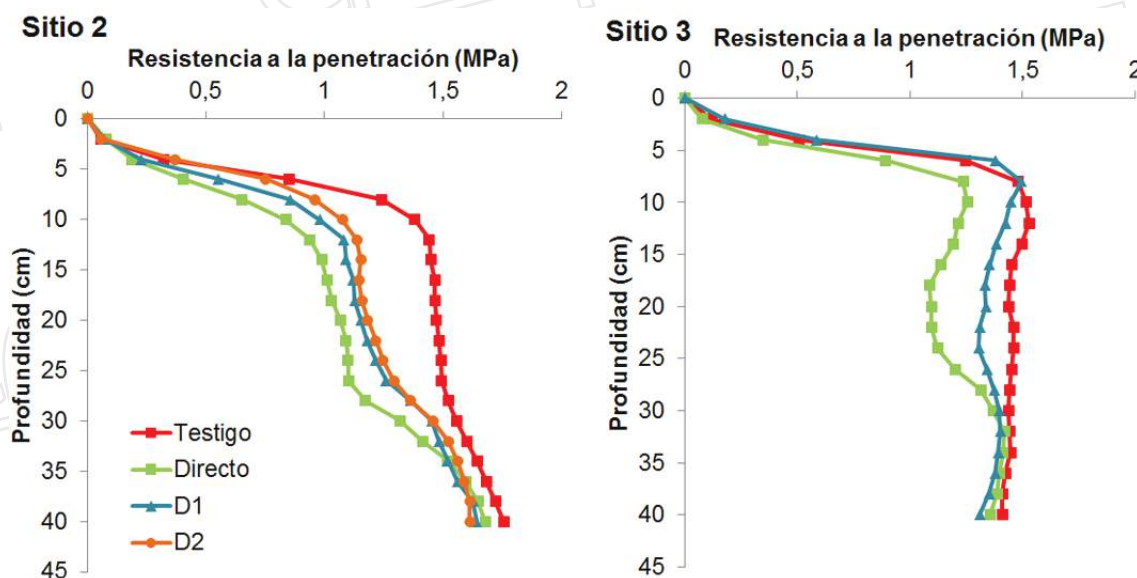


Figura 4. Perfil de resistencia mecánica a la penetración del suelo hasta 40 cm de profundidad para sin descompactar (SD) y descompactado sub-superficialmente (D2 = descompactado 30 meses antes; D1= descompactado 18 meses antes; Directo = descompactado 6 meses antes). A: sitio con efecto residual; B: sitio sin efecto residual.

La aplicación del tratamiento D de forma contigua tres años consecutivos permitió evaluar la residualidad de dicho tratamiento. En la figura 4 se presentan los resultados obtenidos en dos sitios en los que el comportamiento fue diferente. En el sitio 2 se observó respuesta a la descompactación tanto cuando se midió la RP el mismo año en que se aplicó el tratamiento (directo), como 18 y 30 meses después de descompactado el suelo (D1 y D2 respectivamente). En el sitio 3 solamente se cuantificó respuesta en RP cuando se midió el mismo año en que se realizó la labor (directo). El efecto en RP se perdió luego de un año (D1), presentando valores de RP similares al testigo SD.

De cinco sitios en los que se realizó el análisis de residualidad del tratamiento, tres de ellos se comportaron como el sitio 3 y dos de ellos como el sitio 2.

3.2. Crecimiento, fenología y nutrición

En todos los sitios se cuantificó respuesta significativa de los cultivos en altura de planta y estado nutricional del cultivo (Cuadro 1), sin cambios significativos en la población obtenida ni en el desarrollo fenológico.

3.3. Rendimiento

Para rendimiento de soja promedio, no hubo respuesta en rendimiento al tratamiento D en ninguno de los sitios, para los tres años en que se realizó este cultivo (Figura 5). En aquellos sitios donde se definieron zonas según RP no se encontró respuesta en rendimiento diferencial entre las zonas (Figura 6). Los resultados mostrados corresponden al primer cultivo de soja luego del pasaje de la herramienta. El mismo comportamiento se observó en los cultivos bajo efecto residual del tratamiento.

Cuadro 1. Concentración de potasio y fósforo en folíolos expandidos, y altura de planta a inicios de estadio reproductivo del cultivo de soja para los tratamientos descompactado (D) y siembra directa (SD). **= P≤0,05. Fuente: Mozaquatro y Rafo, 2016; Ferreira y Rostan, 2017; Ernst y Rivoir, 2016.

