

SIEMBRA DIRECTA: EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE COMO INDICADOR DE LA NECESIDAD DE LABORES DE DESCOMPACTACIÓN

A.A. del C. Rollán y O. A. Bachmeier*, EDAFOLOGÍA, LABSA. FCA-UNC. *arollan@agro.unc.edu.ar

La siembra directa (SD) ha sido reconocida como una alternativa de menor impacto ambiental que otros sistemas de cultivo. Sin embargo, algunos autores alertan que puede generar degradación de algunas propiedades del suelo. Preocupados por esta situación se hizo un seguimiento de la evolución bianual de la densidad aparente como indicador de la calidad de los suelos de la región centro norte de Córdoba. Se observó un aumento de la densidad aparente y una disminución en el contenido de materia orgánica en lotes con SD continua con marcadas diferencias respecto a los sitios de Monte Natural (MN). Estos cambios estuvieron acompañados por la presencia de estructura laminar resultante de la pérdida de porosidad estructural. El impacto físico de la SD deja abierto el planteo de la necesidad de realizar tareas de descompactación para lo cual la densidad aparente es un indicador sensible del momento y profundidad a la que debe realizarse.

Palabras claves: densidad aparente, siembra directa, suelo franco-limoso, compactación.

INTRODUCCIÓN

El creciente interés por el uso de la siembra directa (SD), que se iniciara a mediados del siglo pasado, alcanzó en la provincia de Córdoba su máxima expresión durante la última década.

Los resultados de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2007 muestran que el 91,6% de la superficie sembrada de maíz, trigo y sorgo fue en SD y para soja y girasol el porcentaje de SD llegó al 95,9% (Arias, 2012).

El crecimiento de la SD acompañó en particular la expansión “de la frontera sojera” (Rollán, 2012). En Córdoba, al igual que en el resto del país, el cultivo de soja desplaza la ganadería y afecta los bosques nativos marcando una tendencia sostenida en cuanto al uso del suelo hacia un patrón de especialización y mono-producción con ausencia de rotación, que conlleva a la consecuente degradación del suelo (Domínguez y Orsini, 2009).

En este sentido, se plantea la pregunta sobre la sustentabilidad a largo plazo de la producción agropecuaria utilizando siembra directa. Sin embargo aparecen efectos no deseados de las actividades productivas generados por la SD. Entre estos efectos se pueden mencionar la reducción de la oxidación de la materia orgánica del suelo, la contaminación de las napas subterráneas, la pérdida de biodiversidad, entre otros (INTA, 2003). Así, de continuar este escenario al cabo de un período de tiempo indeterminado, el stock de recursos naturales sufrirá una degradación (posiblemente irreversible), tanto en cantidad como en calidad de los recursos, especialmente en los ecosistemas más frágiles.

El crecimiento sostenido de la superficie agrícola generó distintas posturas en el debate sobre el impacto de la SD, conformando un escenario en el cual los actores se posicionan en función de sus concepciones e intereses. Esto derivó en una suerte de polarización en las posiciones que tienden por una parte a endiosar la no remoción y por otra a demonizar la remoción del suelo lo que, sumado al hecho de la estricta asociación soja-rentabilidad, lleva a que hoy, más de veinte años después del ingreso de la SD al país, aún persista la preocupación por la sustentabilidad a largo plazo de este sistema de labranza.

Diversos autores (Franzluebbers, 2002; Díaz Zorita et al., 2004, Abril et al., 2005) señalan que la adopción de la SD ha provocado un impacto favorable en el suelo en muchos sentidos, a través de la cobertura vegetal que promueve la estratificación del carbono y del nitrógeno orgánico así como la reducción de las pérdidas de suelo por erosión.

Sin embargo, el uso continuo de este sistema de labranza impacta en forma diferencial según el ambiente y el tipo de suelo (Rollán et al., 2004).

Soracco et al. (2008), Taboada et al. (2008), Álvarez et al. (2009) y Álvarez (2013) evaluaron los efectos de la siembra directa sobre la condición física de los suelos de distinta clase textural, observando que la caída en la porosidad del suelo y por lo tanto el aumento de la densidad aparente, bajo el sistema de SD, se acentúa en los suelos con alta proporción de limo.

