

Evaluación de la compactación de suelos en siembra directa en la Llanura Chacopameana de la provincia de Tucumán, R. Argentina

G. Agustín Sanzano*, Carlos Hernández*, Miguel Morandini*, Francisco Sosa*, Hugo Rojas Quinteros*, Carolina Sotomayor* y Juan Romero*

RESUMEN

La siembra directa puede ocasionar la compactación de la capa superficial del suelo por falta de remoción y por tránsito de maquinarias. El uso de equipos descompactadores puede disminuir este efecto. En cuatro localidades de la Llanura Chacopameana de la provincia de Tucumán (R. Argentina), se seleccionaron cinco manejos de suelo en siembra directa de granos, para evaluar el grado de compactación y otras propiedades físicas del suelo: suelos "nuevos", de menos de cinco años de agricultura en siembra directa (N); suelos de más de 10 años de siembra directa, con soja continua (SS); suelos de más de 10 años de siembra directa, con soja continua y rotación soja/maíz (SM); suelos de más de 10 años de siembra directa, con soja continua y laboreo vertical profundo previo a la siembra (SS+LVP) y suelos de más de 10 años de siembra directa, rotación soja/maíz y laboreo vertical profundo previo a la siembra (SM+LVP). Los parámetros evaluados fueron: densidad aparente (Dap), densidad aparente máxima (Dap_{max}) y densidad aparente relativa; resistencia a la penetración (RP); cobertura de rastrojos; tasa de infiltración (I) y materia orgánica (MO). En la capa superficial del suelo, la MO fue significativamente mayor en N que en SS y SS+LVP, mientras que SM y SM+LVP mostraron valores intermedios. Los manejos con LVP tuvieron una cobertura superficial significativamente menor que aquellos sin LVP. A su vez, SM siempre tuvo mayor cobertura que SS. Hasta los 20 cm de profundidad, la Dap superficial fue mayor en los manejos sin LVP, excepto en N. En la mayoría de los sitios y manejos, la Dap relativa no superó el 90%. En todos los sitios, RP fue menor en SS+LVP y SM+LVP que en SS y SM, respectivamente. Las tasas de infiltración (I) fueron mayores en los suelos con LVP, que en aquellos sin laboreo. Sin embargo, N tuvo la tasa de infiltración más alta, probablemente debido a la conservación del sistema poroso. Se deben evaluar estas variables para decidir el uso de descompactadores de suelo.

Palabras clave: compactación, siembra directa, rotación.

ABSTRACT

Evaluation of soil compaction under no tillage systems in the Chacopameana Plain in Tucumán, Argentina

No-tilled soils can cause topsoil compaction as a result of the lack of soil removal and of machinery traffic. Using subsoilers can reduce this effect. This study was carried out in grain fields located at four sites in the Chacopameana Plain, province of Tucumán, Argentina. Five no-tillage soil management situations were evaluated in terms of soil compaction degree and other related soil physical properties. These situations were: 'new soils', under no tillage management for less than five years (N); more than 10 years under no tillage management, continuously planted with soybean (SS); more than 10 years under no tillage management and soybean/corn rotation (SM); more than 10 years under no tillage management, with deep vertical tillage prior to sowing, and continuously planted with soybean (SS + LVP); and soils of more than 10 years under no tillage management, soybean/corn rotation, and deep vertical tillage before sowing (SM + LVP). Parameters evaluated before sowing were: bulk density (Dap), maximum bulk density (Dap_{max}), relative apparent density, penetration resistance (RP), crop residue, infiltration rate (I), and organic matter (OM). In topsoil, OM was significantly higher in N than in SS and SS + LVP, while SM and SM + LVP showed intermediate values. LVP showed significantly lower crop residues than those without LVP. In turn, SM had higher crop residues than SS. Upper 20 cm Dap was higher in all situations without LVP, except in N. In most situations, relative apparent density did not exceed 90%, considered critical for normal soybean root growth. RP was significantly lower in SS + LVP and SM + LVP than in SS and SM, respectively. Infiltration rates (I) were significantly higher in LVP than in those situations without tillage. However, N had the highest I, probably due to soil porous system conservation. It is advisable to quantify all these parameters before deciding to use deep tillage equipments.

Key words: compaction, no-tillage, crop rotation.

*Sección Suelos y Nutrición Vegetal, EEAOC. asanzano@eeaoc.org.ar.

INTRODUCCIÓN

El área productora de granos de la provincia de Tucumán está compuesta por aproximadamente 280.000 ha sembradas con soja (*Glycine max L.*) y 35.000 ha sembradas con maíz (*Zea mays L.*). La ampliación de la frontera agropecuaria en la región ha incorporado al cultivo áreas secas subhúmedas y semiáridas, con suelos pobres en materia orgánica (MO) y poco estables estructuralmente, lo que incrementa el riesgo que se degraden físicamente (Sanzano *et al.*, 2005). En la región, especialmente en las áreas con precipitaciones inferiores a 700 mm anuales, se pone de manifiesto que existen dos elementos naturales que le confieren un alto grado de fragilidad al sistema: el clima y el suelo.