	SD	D	
% K			
Sitio 1	1,57	1,80	**
Sitio 2	1,13	1,22	**
Sitio 3	2,33	2,53	**
%P			
Sitio 1	0,43	0,49	**
Sitio 3	0,53	0,66	**
Altura de planta (cm)			
Sitio 2	52,7	59,9	**
Sitio 3	87,6	93,43	**

** : Diferencia significativa al 0.05

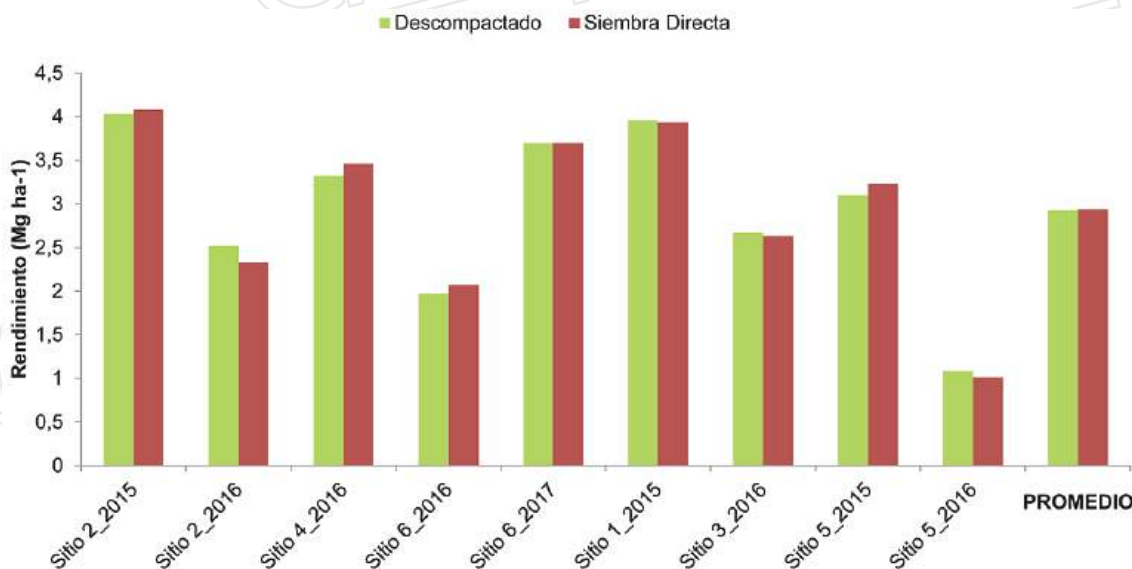


Figura 5. Respuesta promedio en rendimiento de grano de soja a la descompactación sub-superficial medido el mismo año en que se aplicó el tratamiento descompactado.

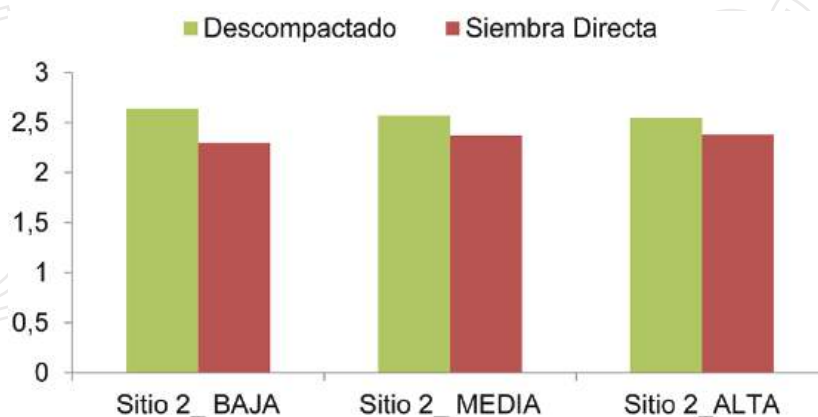


Figura 6. Respuesta en rendimiento de grano de soja a la descompactación sub-superficial según zonas de la chacra definida con la resistencia mecánica a la penetración del suelo diferencial antes de descompactar. Fuente: Ferreira y Rostan, 2017.

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran el claro efecto del uso de descompactación sub superficial sobre la RP del suelo hasta los 6 meses de aplicada la herramienta. Sin embargo, este efecto no fue reflejado en cambios en el rendimiento del cultivo de soja. Los valores promedio de RP del tratamiento SD sugieren que no existieron restricciones físicas extremas para el rendimiento de soja, por lo tanto, la reducción en la RP no tendría por qué reflejarse en respuesta de rendimiento del cultivo. En los perfiles de RP no pudo observarse la presencia clara de capas de compactación sub-superficial. Estos resultados coinciden con los encontrados por Schneider *et al.* (2017), que indican que de no existir una capa sub-superficial compactada no existe respuesta en el rendimiento al uso de herramientas que levanten esta restricción.

Aún en aquellas zonas identificadas como de mayor RP no se cuantificó un incremento claro en el rendimiento del cultivo debido a la descompactación sub-superficial. Este hecho marca la importancia del correcto diagnóstico del problema previo a la

decisión de utilizar herramientas de laboreo profundo. Podría esperarse que los resultados fueran distintos en situaciones donde la RP superara los valores críticos de referencia (2,5 MPa).


La residualidad del tratamiento fue variable dependiendo del sitio, no pudiendo ser relacionado el tiempo de duración de la respuesta con la historia agrícola de los sitios. El hecho de que en algunos sitios el cambio en la RP solo permanezca un año, es coincidente con resultados obtenidos en la región, que cuestionan esta medida de mitigación debido a su escasa perdurabilidad.

