

INFLUENCIA DE ROTACIONES EN LA CALIDAD DEL SUELO EN LA ZONA CENTRAL DEL CHACO Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE ALGODÓN

JULIETA MARIANA ROJAS^{1*}; MARÍA FLORENCIA ROLDÁN¹ & GRACIELA SUSANA GUEVARA¹

Recibido: 24-04-15

Recibido con revisiones: 27-07-15

Aceptado: 01-08-15

RESUMEN

La rotación de cultivos ha sido ampliamente recomendada para mejorar la calidad del suelo (CS). El objetivo de este trabajo fue analizar la influencia de un ciclo de 5 años de rotaciones sobre la CS evaluando en forma integrada a través de análisis multivariado los parámetros potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico total (COT), particulado (COP) y asociado a la fracción mineral (COA), nitrógeno total (Nt), fósforo (P) y densidad aparente (Da); y estudiar los rendimientos del cultivo de prueba (algodón) en relación al conjunto de parámetros. Se hipotetizó que: a) las rotaciones influyen en la CS evaluada a través de un conjunto de parámetros y b) que los rendimientos del algodón como cultivo de prueba pueden asociarse a uno o más indicadores de calidad del suelo. Se tomaron muestras a 0-10 y 10-20 cm en un lote experimental de la EEA INTA Sáenz Peña (Chaco). Se analizaron tres rotaciones: cobertura máxima (mayor presencia de gramíneas y cultivos por año), algodón continuo (prácticamente monocultivo) y cobertura mínima, por medio de análisis de componentes principales (ACP) para cada profundidad. Se consideraron variables activas a los parámetros de suelo y variable suplementaria al rendimiento del algodón. Los parámetros que diferenciaron las rotaciones fueron P, CE y COP, siendo el análisis multivariado una herramienta útil para seleccionarlos. Los rendimientos del algodón se mostraron más asociados al COT, COA y COP. La rotación con mayor cobertura, presencia de gramíneas y cultivos por año, se diferenció de las rotaciones de algodón continuo y cobertura mínima, por menor CE y contenido de P en superficie y más COP en la capa subsuperficial. Un mayor aporte de residuos de esta rotación habría influido sobre el COP y la CE; la extracción más alta de P de maíz y soja provocó menores niveles de este nutriente.

Palabras clave. Calidad de suelo, Análisis de componentes principales, Carbono orgánico particulado, Algodón.

INFLUENCE OF CROP ROTATIONS ON SOIL QUALITY IN THE CENTRAL CHACO AREA AND RELATIONSHIP WITH COTTON PRODUCTION

ABSTRACT

Crop rotation has been widely recommended to improve soil quality (SQ). The objective of this study was to analyze the influence of a 5-year cycle of rotation on SQ evaluating in an integrated way through multivariate analysis the parameters pH, electrical conductivity (EC), total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), organic carbon associated to the mineral fraction (AOC), total nitrogen (Nt), phosphorus (P) and bulk density (Bd); and to evaluate test crop (cotton) yields in relationship to the set of parameters. It was hypothesized that: a) rotation influence SQ evaluated through a set of parameters and b) cotton yields as test crop can be associated with one or more indicators of SQ. Composite samples at 0-10 and 10-20 cm in experimental plots of the EEA INTA Sáenz Peña (Chaco, Argentina) were taken. Three rotations were analyzed: maximum coverage (greater presence of grasses and crops per year), continuous cotton (almost monoculture) and minimum coverage, by principal component analysis (PCA), for each depth. Soil parameters were considered as active variables and cotton yield as a supplementary variable. The parameters that defined the main differences were P, EC and POC, multivariate analysis was a useful tool to select them. Cotton yields were more closely associated with TOC, AOC and POC. The rotation with greater coverage, and the presence and frequency of grasses differed from others because of their EC values and P content on the surface and POC in the subsurface. A major contribution of residues by this rotation could have influenced POC and EC; the highest P extraction by corn and soybeans caused lower levels of this element.

Key words. Soil quality, Principal component analysis, Particulate organic carbon, Cotton.