Gran parte de los suelos pampeanos, en particular los de la Pampa Ondulada, se caracterizan por presentar elevada susceptibilidad a sufrir procesos de degradación física (Álvarez et al., 2009). Ello se debe, fundamentalmente, a su prolongada historia agrícola y su textura limosa (limos finos y muy finos, 2-20 μm), características que le confieren baja capacidad de regeneración de la estructura y escasa porosidad, luego de sufrir la densificación o compactación (Varela et al., 2011). Los molisoles franco-limosos de la región semiárida central de Córdoba muestran este comportamiento denominado “efecto limo” que se caracteriza por una marcada compactación subsuperficial con valores de densidad aparente mayores a 1,3 Mg m^{-3} (Rollán et al., 2004). Estos valores se encuentran dentro del rango encontrado por otros autores (Duhour et al., 2004) para este tipo de suelo franco-limoso.

Técnicos y productores coinciden en que los cambios inducidos por la SD han generado un estado de equilibrio de las propiedades físicas y químicas del suelo de tal magnitud que las condiciones resultantes no siempre son favorables per se para el suelo, razón por la cual es necesario tener indicadores edáficos prácticos, simples y sensibles para evaluar la calidad del suelo en forma específica y determinar en cada situación si este modelo productivo es o no sustentable.

En la búsqueda de un indicador edáfico sensible para evaluar el efecto de la SD continua, se midieron los cambios temporales de la densidad aparente del horizonte superficial de lotes de producción, ubicados en la región centro norte de la Provincia de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron lotes de producción, correspondientes a predios asociados a AACREA Regional Córdoba Norte, cuyo seguimiento analítico se realiza en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la FCA-UNC (LabSA) y, unidades testigo sin remoción actual o anterior, con remanentes de la vegetación natural (MN). La ubicación geográfica de los lotes (localidades) y clasificación (tipo de suelo) se presentan en la Tabla 1.

Los muestreos se realizaron durante el barbecho invernal en los años 2003, 2005, 2007 y el 2013; para circunscribir el área de estudio cada punto de muestreo, sitio y profundidad fue georeferenciado.

Se tomaron dos tipos de muestras: disturbadas, compuestas de 0 a 5 (1) y 5 a 15 (2) cm de profundidad en las que se determinó el contenido de carbono orgánico (CO) (Nelson y Sommers, 1996) y muestras sin disturbar para la determinación de los valores de densidad aparente (Dap) utilizando un cilindro calibrado (7 cm de diámetro y 7 cm de altura) trabajando a nivel superficial y subsuperficial (0 a 7 y 7 a 14 cm de profundidad, respectivamente). Se realizaron un total anual de 10 muestras (5 superficiales y 5 subsuperficiales) por sitio de muestreo (SD y MN).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los valores promedios de CO y Dap para cada punto, profundidad de muestreo y situación (SD y MN). En la Figura 1 se ilustra la evolución de la Dap a lo largo de los sucesivos

muestreos, mientras que la condición estructural (tipo de estructura) de los lotes bajo SD se observa en las Fotos 1 y 2.

En los lotes en SD, las diferencias del porcentaje CO entre las profundidades 1 y 2 fueron significativas ($p < 0,001$) y avalan el planteo de Franzluebbbers (2002) en relación a la estratificación de la fracción orgánica en condiciones de SD. Sin embargo, los mayores contenidos de carbono orgánico superficial no compensan las pérdidas de carbono que, en promedio, son del 40% respecto al contenido de carbono del suelo del MN (Tabla 1).

Los mayores valores de Dap de los lotes bajo SD se asocian a la falta de condiciones estructurales debido a la reducción del contenido de materia orgánica, lo que determina en estos suelos y ambientes la eventual inestabilidad de los agregados (Taboada et al., 2008). Los valores coinciden con los citados por Duhour et al. (2004), Soracco et al. (2009), Draghi et al. (2011), así como con la mayoría de los trabajos que incluyen suelos franco limosos en la valoración de la densidad y/o propiedades hidráulicas. Estos resultados muestran el efecto de la degradación física en el sistema de poros del suelo tanto en su volumen (Dap) como en su distribución, lo que se traduce en el desarrollo de estructuras no favorables.