Los suelos zonales de la Llanura Chacopampeana están desarrollados sobre materiales de origen eólico y se clasifican como Haplustoles típicos y énticos (Zuccardi y Fadda, 1972). Su comportamiento mecánico está determinado por la presencia dominante de la fracción limo fino (de 2 a 20 micrones) en su composición granulométrica. Esto confiere a los suelos una baja estabilidad estructural y una fuerte tendencia a formar costras superficiales (Figueroa y García, 1982).

Las labranzas modifican las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, reportándose para la región fuertes disminuciones de los contenidos MO con los años de agricultura (Sánchez *et al.*, 1998). Los productores de la región, buscando atenuar la disminución de los rendimientos resultante de la menor productividad de los suelos, cambiaron gradualmente los sistemas de labranza, generalizándose primero el laboreo mínimo y luego la siembra directa. La siembra directa se realiza en más del 90% de la superficie cultivada con granos en la provincia de Tucumán. Actualmente, se considera que los sistemas conservacionistas son aquellos que dejan una cobertura de residuos de por lo menos el 60% (Marelli, 1998).

Aunque está probada la superioridad de los sistemas conservacionistas sobre los convencionales en la mejora de la mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, la velocidad de los cambios no es la misma, según varían las condiciones climáticas y de suelo entre zonas húmedas y secas de la pampa argentina (Buschiazzo *et al.*, 1998).

Por otra parte, una característica regional de manejo es la falta de rotación de cultivos en la mayor parte de la superficie sembrada, repitiéndose el monocultivo de soja o la secuencia soja-trigo. Es conocido el efecto positivo de la incorporación de maíz al esquema productivo sobre la mejora en los contenidos de MO del suelo (Studdert and Echeverría, 2000), así como también del aumento de la estabilidad estructural, la porosidad y el movimiento de agua (Sanzano *et al.*, 2005).

La tasa de descomposición del rastrojo de soja en Tucumán puede ser lo suficientemente elevada como para dejar el suelo con poca cobertura al momento de la siembra de la campaña siguiente (Corbella *et al.*, 2000). Por lo tanto, el monocultivo de soja que deja una baja cobertura de rastrojos favorece la pérdida de suelo y nutrientes por erosión hídrica, respecto de aquellos sistemas que incluyen la rotación de cultivos con maíz (Sanzano, 2001). La conservación del recurso depende significativamente del grado de cobertura superficial ya que, en la región, las lluvias de alta intensidad concentradas en el período estival generan pérdidas de suelo por erosión hídrica un 44% mayores cuando la protección de cobertura de rastrojos se reduce un 50% (Sanzano y Fadda, 2006).

En la provincia de Tucumán, muchos productores sostienen que los suelos están compactados como consecuencia de la falta de laboreo y están utilizando implementos para labranza vertical profunda (LVP). En la mayoría de los casos, esta práctica se realiza sin una valoración cuantitativa de los parámetros indicadores de compactación, tales como densidad aparente (Dap), porosidad y resistencia a la penetración (RP). Además, la labor de subsolado demanda un enorme costo, tanto energético como económico. En la región pampeana, existen trabajos que reportan el efecto de la descompactación sobre distintas propiedades de los suelos (Álvarez *et al.*, 2006; Vilche y Alzugaray, 2008). En nuestra región, no se ha evaluado el impacto del uso de implementos de LVP. Es necesario entonces recurrir a técnicas que permitan diagnosticar la situación general, a través del análisis de situaciones específicas que incluyan un amplio espectro de manejos.

El objetivo del trabajo fue evaluar el grado de compactación y otras propiedades físicas de suelos bajo siembra directa con distintas prácticas de manejo, en el área de producción de granos de la provincia de Tucumán. Un propósito secundario es proveer de herramientas para la toma de decisión en cuanto a la necesidad o no del uso de descompactadores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el monitoreo de las propiedades físicas de los suelos, se estudiaron cinco situaciones de manejo en cuatro localidades seleccionadas de la región de la Llanura Chacopampeana de Tucumán (Figura 1). Las localidades fueron: Benjamín Aráoz, departamento Burruyacú (Argiostol típico); Las Cejas, departamento Cruz Alta (Haplustol éntico); La Virginia, departamento Burruyacú y Cañete, departamento Cruz Alta (ambos Haplustoles típicos). Estas cuatro localidades son representativas de la región este y noreste del área productora de granos de la provincia (Figura 1).

En cada localidad, se seleccionaron tres campos que tuvieran los siguientes cinco tratamientos de manejo:

