

Agua, suelo y producción con diferentes manejos en San Marcos Sud, Córdoba

Cecilia Vettorello ^{1*}, Lucas Molina Ordoñez ², Daniel Cotorás ³, Noelia Meneguini ⁴, Julio Pietrantonio ⁵, Franco Barderggia ⁶

¹ Universidad Nacional de Córdoba-FCA, Argentina. cvettore@agro.unc.edu.ar

² Universidad Nacional de Córdoba-FCA, Argentina. lmolinaordonez@agro.unc.edu.ar

³ Empresa agropecuaria, Argentina, danielcotoras@hotmail.com

⁴ Empresa Rural, Argentina, noeliameneguini@hotmail.com

⁵ INTA Bell Ville, Argentina, pietrantonio.julio@inta.gov.ar

⁶ AAPRESID, Argentina, francobarderggia@hotmail.com

*Autor por correspondencia

RESUMEN: Asegurar el requerimiento de agua a los cultivos en secano es un desafío para zonas semiáridas. Una de las estrategias para lograrlo es aumentar las precipitaciones efectivas a través de un rápido ingreso en el perfil del suelo y una mejora en la capacidad de retención, aspectos que se definen por la condición superficial. El monitoreo de dicha condición permite determinar si las prácticas de manejo son sustentables. En el presente estudio se evaluaron parámetros físicos superficiales del suelo con el objetivo de identificar las modificaciones ocasionadas por una rotación intensiva en comparación a monocultivo de soja, su relación con el agua superficial y la producción de cultivos. Las determinaciones se realizaron previas al cultivo de verano, en Córdoba, Argentina. El suelo es Argiudol típico, con clima subhúmedo. Se tomaron 4 repeticiones en cada tratamiento. Se determinaron densidad aparente y estabilidad estructural. Los resultados indicaron una mejora de la estabilidad en la rotación alcanzando en valores promedio de 84%. En monocultivo de soja los valores se mantuvieron en 71%, marcando diferencias significativas entre tratamientos a partir del tercer año. Por otra parte, en monocultivo de soja, los valores de densidad presentaron una tendencia al aumento con un valor mínimo y máximo de 1,17 y 1,54 Mg m⁻³, mientras que para rotación fueron 1.08 y 1.45 Mg m⁻³.

PALABRAS CLAVE: parámetros físicos, evolución temporal, horizonte superficial.

1 INTRODUCCIÓN

Una producción agrícola elevada y sostenida está determinada por la combinación de los recursos naturales y por el uso y manejo del suelo. Mantener el suelo con buena calidad es vital para la sustentabilidad del recurso, por lo que en la actualidad se proponen métodos para evaluar a

mediano y largo plazo los efectos que producen las prácticas que se realizan en él. Las pérdidas en la calidad tienen un impacto marcado en el rendimiento y la calidad de los cultivos, alteran el balance hídrico, aumentan los costos de producción e incrementan el riesgo de erosión (Noellemeyer et al., 2021^[1]). La degradación de las propiedades físicas del suelo tiene un impacto importante sobre el ambiente y los servicios ecosistémicos. Su recuperación, refuncionalización o mejora requiere un tiempo y un costo considerable, por lo que minimizar los riesgos de daño o deterioro es tarea fundamental para los tomadores de decisiones respecto del uso de la tierra y el manejo de los cultivos y el agua. Los indicadores se utilizan tanto para analizar la condición actual del suelo como para monitorear sus cambios en el tiempo y espacio, indicando las tendencias a mediano y largo plazo, aspectos que podrían ser utilizados para definir usos y manejos apropiados. En la región pampeana argentina, la intensificación del uso agrícola a partir del año 1990 causó efectos negativos en los suelos (Ferrerías et al., 2007^[2]) como la reducción de la precipitación efectiva, alteraciones en los procesos biológicos, cambios en su estructura y pérdida de fertilidad, entre otros factores. A partir de la implementación de la siembra directa continua (SD), las propiedades físicas del suelo no siempre evolucionaron positivamente. El tránsito de la maquinaria con dicho sistema de labranza, suele producir compactaciones superficiales y subsuperficiales, especialmente cuando la cobertura del suelo es escasa debido al monocultivo (Schmidt & Amiotti, 2015^[3]). Por esto, es necesario identificar y cuantificar las variables particulares de cada ambiente, a fin de evaluar los cambios que suceden en el mediano y largo plazo, como consecuencia de las prácticas de manejo que se aplican (Gregorich et al., 1997^[4]). Variables como la densidad aparente (DA), la dinámica del agua y la estabilidad estructural (EE) entre otros factores, forman componentes claves de cualquier parámetro integrador o conjunto de parámetros que indican la calidad física del suelo por su elevada influencia en el balance hídrico, salud del suelo y producción.