¹ Departamento de Suelos, Área Recursos Naturales, EEA INTA Sáenz Peña, Chaco.

* Autor de contacto: rojas.julieta@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

La rotación de cultivos es una práctica de manejo ampliamente recomendada, dado que incrementa los rendimientos y la rentabilidad, promoviendo la producción sustentable (Mitchell, *et al.*, 1991) y la calidad óptima del suelo (Aziz *et al.*, 2013). Se ha atribuido incrementos en los rendimientos a la rotación, dado que esta práctica propicia el efecto combinado de factores múltiples entre los que se incluyen la reducción de plagas y enfermedades, la menor presencia de malezas, el uso más eficiente del agua, el incremento de la calidad de suelo y la mayor actividad biológica (Nyamangara *et al.*, 2013), por lo tanto la producción de cultivos. Sin embargo, el estudio de su efecto sobre las propiedades edáficas y el desempeño de los cultivos es complejo, debido principalmente a la suma de factores que interactúan en los sistemas de producción, como clima, especie cultivada, tipo de suelo, presencia de enfermedades, plagas y malezas, cantidad y calidad de los residuos, entre otros.

Además de las rotaciones, una práctica de manejo que define en gran parte el desempeño de los cultivos es el tipo de labranza. Actualmente, alrededor del mundo, hay cerca de 63 millones de ha de tierra bajo sistema de labranza conservacionista, cero o siembra directa (SD), la mayoría ubicadas en USA y Brasil (Nyamangara *et al.*, 2013). En la Argentina la mitad de la superficie de cultivo se encuentra bajo este sistema (Pascale Medina *et al.*, 2014). La SD es considerada un sistema productivo importante para reducir la pérdida de CO de los suelos y aumentar su secuestro, ya que en primer lugar cambia las condiciones físicas del suelo, disminuyendo las tasas de descomposición del CO y aumentando el aporte de residuos (rastros) al suelo (Huang *et al.*, 2010; Dominguez *et al.*, 2009). En un trabajo previo Rojas & Guevara (2012), mediante el estudio univariado de parámetros observaron que al finalizar una secuencia de 3 años de rotaciones, con mayor predominio de algodón, la calidad del suelo disminuía significativamente. También, Roldán *et al.* (2013) informaron que la introducción de cultivos con mayor volumen de residuos en el presente ensayo propició el aumento de COP en la capa superficial del suelo. La incorporación de gramíneas en la rotación es una forma de manejar la dinámica del carbono orgánico (CO) en el suelo, por la cantidad y calidad de los residuos que aportan.

La calidad del suelo ha sido definida como un concepto multidimensional (Villamil *et al.*, 2008), resultado de las interacciones y el balance entre sus propiedades físicas,

químicas y biológicas (Nautiyal *et al.*, 2010). Como concepto integrado no puede ser medida directamente, pero si cuantificada a través de un grupo de propiedades, atributos o parámetros, llamados indicadores por su sensibilidad y facilidad de medición, los cuales permiten comparar distintos manejos (Brejda *et al.*, 2000).

El análisis multivariado permite estudiar el conjunto de parámetros de manera global, analizando su comportamiento simultáneamente. El mismo ha sido utilizado en numerosos trabajos sobre indicadores de calidad de suelos (Sena *et al.*, 2002; Giuffré *et al.*, 2006; Campitelli *et al.*, 2010), sin embargo no es común encontrar trabajos que relacionen al conjunto de parámetros en forma multivariada con el rendimiento de cultivos, ya que en general se relacionan los rendimientos con una sola variable de suelo, con una determinada dosis de fertilizante agregado, precipitaciones o se utilizan para analizarlos paquetes relacionados a la geoestadística (Urricariet *et al.*, 2011; Nyamangara *et al.*, 2013). Herramientas estadísticas actuales, como el paquete FactoMineR, ofrecen la posibilidad de estudiar variables cuantitativas en relación a las consideradas en el análisis sin que las mismas jueguen un rol en el cálculo de la distancia entre individuos en estudio (Husson *et al.*, 2011). Es de sumo interés entonces integrar a través de estas técnicas los rendimientos de un cultivo al conjunto de datos de suelo y analizar con qué parámetros se encuentra más correlacionado.