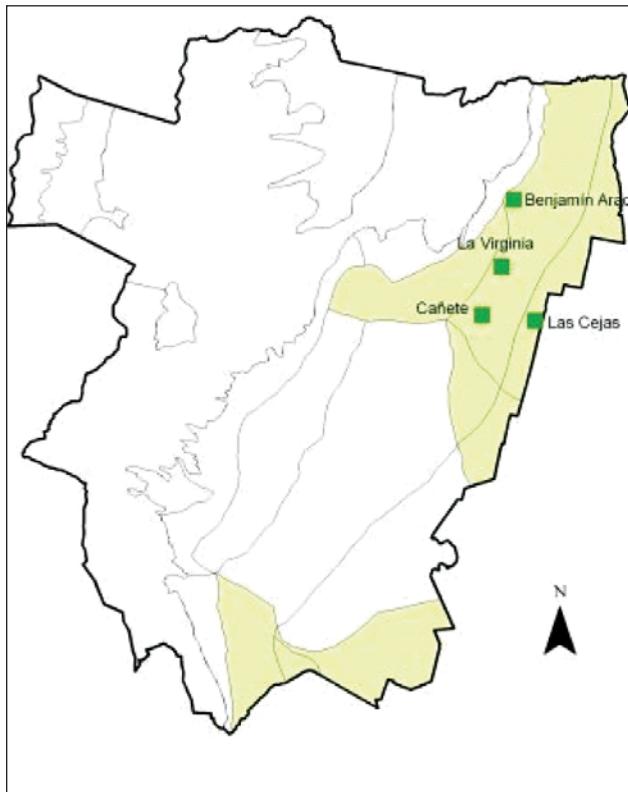


Figura 1. Ubicación de las cuatro localidades estudiadas de la región de la Llanura Chacopampeana de la provincia de Tucumán (área sombreada del mapa).

1.(N): suelos “nuevos”, de menos de cinco años de agricultura en siembra directa, que provienen del desmonte.

2.(SS): suelos de más de 10 años de siembra directa con soja continua.

3.(SS + LVP): suelos de más de 10 años de siembra directa, con soja continua y laboreo vertical profundo en primavera.

4.(SM): suelos de más de 10 años de siembra directa y rotación soja/maíz.

5.(SM + LVP): suelos de más de 10 años de siembra directa, rotación soja/maíz y laboreo vertical profundo en primavera.

En todos los casos, los suelos con más de 10 años de siembra directa tuvieron, como antecedente, el laboreo convencional con arado y rastras de discos durante un número variable de años hasta la incorporación del sistema de no laboreo del suelo, que se usa actualmente en toda la región.

La elección de estas situaciones de manejo tuvo por objetivo discriminar la influencia de los años de siembra directa, de la rotación de cultivos y del LVP sobre los parámetros edáficos. Las determinaciones que se hicieron antes de la siembra de los cultivos (diciembre de 2010) fueron las siguientes:

- Materia orgánica (MO) del suelo por combustión húmeda, a 2,5 cm, 7,5 cm, 15 cm y 25 cm de profundidad.

- Densidad aparente (Dap), con el método del cilindro, hasta 30 cm en rangos de profundidad de 0 cm a 3 cm, 3 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm y 20 cm a 30 cm.

- Densidad aparente máxima ($Dap_{máx}$) para distintos contenidos de humedad (test Proctor).

- Contenido hídrico (CH) del suelo hasta 120 cm, con el método gravimétrico por secado en estufa hasta 105°C.

- Resistencia a la penetración (RP), hasta 40 cm de profundidad, con penetrómetro digital de cono.

- Cobertura superficial de rastrojos, por el método de la transecta lineal.

- Tasa de infiltración (I), con infiltrómetro de tensión a succión 0.

El efecto de los distintos manejos sobre las propiedades edáficas se evaluó a través de un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones (establecimientos agrícolas) en cada localidad, con un número variable de subréplicas dentro de cada tratamiento, según la propiedad a evaluar: MO (15 submuestras por cada profundidad); cobertura de rastrojos (cinco mediciones); Dap (cinco muestras por profundidad); CH (cinco muestras); RP (18 mediciones) e infiltración (cinco mediciones). Cada establecimiento en cada localidad fue considerado un bloque, mientras que las diferencias entre medias se analizaron con el test de Tukey con una probabilidad del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia orgánica

En la capa superficial, hasta 2,5 cm de profundidad, hubo diferencias significativas en las cuatro localidades entre N y los tratamientos con soja continua por más de 10 años (SS y SS + LVP), mientras que los que incluyeron rotación con maíz (SM y SM + LVP) mostraron valores intermedios (Tabla 1). Resultados similares, que muestran disminución de los tenores de MO con los años de uso agrícola, fueron reportados por Sánchez *et al.* (1998) para suelos de la región. En este estudio se observó, en las cuatro localidades, una leve tendencia al incremento de los valores de MO superficial en los tratamientos SM respecto de SS, aunque sin significancia estadística. En cambio, Studdert and Echeverría (2000) encontraron que la inclusión de maíz en la rotación agrícola generó aumentos en los valores de MO de los suelos en comparación con el monocultivo de soja.

A 7,5 cm de profundidad, solo en la localidad de La Virginia se determinaron resultados similares a los obtenidos en superficie. Esto probablemente se explica por su historia agrícola más antigua, en la que las prácticas de preparación de suelos con arados y rastras de discos disminuyeron los valores de MO del suelo, incluso en capas subsuperficiales.

El índice de estratificación (relación entre los contenidos de MO a 2,5 cm de profundidad, con respecto al con-

Tabla 1. Efecto de distintos sistemas de producción sobre la materia orgánica (MO, %) del suelo, a cuatro profundidades y en cuatro localidades de la región de la Llanura Chacopampeana de Tucumán. Año 2009.