El deterioro de las condiciones físicas del suelo no desaparece por el solo hecho de suspender la labranza, es necesario generar condiciones estructurales favorables (Varela et al., 2011) y la falta de remoción no contribuye a ello (Álvarez et al., 2009). Por esta razón, Domínguez et al. (2009) concluyen que, para condiciones afines a las de la región estudiada, los suelos bajo SD estarían comprometidos en el cumplimiento de las "funciones ecosistémicas" que son la base de su calidad. Draghi et al. (2011) y Álvarez et al. (2009) demostraron el deterioro físico a través del reconocimiento de la formación de estructuras superficiales masivas, que se asocian al desarrollo de compactación superficial, así como al de agregados y poros laminares por efecto de la falta de remoción.

En los lotes estudiados, estos cambios estructurales fueron evidentes durante el muestreo y se aprecian claramente en las Fotos 1 y 2, que dan cuenta de la estructura laminar sub-superficial, así como de la mayor impedancia física a la que se enfrentan las raíces que expresan su crecimiento con un marcado desarrollo horizontal.

Álvarez (2013) señala que la mayor presencia de estructura laminar y de mayor espesor (en referencia a la capa afectada) en las cabeceras de los lotes, lleva a considerar al tránsito como un factor adicional que favorece el desarrollo y persistencia de este tipo de estructura. Este efecto que se ve acentuado por las características naturales de los suelos en la región (bajo contenido de materia orgánica y de arcilla) que lleva al re-ordenamiento de las partículas de limo y provoca la pérdida de porosidad estructural (Varela et al., 2011).

La capacidad de regeneración de la estructura porosa de los suelos es una característica importante para definir la adaptabilidad de los suelos para ser manejados con SD, pues la falta de remoción reduce la posibilidad de formación mecánica de macroporos (Pierce y Larson, 1993).

Estos datos aportan evidencia que concuerda con Barber et al. (1996), respecto a la necesidad de abordar la siembra directa como un mecanismo adecuado procurando el mantenimiento de la fertilidad general del suelo, pero es necesario estar dispuesto a flexibilizar el sistema, para optar por la remoción frente a un proceso de compactación acumulativa (Figura 1). Más aún, en aquellos lotes en las que la intensidad del uso agrícola (años de agricultura) y la pérdida de CO, en relación a su condición prístina provocan que la pérdida de porosidad ocurra en un intervalo corto de tiempo (entre 2 a 3 años).

Los resultados muestran que la Dap es un indicador sensible y práctico, cuya medida es fácil y operativamente posible durante el barbecho. Estas características la convierten en el indicador edáfico a incluir como parte del estudio previo de las condiciones del suelo que se deben evaluar para justificar la intervención mecánica (Botta et al., 2010). Al respecto, Draghi et al. (2011) concluyen que la descompactación debe hacerse sólo luego de comprobar la ubicación de la capa de mayor Dap, a fin de que ésta quede incluida dentro del triángulo de remoción que toda herramienta escarificadora produce como patrón

de rotura.

Finalmente, es probable que con la realización de labranzas subsuperficiales tipo "paratill" los efectos negativos de la densificación subsuperficial no desaparezcan en forma completa, dada la escasa resiliencia en el corto plazo de la porosidad estructural de los suelos franco limosos (Varela et al., 2011). Aun así, la descompactación puede producir efectos positivos de corto plazo sobre la resistencia a la penetración e incluso puede favorecer la entrada de agua en el perfil (Soracco et al., 2009), lo que se verá reflejado en un aumento del rendimiento, aunque sin efectos residuales sobre los cultivos subsiguientes (Álvarez et al., 2009).

El uso intensivo de los suelos impacta negativamente en cualidades físicas básicas para el sustento de la producción. La siembra directa como técnica conservacionista, puede aminorar el efecto negativo de los agentes externos sobre la estructura del suelo, pero no deja de causar "daños" ya que impacta sobre la evolución de los poros y su conectividad (Draghi et al., 2011).