El área algodonera en la Argentina y la provincia de Chaco en las últimas décadas decayó en forma notable debido al aumento de la superficie sojera, precios bajos y el avance del picudo algodonero, una de sus principales plagas. A pesar de esto, el cultivo atravesó cambios tecnológicos fuertes: manejo en SD, acortamiento de la distancia entre surcos, cosecha mecánica y adopción de variedades transgénicas resistentes a lepidópteros y glifosato. La provincia de Chaco produce un 70% de la fibra de algodón del país, y desde el gobierno provincial hay un fuerte impulso a la producción de algodón en el norte argentino. Durante la campaña 2013/2014 se sembraron en la provincia 297.000 ha (SIIA, 2015). Por estos motivos y por el potencial que posee para regiones subhúmedas de altas temperaturas se lo utilizó en el presente ensayo como cultivo de prueba, es decir el cultivo que cierra un ciclo de rotaciones.

A partir de lo anteriormente expuesto se hipotetizó que: a) las diferentes rotaciones influyen en la calidad del suelo evaluada a través de un conjunto de parámetros y b) que los rendimientos del algodón como cultivo de prueba pue-

den asociarse a uno o más indicadores de calidad del suelo. El objetivo de este trabajo fue analizar la influencia de un ciclo de 5 años de rotaciones sobre la calidad del suelo evaluando en forma integrada a través de análisis multivariado los parámetros potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico total (COT), carbono orgánico particulado (COP), carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COA), nitrógeno total (Nt), fósforo (P) y densidad aparente (Da); y estudiar los rendimientos del cultivo de prueba (algodón) en relación al conjunto de parámetros evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El clima de la región de estudio, ubicada en el centro de la provincia de Chaco es subhúmedo continental, con precipitaciones estacionales concentradas en primavera y verano e inviernos secos. La temperatura media anual es de 21,4 °C, la máxima media 28,2 °C y la mínima media 14,7 °C; la precipitación media total anual es de 988,9 mm para el período 1924-2012. Se trabajó en el ensayo de Rotaciones en Siembra Directa ubicado en el lote experimental de la EEA INTA Sáenz Peña (26°52' S, 62°27' W). El mismo se encuentra ubicado sobre las series de suelo Golondrina (Gb), Argiustol údico; Paz (Pch), Albacualf vértico, y Matanza (Ma), Argiustol údico (Ledesma, 1996). Las tres series son de textura franco arcillo limosa, pesada. Las series Gb y Ma son de origen forestal y poseen como riesgos potenciales erosión hídrica y salinidad. La serie Pch presenta como limitantes permeabilidad lenta y drenaje imperfecto. El ensayo posee un diseño en bloques completamente aleatorizados, con 4 bloques y 3 tratamientos (rotaciones). El ciclo de rotaciones se inició en 2007 y finalizó en 2013 con la cosecha del cultivo de algodón como cultivo de prueba. Las rotaciones se denominaron A, B y C y presentaron las siguientes secuencias:

- A (cobertura máxima con mayor presencia de gramíneas y más cultivos por año): soja-maíz-algodón-girasol-maíz-soja-algodón.
- B (algodón continuo): algodón-trigo-algodón- algodón- algodón- algodón- algodón
- C (cobertura mínima): algodón-trigo-soja-algodón-algodón-soja-algodón.

Todos los cultivos se manejaron de acuerdo a las recomendaciones de INTA EEA Sáenz Peña. La fertilización del algodón se realizó al voleo a los 30 días de la siembra con 100 kg urea por ha, este fue el único cultivo fertilizado.