Benjamín Aráoz						Cañete				
Prof. (cm)	N	SS	SS + LVP	SM	SM + LVP	N	SS	SS + LVP	SM	SM + LVP
2,5	2,74 ^a	1,81 ^b	1,62 ^b	2,03 ^{ab}	1,89 ^{ab}	2,16 ^a	1,55 ^b	1,43 ^b	1,70 ^{ab}	1,74 ^{ab}
7,5	2,12 ^a	1,73 ^a	2,04 ^a	1,6 ^a	1,71 ^a	1,61 ^a	1,27 ^a	1,47 ^a	1,35 ^a	1,75 ^a
15	1,94 ^a	1,56 ^{ab}	1,72 ^{ab}	0,82 ^b	1,91 ^a	1,30 ^a	1,15 ^a	1,12 ^a	1,32 ^a	1,35 ^a
25	1,50 ^a	1,14 ^{ab}	1,37 ^a	0,74 ^b	1,52 ^a	1,28 ^a	0,94 ^a	1,04 ^a	1,20 ^a	1,13 ^a
La Virginia						Las Cejas				
2,5	2,06 ^a	1,44 ^b	1,16 ^b	1,68 ^{ab}	1,74 ^{ab}	1,86 ^a	1,31 ^b	1,22 ^b	1,45 ^{ab}	1,39 ^{ab}
7,5	1,76 ^a	1,21 ^b	1,24 ^b	1,43 ^{ab}	1,82 ^a	1,53 ^a	1,24 ^a	1,27 ^a	1,36 ^a	1,32 ^a
15	1,45 ^a	1,28 ^a	1,18 ^a	1,36 ^a	1,50 ^a	1,24 ^a	0,95 ^a	1,09 ^a	1,17 ^a	1,15 ^a
25	1,14 ^{ab}	0,98 ^b	0,96 ^b	1,13 ^{ab}	1,42 ^a	1,11 ^a	0,83 ^a	0,91 ^a	1,03 ^a	1,12 ^a

Letras distintas entre tratamientos en cada localidad indican diferencias significativas ($P<0,05$).

tenido a 25 cm de profundidad) fue significativamente menor en los tratamientos con LVP (<1,3) que en los que no se realizó ningún laboreo vertical (>1,57). Es evidente que los suelos con laboreo de descompactación se alejan más del valor de 2 fijado por Franzluebbers (2003), por encima del cual los ambientes podrían considerarse estabilizados bajo condiciones de manejo conservacionista de los suelos.

Cobertura de rastrojos

La disminución de la cobertura superficial fue significativa en los manejos que utilizaron laboreo vertical profundo, tanto en la rotación con maíz como en el monocultivo de soja. En las cuatro localidades estudiadas, los valores más bajos de cobertura se detectaron en SS+LVP, mientras que los más altos se observaron en SM (Figura 2). Algunos resultados reportados por otros autores (Vilche y Alzugaray, 2008) son coincidentes con los obtenidos en este trabajo, mientras otros (Mallet and Lang, 1987) seña-

laron que no hubo pérdidas de cobertura después del uso del descompactador.

Densidad aparente

En las cuatro localidades, la Dap fue significativamente mayor en SS y SM que en SS+LVP y SM+LVP, respectivamente, en todas las profundidades analizadas. Los suelos sin laboreo vertical y con pocos años de uso agrícola (N) no presentaron valores significativamente diferentes a los de tratamientos con descompactador en Benjamín Aráoz y Las Cejas, mientras que en La Virginia, la densidad aparente tuvo un valor intermedio entre aquellos de tratamientos con descompactador y los de tratamientos sin el uso de esta maquinaria. En cambio, en la localidad de Cañete, N tuvo un comportamiento errático (Figura 3). A su vez, en las cinco alternativas de producción, el valor de la Dap subsuperficial fue mayor respecto al que presentaba la capa superficial del suelo. Otros autores no detectaron cambios significativos en la Dap del suelo después del uso