CONCLUSIONES

La siembra directa continua afecta negativamente las condiciones físicas de los Molisoles franco-limosos de la Región centro Norte de la provincia de Córdoba efecto que se manifiesta con un marcado aumento de la densidad aparente.

La reducción de la porosidad plantea la necesidad de realizar tareas de descompactación mecánica, siendo la densidad aparente un indicador sensible para evaluar el momento y profundidad donde se debe realizar esta tarea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, A.; Salas, P.; Lovera, E.; Kopp, S. y Casado-Murillo, N. 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas características del suelo en la región semiárida central de Argentina. *CI. Suelo* 23(2):179-188.
- Álvarez, C. 2013. Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: caracterización, génesis y manejo. *IAH 10:2-9*
- Álvarez, C.; Torres Duggan, M.; Chamorro E.; Ambrosio, D. y Taboada, M. 2009. Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. *CI Suelo* 27(2):159-169.
- Arias, F. 2012. Sector Agropecuario Cordobés. Resultados de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2007. Ganadería Bovina. Ed. Dirección de Estadísticas Económicas. Córdoba. 8 pp.
- Barber, R. G.; Orellana, M.; Navarro, F.; Diaz, O. y Soruco, M. A. 1996. Effects of conservation and conventional tillage systems after land clearing on soil properties and crop yield in Santa Cruz, Bolivia. *Soil & Till. Res.* 38: 133-152.
- Botta, G.; Tolon-Becerra, A.; Lastra-Bravo, F. and Tourn, M. 2010. Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max L.*) yield in Argentinean pampas. *Soil & Till. Res.* 110:167-174.
- Díaz-Zorita, M; Barraco, M y Álvarez, C. 2004. Efectos de doce años de labranzas en un haplustol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *CI Suelo* 22:11-18.
- Domínguez, A.; Bedano J. C. y Becker, A. R. 2009. Cambios en la comunidad de lombrices de tierra (Annelida lumbricina) como consecuencia del uso de la técnica de siembra directa en el centro-sur de Córdoba, Argentina. *CI Suelo* 27(1):11-19.
- Domínguez N. y Orsini, G. 2009. Impactos en la estructura agraria por la ampliación de la frontera agrícola en base a la expansión del cultivo de soja en la Región Pampeana: la historia reciente de Entre Ríos. Ediciones Cooperativas. Buenos Aires. 113 pp.
- Draghi, L. M.; Palancar, T. C.; Soracco, G.; Lozano, L. y Jorajuria, D. 2011. Siembra Directa y Sustentabilidad. Impacto físico-mecánico sobre el suelo. *Actas V CISDA, Santa Fe, Septiembre de 2011.*
- Duhour, A.; Costa, C.; Momo, F. y Falco, L. 2004. Estructura fractal del suelo bajo distintos sistemas de manejo. *CI Suelo* 22(1):36-39.
- Franzluebbbers, A. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Till. Res.* 66:95-106.

- INTA. 2003. El INTA ante la preocupación por la sustentabilidad de largo plazo de la producción agropecuaria Argentina. Ed. INTA. Buenos Aires. 20 pp.
- Nelson, D. W. and Sommers, L. E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3.* Sparks D. L. (Ed.). ASA, SSSA, Madison, WI, pp 961-1010.
- Pierce, F. J. and Larson, W. E. 1993. Developing criteria to evaluate sustainable land management. In *Proc. Symposium of Soil Quality for Land Management: Science, Practice and Policy.* Mac Ewan, R. J. and Carter, M. R. (Eds.) CEM, University of Ballarat, Victoria, Australia. pp 7-14.
- Rollán, A. A. C.; Karlin, M. S. y Bachmeier, O. A. 2004. Siembra directa y densificación superficial en Molisoles del centro norte de Córdoba. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Rollán, A. A. C. 2012. Manejo nutricional del cultivo de soja. Criterios para la aplicación del azufre en Argentina. AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG. Saarbrücken, Germany. 100 pp.
- Soracco, C. G.; Lozano, L. A.; Gelati, P. R.; Sarli, G. O. y Filgueira, R. R. 2008. Anisotropía en la porosidad de un suelo franco limoso bajo siembra directa continua. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 107(1):1-6
- Soracco, C.; Filgueira, R.; Sarli G. O; Fournier, L.; Gelati P. y Hilbert, J. 2009. Persistencia del efecto de subsolado sobre el movimiento del agua en el suelo de Siembra directa. *Uso de dos modelos teóricos.* *CI Suelo* 27(1):77-87.
- Taboada, M. A.; Barbosa, O. A. y Cosentino, D.J. 2008. Null creation of air-filled structural pores by soil cracking and shrinkage in silty loam soils. *Soil Sci.* 173:130-142.
- Varela, M. F.; Fernández, P. L.; Rubio, G. y Taboada, M. A. 2011. Cultivos de cobertura: efectos sobre la macroporosidad y la estabilidad estructural de un suelo franco-limoso. *CI Suelo* 29(1): 99-106.