En el presente estudio se evaluaron densidad aparente (Dap) y estabilidad estructural (EE) con el objetivo de identificar las modificaciones ocasionadas por una rotación intensiva de cinco años, en comparación a monocultivo de soja y su relación con el agua superficial y producción de cultivos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Sitios de ensayo*

El ensayo se llevó a cabo en un establecimiento ubicado en San Marcos Sud, provincia de Córdoba, Argentina (32°47'1,31"S, 62°28'51,70"O). El suelo relevado fue un Argiudol típico, el clima es subhúmedo, con precipitaciones anuales promedio de 850 mm. Se seleccionaron dos parcelas contiguas con igual antecedente de uso y manejo, de 50 m de ancho * 400 m de largo. En una de las parcelas se realizó monocultivo de soja (MSo), sembrada todos los años con una densidad de 40 plantas por metro cuadrado, la primera quincena de noviembre y cosechada la primera quincena de abril. La otra tuvo rotación intensiva (RI) que consistió en centeno/maíz, vicia/soja, trigo/soja, maíz y vicia/soja a lo largo de 5 años (agosto 2017-julio 2022). El manejo de los cultivos de la RI se muestra en la Tabla 1. Todos los cultivos de ambos tratamientos se sembraron con siembra directa, en surcos separados a 0,35 m, excepto el centeno que se realizó la voleo. El trigo y maíz se fertilizaron con nitrógeno y las leguminosas se inocularon.

Tabla 1: Fecha y densidad de siembra y fecha de secado o cosecha de cada cultivo en el tratamiento de rotación intensiva durante el período de estudio (2017-2022)

Año	Manejo de la rotación intensiva (RI)					
	Cultivo invernial	siembra	secado -cosecha	Cultivo estival (para cosecha)	siembra	cosecha
2017	Centeno (CS) 40 kg	1º abril	1º agosto	Maíz 8 pl/m ²	2º setiembre	2º marzo
2018	Vicia (CS) 9 kg/ha	1º mayo	2º octubre	Soja temprana 40 pl/m ²	1º noviembre	1º abril
2019	Trigo (cosecha) 70 kg/ha	2º mayo	2º noviembre	Soja tardía 40 pl/m ²	1º diciembre	2º abril
2020	-			Maíz 8 pl/m ²	1º septiembre	2º marzo
2021	Vicia (CS)	1º noviembre	1º abril	Soja 40 pl/m ²	1º noviembre	1º abril

2.2 Determinaciones

Como parámetros físicos se determinaron densidad aparente (DA) con el método del cilindro (Blake y Hartage, 1986^[5]) estabilidad estructural (EE) por el método de Kemper y Rusenau (1986^[6]) y lámina de agua edáfica (mm) por gravimetría en los primeros 10 cm de profundidad. Las determinaciones se realizaron en cada uno de los 5 años de evaluación, previas al cultivo de verano. Se midió también biomasa de los cultivos de servicio (CS) al momento del secado (vicia y centeno) y rendimiento de los cultivos de cosecha (soja, maíz y trigo). Las muestras de biomasa se secaron a estufa a 60 °C hasta peso constante, mientras que el rendimiento se tomó con peso de cosecha comercial. Los datos de rendimiento se convirtieron a biomasa total a partir del índice de cosecha de cada cultivo.