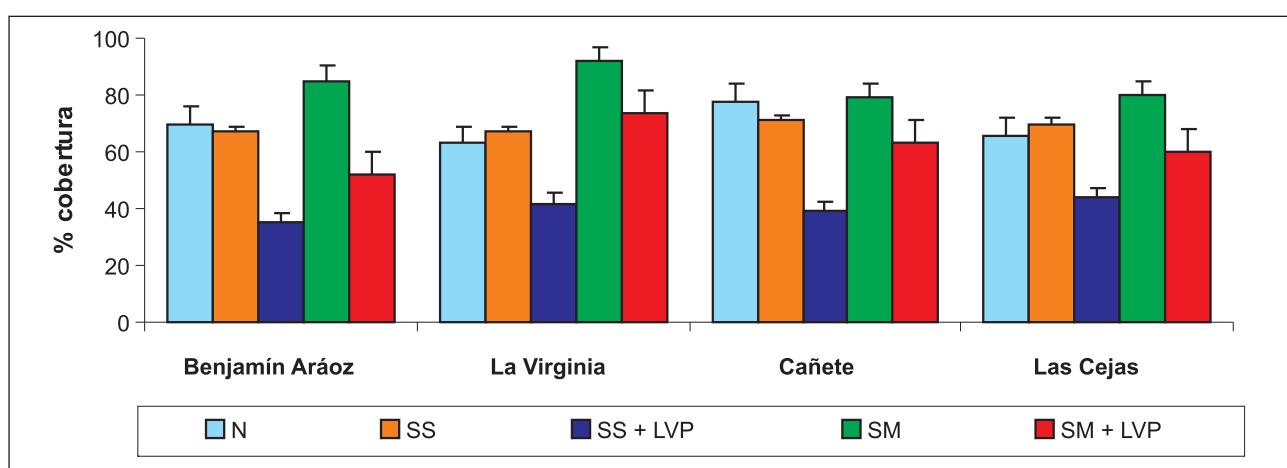


Figura 2. Efecto de distintos sistemas de producción sobre la cobertura superficial del suelo, en cuatro localidades de la región de la Llanura Chacopampeana de Tucumán. Año 2009.

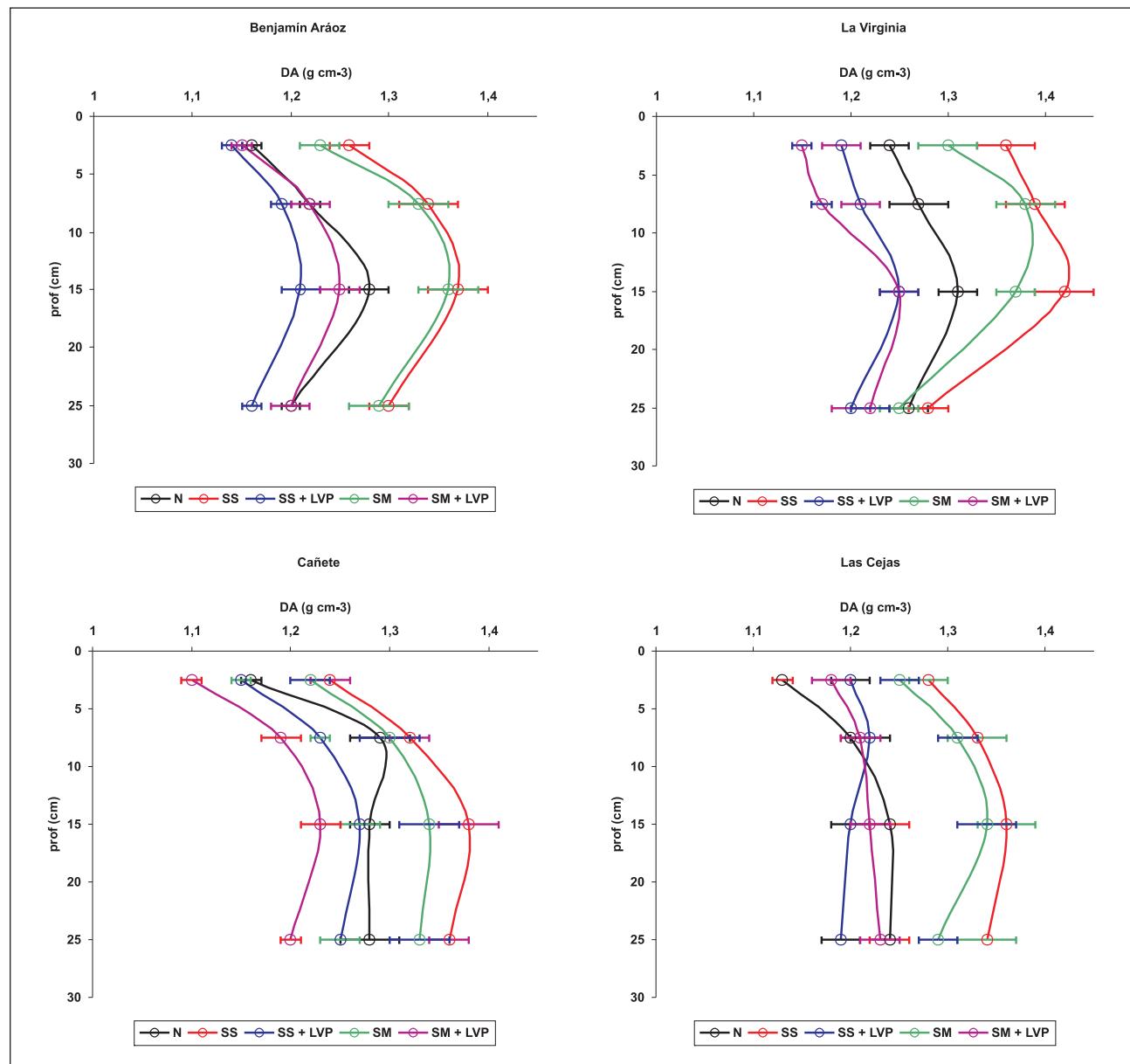


Figura 3. Efecto de distintos sistemas de producción sobre la densidad aparente (Dap), a cuatro profundidades, en cuatro localidades de la región de la Llanura Chacopampeana de Tucumán. Año 2009.
Las barras horizontales indican los desvíos estándar.

de implementos descompactadores y señalaron que esta propiedad no se mostró como de respuesta sensible, como sí lo hizo la RP (Álvarez *et al.*, 2006; Hamilton-Manns *et al.*, 2002).