A diferencia de los estudios anteriores realizados en el país, no se encontraron diferencias en la poblaciones logradas, sin embargo, en todos los casos se cuantificó una mejor nutrición del cultivo medida como concentración de K y P en folíolos expandidos cuando el cultivo estaba en inicio de la fase reproductiva (R1-R2). Esta respuesta sugiere un aumento en la disponibilidad de estos nutrientes debido a la ruptura de la estructura del suelo, o a mayor exploración radicular por parte del cultivo. La mayor altura de plantas también podría indicar mayor crecimiento radicular ya que existen evidencias de que condiciones restrictivas para el desarrollo radicular se relacionan con menor tamaño de las plantas y menor

elongación de los entrenudos (Grzesiak, 2009). Tanto la mejor nutrición como el mayor crecimiento, permiten observar diferencias visuales a nivel de campo, como cultivos más vigorosos luego de utilizar descompactadores, pero que no garantiza mayores rendimientos.

Cabe destacar que los años en los que se realizaron los experimentos se caracterizaron por altas disponibilidades hídricas durante el período crítico del cultivo de soja, por lo tanto la posible diferencia en crecimiento radicular no habría generado diferencias en cuanto a la capacidad de absorción de agua.

AGRADECIMIENTOS

La investigación que da origen a los resultados presentados en el presente artículo fue financiada por el programa Fondos de Promoción de Tecnologías Agropecuarias (INIA-FPTA 337), el cual fue llevado a cabo por Fagro y AUSID. La autora recibió una Beca del Programa Posgrados Nacionales de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) bajo el código POS_NAC_2016_1_130394. Los autores agradecen a los estudiantes de Facultad de Agronomía Ramiro Izaguirre, Fernando Rostan, Rodrigo Ferreira, Federico Ernst, Pablo Rivoir, Miguel Angel Raffo y Ricardo Mozzaquatro por la colaboración en la recolección y análisis de datos. 

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, C., Torres, M., Chamorro, E., D'ambrosio, D., Taboada, M. (2009) Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. *Ciencia del Suelo*, vol (27), 159-169.

Boone, F.R., van der Werf, K.H., Kroesbergen, B., ten Hag B.A., Boers, A. (1986). *The effect of compaction of the arable layer in sandy soil on the growth of maize for silage. I. Mechanical impedance. Netherlands Journal of Agricultural Science*, vol (34), 155-171

Botta, G., Jorajuria, D., Balbuena, R., Ressia, M., Ferrero, C., Rossato, H. y Tourn, M. (2006). *Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (Helianthus annuus L.) yields. Soil and Tillage Research*, vol (91), 164-172.

Botta, G. F., Pozzolo, O., Bomben, M., Rosatto, H., Rivero, D., Ressia, M., Tourn, M., Soza, E., Vázquez, J. (2007). *Traffic alternatives for harvesting soybean (Glycine max L.): Effect on yields and soil under a direct sowing system. Soil and Tillage Research*, vol (96), 145-154.

Ernst, O. R., Dogliotti, S., Cadenazzi, M., Kemanian, A. R. (2018). *Shifting crop-pasture rotations to no-till annual cropping reduces soil quality and wheat yield. Field Crops Research*, vol (217), 180-187.

Ernst, F., Rivoir, P. (2016). Mapeando la respuesta de soja a la descompactación sub-superficial del suelo (Tesis de grado). Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.

Ferrerira, R., Rostan, F. (2017). Efecto directo y residual de la descompactación subsuperficial sobre el cultivo de soja (Tesis de grado). Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.

Glinski, J., Lipiec, J. (1990). *Soil Physical Conditions and Plant Roots*. CRC Press Inc, Boca Raton, Florida. 250 pp.

Grzesiak, M., T. (2009). *Impact of soil compaction on root architecture, leaf water status, gas exchange and growth of maize and triticale seedlings. Plant Root*, vol (3), 10-16.

Hamza, M. A., Anderson, W. K. (2005). *Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. Soil & Tillage Research*, vol (82), 121-145

Langmaack, M. (1999). *Earthworm communities in arable land influenced by tillage, compaction and soil. Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz*, vol (8), 11-21.

Martino, D. (1997) Siembra directa en los sistema agrícola ganaderos del Litoral. Serie Técnica 82. Convenio INIA-PRENADER, INIA La Estanzuela.

Mozaquatro, R., Raffo, M. A. (2016). Respuesta de soja a la descompactación sub-superficial del suelo (Tesis de grado). Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.

Passioura, J. B. (2002). *Environmental biology and crop improvement. Functional Plant Biology Journal*, vol (29), 537-546.

Sadras, V.A., Garry, J., O'Leary, G. J., Roget, D.K. (2005). *Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. Field Crops Research*, vol (91), 131-148.

Schneider, F., Axel, D., Hennings, I., Schmittmann, O., Seidel, S. J. (2017). *The effect of deep tillage on crop yield. What do we really know?. Soil and Tillage Research*, vol (174), 193-204.