Se registraron los datos de precipitaciones diarias durante todo el período de ensayo mediante un pluviómetro colocado en el sitio. Para el análisis, se agruparon las precipitaciones de dos maneras: una, por año completo, considerando desde mayo de un año a abril del año siguiente; por otra parte, se cuantificaron las lluvias solo del período estival (octubre-abril). Se buscó correlacionar los parámetros edáficos con la producción de biomasa y diferentes ciclos de precipitaciones (totales o estivales).

Los parámetros de suelo y productivos se muestrearon con 4 repeticiones por tratamiento por año. Los datos registrados se sometieron a un análisis descriptivo (media, coeficiente de variación y error estándar) así como análisis de varianza y test de medias de LSD Fischer; se realizaron las correlaciones entre los diferentes parámetros analizados y líneas de regresión para evaluar la evolución de los parámetros DA y EE (Di Rienzo et al, 2013^[7]).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones registradas durante los años evaluados se muestran en la Tabla 2. El promedio de lluvias anual fue de 716 mm mientras que en el período estival llegó a los 615 mm. Sin embargo, el desvío estándar de los datos fue de 311 y 279 mm respectivamente, indicando la alta variabilidad de las precipitaciones.

Tabla 2: Precipitación anual y estival (mm), agua superficial (mm), rendimiento del cultivo estival (Rto) y biomasa total del cultivo de servicio (BT)(kg ha⁻¹) durante el período de estudio (2017-2022) para los dos tratamientos (monocultivo y rotación intensiva). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos con un $\alpha=0,05$.

año	Precipitaciones		Monocultivo			Rotación intensiva		
	anual	estival	agua	Rto	BT	agua	Rto	BT
2017	-	-	33,8a	-	-	34,5a		
2018	687	491	20,8a	5000	-	23,3a	13000	2000
2019	1273	1113	26b	4950a	-	21,8a	5366a	7000
2020	663	590	25,5a	5186a	-	25,5a	4550a	5000
2021	633	610	22,3a	4960	-	22,3a	14460	
2022	482	432	-	5067a	-	-	5286a	5400

En la tabla anterior se indica que, a pesar del mayor consumo de agua en la RI debido a la mayor cantidad de cultivos, los rendimientos no se vieron afectados (sin diferencia significativa entre tratamientos para el mismo cultivo, años 2018-2019 y 2022) En el año con mayores precipitaciones (2019) si bien el contenido de agua superficial fue mayor en MSo, los rendimientos fueron similares.

Otro aspecto evaluado fue que a pesar de la menor presión de paso de maquinarias en MSo, los valores de DA obtenidos (Figura 1) presentaron una tendencia lineal al aumento ($R^2=0,3257$) a medida que avanzó el ensayo con un valor mínimo y máximo de 1,17y 1,54 Mg m⁻³. En RI, el coeficiente de regresión fue 0,016 siendo los valores mínimo y máximo obtenido 1,08 y 1,45 Mg m⁻³. Los promedios de DA de los 5 años fueron 1,31 y 1,29 Mg m⁻³ para MSo y RI respectivamente, siendo menores que los valores obtenidos por Duval et al. (2015^[8]) para la zona de Monte Buey, cercana al área de estudio. Estos resultados podrían indicar que la cobertura de residuos en la RI actúan de amortiguadores de peso, reduciendo la incidencia del paso de la maquinaria.