La Dap es función de varios factores, tales como el contenido de MO, la textura, y el laboreo. Para que la comparación entre suelos de distinto grado de compactación sea más precisa, conviene relativizar los valores de Dap respecto de la Dap_{max} del suelo, que se determina a través del test Proctor de compactabilidad. La Tabla 2 muestra los valores de Dap_{max} y Dap relativa para los tratamientos de más alta Dap (SS y SM) a las profundidades de 7,5 cm y 15 cm. En La Virginia, se observaron valores

superiores al 90%, valor que se considera crítico para el desarrollo radicular de los cultivos (Carter, 1990), por lo cual el uso del equipo descompactador se recomendaría sólo para los lotes ubicados en esta localidad.

Aunque el laboreo vertical profundo fue efectivo para disminuir la densificación del suelo, los valores de Dap relativa no llegaron a superar los críticos para el desarrollo radicular de la soja, excepto en La Virginia (Carter, 1990). Investigaciones en suelos bajo siembra directa, realizados en la región pampeana, muestran que la disminución de la macroporosidad no afectó el crecimiento de las raíces del cultivo de soja (Micucci and Taboada, 2006).

Tabla 2. Densidad aparente máxima (Dap_{máx}) y densidad aparente relativa (Dap_{rel}) para los tratamientos SS y SM a dos profundidades, en cuatro localidades de la Llanura Chacopampeana de Tucumán. Año 2009.

DA máx.	Benjamín Araoz		La Virginia		Cañete		Las Cejas	
	1,53 gr cm ⁻³	1,51 gr cm ⁻³	1,51 gr cm ⁻³	1,52 gr cm ⁻³	1,52 gr cm ⁻³	1,50 gr cm ⁻³	1,50 gr cm ⁻³	
manejo	SS	SM	SS	SM	SS	SM	SS	SM
DA rel. 7,5 cm	87%	87%	92%	91%	86%	85%	90%	87%
DA rel. 15 cm	89%	89%	94%	90%	90%	88%	89%	89%

Resistencia a la penetración

Esta variable expresó con claridad el efecto del laboreo vertical profundo (Figura 4). Los valores de RP fueron significativamente menores cuando se utilizó el subsoilador (SS + LVP y SM + LVP), mientras que fueron intermedios en el suelo de menos años de uso agrícola (N) y mayores en los restantes (SS y SM), en las cuatro localidades estudiadas. Sin embargo, la profundidad efectiva de la labor fue distinta entre localidades: en La Virginia, Cañete y Las Cejas, SS + LVP disminuyó significativamente la resistencia a la penetración, en comparación con SS, hasta los 35 cm de profundidad, mientras que en Benjamín Aráoz, el efecto se observó solo hasta los 15 cm. A su vez, SM + LVP fue efectivo, comparado con SM, hasta los 35 cm en Benjamín Aráoz y La Virginia, mientras que en Cañete y Las Cejas, el efecto se observó hasta los 25 cm de profundidad. En todas las localidades, la mayor RP fue la de los manejos sin uso de descompactador y con muchos años de uso agrícola (SS y SM). Los máximos valores de resistencia se encontraron a profundidades entre 7 cm y 25 cm, coincidiendo con el pie de rastra existente cuando los suelos entraron al sistema de siembra directa. Álvarez *et al.* (2006) encontraron diferencias significativas en la RP entre suelos descompactados y suelos sin descompactar, en mediciones realizadas en las épocas de siembra y cosecha de maíz. Esta propiedad también fue detectada como de respuesta sensible al laboreo profundo por Botta *et al.* (2006).

Debe tenerse en cuenta que en la mayoría de los sitios estudiados, los manejos sin LVP mostraron valores de RP que estuvieron por debajo de los considerados críticos para el desarrollo radicular de la soja (2 Mpa), por lo cual no se justificó el uso del implemento en situaciones como las estudiadas. La excepción fue la localidad de La Virginia, zona de introducción del cultivo de la soja en la década del 70, con muchos años de uso de arado y rastra de discos, que generaron una capa compactada con valores de resistencia al penetrómetro ligeramente superiores a los 2 MPa. Esto sugiere la necesidad de evaluaciones cuantitativas previas a la toma de decisión respecto del uso del descompactador.

Infiltración

Las tasas de infiltración fueron significativamente mayores en los suelos con LVP, comparados con aquellos sin laboreo. Sin embargo, en N se determinó el mayor valor de infiltración, probablemente debido a la conservación del sistema poroso del suelo con menos años de uso agrícola (Tabla 3). Soracco *et al.* (2009) encontraron diferencias significativas entre suelos compactados y descompactados. En nuestra experiencia, los valores de infiltración medidos después de la cosecha fueron significativamente superiores a los evaluados antes de esta. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en la cantidad de agua almacenada en el metro superior del perfil de suelo durante y al final del ciclo del cultivo, como consecuencia de que no hubo limitantes hídricos durante el período estival. Tampoco se observaron diferencias en los rendimientos del cultivo (datos no mostrados en este trabajo), probablemente por esta misma razón.