Tabla 1. Caracterización de las unidades de muestreo: lotes (siembra directa) y testigos (monte natural), ubicación, tipo de suelo y porcentaje de carbono orgánico (CO) de 0 a 5 cm y 5 a 15 cm de profundidad y valores promedios (entre el 2003 y el 2013) de densidad aparente (Dap).

| Localidades | Tipo de Suelo | CO (%) | | | | Dap (Mg m ⁻³) | | | |
|-------------|------------------|-----------------|------|---------------|------|---------------------------|------|---------------|------|
| | | Siembra Directa | | Monte Natural | | Siembra Directa | | Monte Natural | |
| | | 0-5 | 0-15 | 0-5 | 0-15 | 0-7 | 7-14 | 0-7 | 7-14 |
| Avellaneda | Haplustol éntico | 2,0a | 1,2 | 3,8b | 2,2 | 1,4a | 1,5 | 1,0b | 1,1 |
| C. de Luque | Haplustol típico | 2,4a | 1,3 | 4,3b | 2,5 | 1,2a | 1,4 | 0,9b | 1,1 |
| Jesús María | Haplustol típico | 2,1a | 1,2 | 3,8b | 1,7 | 1,4a | 1,6 | 1,1b | 1,2 |
| Las Arrias | Haplustol típico | 1,9a | 1,4 | 2,7b | 2,5 | 1,2a | 1,3 | 1,1a | 1,0 |
| La Paz | Haplustol éntico | 2,2a | 1,4 | 8,4b | 2,5 | 1,2a | 1,6 | 0,9b | 1,0 |
| Montecristo | Haplustol típico | 2,0a | 1,1 | 2,6b | 1,7 | 1,3a | 1,5 | 0,8b | 1,1 |
| Pilar | Haplustol éntico | 2,1a | 1,2 | 2,7b | 2,5 | 1,3a | 1,4 | 0,9b | 1,0 |
| Piquillín | Haplustol típico | 2,1a | 1,2 | 2,8b | 1,7 | 1,3a | 1,4 | 1,0b | 1,1 |

Letras distintas indican diferencias significativas para $p < 0,001$.

Foto 1.

Estructura laminar de la capa superficial del suelo de los lotes bajo siembra directa (SD).



Foto 2.

Desarrollo horizontal de las raíces. Impedancia física en las (a) capas superficiales (0-5 cm) y (b) subsuperficial (5-15 cm).

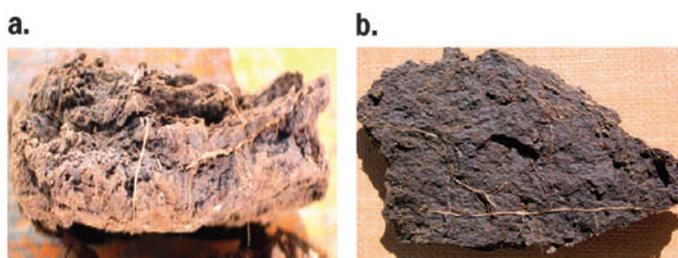


Figura 1: Evolución de la densidad aparente superficial (■) y subsuperficial (●) de profundidad en los lotes bajo siembra directa de cada localidad. Valores promedios Dap por muestreo.