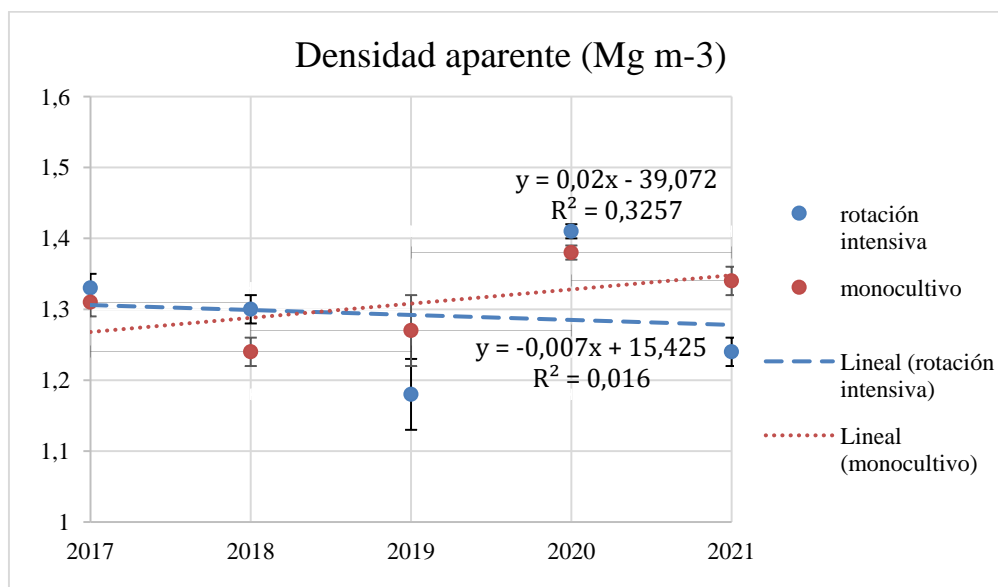


Figura 1: Promedio anual de densidad aparente (DA) (Mg m^{-3}), error estándar y línea de tendencia para los 5 años para los dos tratamientos (RI y MSo).

En la región pampeana se han fijado valores críticos de DA de $1,44 \text{ Mg m}^{-3}$ para molisoles, por encima de los cuales se observaron reducciones en el desarrollo radicular del cultivo de trigo (Wilson et al., 2013^[9]). Los autores anteriores también indicaron que no encontraron diferencias significativas entre tratamientos agrícolas con diferentes manejos del suelo. Como se mencionó, la DA se utiliza a menudo en los estudios de calidad de suelos como un indicador de la resistencia mecánica del suelo para el crecimiento de raíces. En este estudio, el valor umbral mencionado fue superado en el tratamiento MSo. Asimismo, debido a las variaciones entre años y entre tratamientos, no se obtuvieron diferencias significativas en la DA para un grado de significancia del 5% similar a lo indicado por los autores. Sin embargo, en MSo se obtuvo más frecuentemente mayores valores en dicha variable, indicando mayor resistencia mecánica por su tendencia a la compactación, respecto de la RI.

Por su parte, la EE menor se manifestó al inicio de las mediciones, sin diferencias significativas entre los tratamientos en los dos primeros años (Figura 2). Posteriormente, mostró una mejora en RI, comenzando con un promedio anual de 58% (año 2017) y estabilizándose en valores promedio de 84% durante los cuatro años siguientes, mientras que en MSo el valor promedio de los 5 años fue del 71%. Los valores del coeficiente de regresión lineal fueron mayores para RI ($R^2 = 0,462$) respecto de MSo ($R^2 = 0,2645$) (figura 2), corroborando la mejora en dicho parámetro a lo largo del tiempo analizado. A partir del año 2019 se marcaron diferencias significativas entre tratamientos, lo que coincide con el tiempo de respuesta en los cambios de parámetros físicos obtenido por Bacigaluppo et al. (2009^[10]). Investigaciones realizadas en Marcos Juárez, Córdoba, no mostraron esta tendencia a la densificación pero sí a la mejora en la estabilidad estructural en sistemas con cultivos de servicio o cobertura. Asimismo, algunos autores indican que las modificaciones en los parámetros edáficos, especialmente los físicos, se ven reflejados a largo plazo ya que responden a una dinámica de interacción clima-suelo-vegetación, determinada por la actividad biológica y el manejo del suelo.