CONCLUSIONES

Hubo un marcado efecto de los años de agricultura sobre las propiedades físicas de los suelos. Los suelos con pocos años de uso agrícola mostraron los valores más altos de MO e infiltración y los menores de Dap y RP, en comparación con los suelos de más años de uso de la tierra.

En suelos con mayor uso agrícola, LVP logró disminuir significativamente la Dap y la RP. Sin embargo, los valores de ambos parámetros estuvieron por debajo de los valores considerados críticos para el buen desarrollo radicular de la soja, en tres de las cuatro localidades estudiadas.

El LVP aumentó la tasa de infiltración, pero no se observaron diferencias significativas en la cantidad de agua almacenada en el suelo, probablemente debido a las condiciones hídricas no limitantes.

Como consecuencia del laboreo, se detectó una disminución del contenido de MO en la capa superficial del

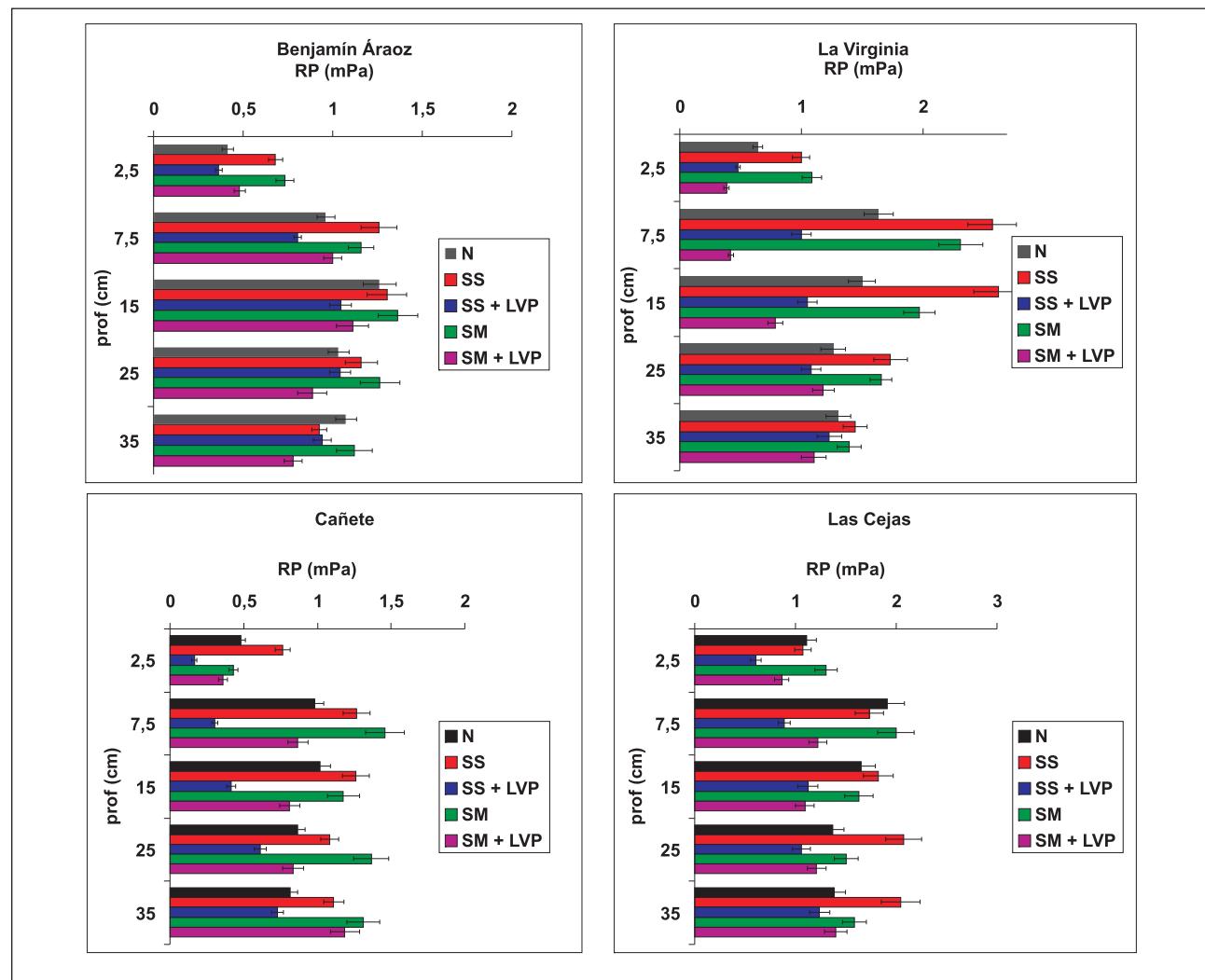


Figura 4. Efecto de diferentes sistemas de producción sobre la resistencia a la penetración (RP), a distintas profundidades, en cuatro localidades de la región de la Llanura Chacopampeana de Tucumán. Año 2009.

Las barras horizontales indican los desvíos estándar.

Tabla 3. Efecto de diferentes sistemas de producción sobre la tasa de infiltración (I) ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$) en cuatro localidades de la región de la Llanura Chacopampeana de Tucumán. Año 2009.