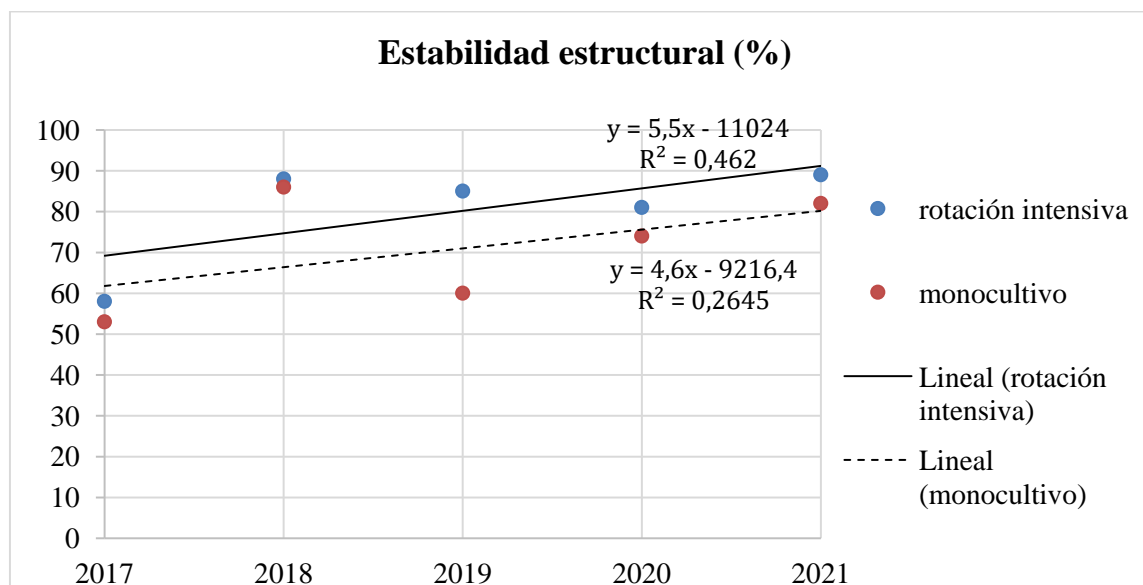


Figura 2: Promedio anual de estabilidad estructural (EE)(%), error estándar y línea de tendencia para los 5 años para los dos tratamientos evaluados (RI y MSo).

Al evaluar las interacciones entre los parámetros anteriores con agua y producción de cultivos, se obtuvo que el agua superficial del suelo solo el año 2019 presentó diferencias significativas entre tratamientos, a pesar de la alta intensidad de consumo de la RI, indicando que el contenido hídrico no se vio afectado por la mayor intensidad de producción. En este aspecto, la biomasa total promedio de MSo alcanzó los 11.703 kg ha⁻¹ mientras que la RI llegó a superar los 22.900 kg ha⁻¹. Los valores de rendimiento (Rto) de cultivos de cosecha (soja, trigo y maíz) así como la biomasa total (BT) de los CS se muestran en la Tabla 2. Carter (2002^[11]) concluyó que la acumulación de residuos vegetales en la capa superficial del suelo modifica el medio físico mejorando las condiciones estructurales y espacio poroso del suelo, evitando el aumento de la DA por el tránsito de la maquinaria, efecto que estaría comenzando a manifestarse en RI a pesar del mayor tránsito de maquinaria debido a la cantidad de cultivos realizados.

Cuando se realizó el análisis de correlación entre DA, EE y agua se manifestó una relación altamente significativa (P valor= 0.03) entre EE y agua del suelo con valores de -0,68 para el tratamiento de MSo, mientras que para RI fue de -0,89 (P valor= 0.0032) lo que coincide con otras investigaciones. Por su parte DA y agua se correlacionaron solo para este último tratamiento, con un valor de 0,47 (P valor= 0.04). Taboada et al (2008^[12]) demostraron la dificultad de mejorar las propiedades físicas en suelos franco limosos, debido a la baja capacidad de recuperación de la estabilidad de poros (Varela et al. 2011^[13]).

Finalmente, cuando se relacionaron los parámetros edáficos y productivos con las precipitaciones se observó una tendencia a la reducción de rendimientos de los cultivos estivales cuando se realizan los cultivos de servicio como antecesores (-0.88), pero con un grado de significancia de 0,12. Esto se vio reflejado, tal como se mencionó, cuando se obtuvieron mayores valores en el tratamiento MSo, indicando que no pudo aprovechar el agua acumulada en invierno y el menor paso de maquinaria respecto de RI.

4 CONCLUSIÓN

La DA mostró en monocultivo de soja una tendencia a la densificación, aunque sin diferencias significativas respecto del otro tratamiento, mientras que la rotación intensiva marcó una mejor EE con diferencias significativas a partir del tercer año. Ambas variables se correlacionaron estadísticamente con el contenido hídrico del suelo.

Los efectos de la mayor intensidad de maquinaria utilizada en la RI, se compensaron por la producción de biomasa debido a la cantidad de cultivos desarrollados, evitando tanto un aumento de la DA como la reducción de la producción de los cultivos estivales comparado con MSo.

5 AGRADECIMIENTOS

Al productor Adelqui Cotorás, a la cátedra Manejo de Suelos de la FCA-UNC y SeCyT-UNC.

6 REFERENCIAS

- 1-Noellemeyer, E., Quiroga, A., Fernandez, R., Frasier, I., Alvarez, C., Álvarez, L., ... & Gómez, F. (2021). *Guía para la evaluación visual de la calidad del suelo*. Cátedra de Edafología y Manejo de Suelos, Universidad Nacional de La Pampa.
- 2-Ferreras, L., Magra, G., Besson, P., Kovalevski, E., García, F. (2007) Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa. *Ci. Suelo* 25(2): 159-172.
- 3-Schmidt, E., Amiotti, N. (2015) Propiedades edáficas superficiales en sistemas de agricultura de conservación en la región pampeana semiárida sur. *Ci. Suelo*. 33(1): 79-88.
- 4-Gregorich, E., Carter, M., Doran, J., Pankhurst, C., Dwyer, L. (1997) Biological attributes of soil quality. In: Gregorich EG, Carter MR (Eds.) *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Soil Science*, 25 pp. 81– 113.
- 5-Blake G., Hartge K. (1986) Bulk Density. In: Klute A nd (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1*, 2 Ed. Agron. Monogr. 9. ASAand SSSA, Madison, WI. pp: 363-375.
- 6-Kemper, W., & Rosenau, R. (1986). *Aggregate stability and size distribution*.
- 7-Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C. (2013) InfoStat. GrupoInfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- 8-Duval, M., Galantini, J., Martínez, J., López, F., & Wall, L. (2015). Evaluación de la calidad física de los suelos de la región pampeana: efecto de las prácticas de manejo. *Ciencias Agronómicas XXV* - (15) 033 - 043
- 9-Wilson, M., Sasal, M., Caviglia, O. (2013) Critical bulk density for a Mollisol and a Vertisol using least limiting water range: Effect on early wheat growth. *Geoderma* 192: 354–361.
- Reynolds, W., Bowman, B., Drury, C., Tan, C., Lu, X. (2002) Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110: 131–146.
- 10-Bacigaluppo, S., Bodrero, M., & Salvagiotti, F. (2009). Producción de soja en rotación vs monocultivo en suelos con historia agrícola prolongada. *Soja Mejor. Prod*, 42, 53-55.

11-Carter M. (2002) Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94: 38–47.

12-Taboada, M., Barbosa, A., Cosentino, D. (2008) Null creation of air-filled structural pores by soil cracking and shrinkage in silty loam soils. *Soil Sci.* 173: 130-142.

13-Varela, M., Fernandez, P., Rubio, G., Taboada, M. (2011) Cultivos de cobertura: efectos sobre la macroporosidad y la estabilidad estructural de un suelo franco limoso. *Ci. Suelo.* 29: 99-106.