Tratamientos	Benjamín Aráoz	La Virginia	Cañete	Las Cejas
N	5,3 ^a	3,2 ^a	3,5 ^a	4,2 ^a
SS	1,7 ^c	0,9 ^c	1,7 ^b	2,4 ^b
SS + LVP	2,9 ^b	3,4 ^a	3,1 ^a	3,5 ^a
SM	1,9 ^c	1,6 ^b	1,6 ^b	2,2 ^b
SM + LVP	3,1 ^b	3,6 ^a	3,3 ^a	3,9 ^a

Letras distintas entre tratamientos en cada localidad indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

suelo y la cobertura de rastrojos se redujo en forma significativa.

Por las características climáticas y edáficas de la región, la medición cuantitativa de variables como las analizadas en este trabajo es imprescindible, antes de tomar la decisión de utilizar equipos descompactadores de suelo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Álvarez, C. R.; M. A. Taboada; C. Bustingorri y F. H. Gutiérrez Boem. 2006.** Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. Cienc. Suelo 24 (1): 1-10.
- Botta, G. F.; D. Jorajuria; H. Rosatto and C. Ferrero. 2006.** Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. Soil Tillage Res. 86 (1): 9-14.
- Buschiazza, D. E.; J. L. Panigatti and P. W. Unger. 1998.** Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. Soil Tillage Res. 49 (1-2): 105-116.
- Carter, M. R. 1990.** Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. Can. J. Soil Sci. 76 (3): 425-433.
- Corbella, R. D.; G. S. Fadda y J. R. García. 2000.** Pérdidas de residuos de soja y maíz en distintos sistemas de manejo en suelos de la provincia de Tucumán. En: International Soil Conference Organization (ISCO 2: 121), 11, Buenos Aires, R. Argentina, 2000, pp. 121.
- Figueroa, L. R. y J. R. García. 1982.** El encostramiento superficial de los suelos. Pub. Espec. FAZ - UNT (21).
- Franzluebers A. J. 2003.** Conservation tillage and stratification on soil properties: a summary of the special issue in Soil and Tillage Research (2002). En: ISTRO Conference, 16, Brisbane, Australia. [CD-ROM].
- Hamilton-Manns, M.; C. W. Ross; D. J. Horne and C. J. Baker. 2002.** Subsoil loosening does little to enhance the transition to no-tillage on a structurally degraded soil. Soil Tillage Res. 68 (2): 109-119.
- Mallet, J. B and P. M. Lang. 1987.** The use of a slant leg plough to relieve compaction in directly drilled maize. Applied Plant Sci. 1 (1): 49-51.
- Marelli, H. 1998.** La siembra directa como práctica conservacionista. En: Panigatti, J. L.; H. Marelli; D. Buzchiazza y R. Gil. (eds.), Siembra Directa. INTA. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires, R. Argentina, pp. 127-139.
- Micucci, F. G. and M. A. Taboada. 2006.** Soil physical properties and soybean (*Glycine max* Merril) root abundance in conventionally and zero-tilled soil in the humid Pampas of Argentina. Soil Tillage Res. 86 (2): 152-162.
- Sánchez, H. A.; J. R. García; M. R. Cáceres y R. D. Corbella. 1998.** Labranzas en la Región Chacopampena subhúmeda de Tucumán. En: Panigatti, J. L.; H. Marelli, D. Buzchiazza y R. Gil (eds.), Siembra Directa. INTA. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires, R. Argentina, pp. 245-256.
- Sanzano, G. A. 2001.** Los procesos de erosión entre surcos y la selectividad en el tamaño de partículas de un Haplustol típico bajo distintas situaciones de manejo de suelo. Tesis de Magíster. Biblioteca Facultad de Agronomía, UBA, Buenos Aires, R. Argentina.
- Sanzano, G. A.; R. D. Corbella; J. R. García y G. S. Fadda. 2005.** Degradación física y química de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. Cienc. Suelo 23 (1): 93-100.
- Sanzano, G. A. y Fadda G. S. 2006.** Escurrimiento, pérdidas de suelo y nutrientes por erosión hídrica con la introducción de la rotación soja-maíz. En: Actas Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 20, Salta, R. Argentina, pp. 412.
- Soracco, C. G.; R. Filgueira; G. O. Sarli; L. Fournier; P. R. Gelati y J. Hilbert. 2009.** Persistencia del efecto del subsolado sobre el movimiento del agua en el suelo en siembra directa. Uso de dos modelos teóricos. Cienc. Suelo 27 (1): 77-87.
- Studdert G. A. and Echeverría H. E. 2000.** Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 1496-1503.
- Vilche, M. S. y C. Alzugaray. 2008.** Efecto de la labranza profunda sobre el rendimiento y uso del agua del cultivo de maíz. Rev. Investig. Fac. Cienc. Agrar. Univ. Nac. Rosario. [En línea]. 14. Disponible en <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Investigación/revista/rev14/1> (consultado 28 mayo 2010).
- Zuccardi, R. B. y Fadda, G. S. 1972.** Mapa de reconocimiento de suelos de la provincia de Tucumán. Publ. Espec. FAZ - UNT (3).