Se tomaron muestras compuestas de cada parcela en junio de 2012 a las profundidades de 0-10 y 10-20 cm. Las determinaciones analíticas correspondientes, se realizaron en el Laboratorio de Suelo y Agua de la EEA INTA Sáenz Peña. Las

muestras se secaron al aire, fueron molidas y tamizadas por tamiz de malla de 2 mm (N° 10, USA standard ASTM E 11-61). Una porción de cada muestra se tamizó con tamiz de 0,5 mm (N° 35) para determinar Nt y CO. Se determinó pH por método potenciométrico en agua destilada en relación 1:2,5 (Norma IRAM, 2009); CE en solución de agua destilada en relación 1:2,5 (Norma IRAM, 2006). CO oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro, donde el CO se oxida parcialmente por medio de una solución de dicromato de potasio en medio ácido (Norma IRAM, 2009). COP se determinó por la técnica de Cambardella y Elliot (1992), modificada por Lorenz (2005), dispersando el suelo con hexametáfosfato de sodio y luego separando físicamente dos fracciones por medio de un tamiz de malla de 53 µm. Nt se analizó por método de Kjeldahl modificado, basado en oxidación húmeda (Norma IRAM, 2009) y P extraíble por el método de Bray Kurtz 1 modificado (Norma IRAM, 2010). Da se midió tomando muestras con un cilindro metálico bisechado de 98,5 cm³.

Análisis multivariado

Los datos obtenidos se analizaron por medio de análisis de componentes principales (ACP) a través del programa R versión 3.0.1 (R, 2011), para cada profundidad por separado. Se utilizó el paquete FactoMineR, que posibilita realizar elipses de confianza para las medias del grupo y conocer los p-valores de la correlación entre los tratamientos y las componentes principales (CP). Las elipses se superponen sobre el gráfico de dispersión y cuando éstas no se interceptan existen diferencias entre los grupos de las variables estudiadas simultáneamente, al nivel de significancia del 5%. Las elipses se construyeron para la variable categórica rotación (A, B o C), tomando los parámetros de suelo como variables activas y el rendimiento del algodón como una variable suplementaria, la cual no influye en el cálculo de las distancias entre individuos o muestras. Esto posibilitó relacionar los rendimientos del algodón con el conjunto de parámetros de suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta los valores medios, máximos y mínimos, desvíos estándar (DE) y coeficientes de variación (CV) de cada parámetro por profundidad. Los parámetros que presentaron mayor CV fueron la CE y el COP, mientras que el pH y la Da mostraron menor CV. La CE es una medida afectada por la combinación de contenido de agua y temperatura del suelo, sales disueltas, arcillas, mineralogía; correlacionada con el COT (Bosch Mayol *et al.*, 2012). El COP al ser la fracción lábil ha sido descrito como uno de los parámetros que varía en plazo más corto en planteos agrícolas, ya que depende del tipo y cantidad de aporte de

Tabla 1. Valores medios de los parámetros evaluados para cada profundidad.
Table 1. Mean values of the parameters in each soil depth.

Profundidad	Variable	Media	DE	CV	Mínimos	Máximos
0-10 cm	pH	6,76	0,18	2,65	6,4	7,3
	CE (Ds m ⁻¹)	0,19	0,07	35,67	0,09	0,36
	COT (g kg ⁻¹)	12,69	1,31	10,3	9,7	15,1
	COA (g kg ⁻¹)	12,09	1,0	8,24	10,6	14
	COP (g kg ⁻¹)	3,79	1,08	28,57	1,7	5,6
	Nt (%)	0,11	0,02	13,85	0,08	0,14
	P (ppm)	141,54	16,55	11,69	110,4	173,5
	Da (g cm ⁻³)	1,39	0,05	3,71	1,26	1,49
10-20 cm	pH	7,03	0,25	3,52	6,5	7,5
	CE (dS m ⁻¹)	0,19	0,1	52,17	0,07	0,49
	COT (g kg ⁻¹)	10,29	1,0	9,71	9,0	13,2
	COA (g kg ⁻¹)	10,53	0,88	8,38	9,1	12
	COP (g kg ⁻¹)	2,37	0,74	31,08	1,1	3,7
	Nt (%)	0,09	0,01	13,95	0,07	0,11
	P (ppm)	120,66	21,49	17,81	77,6	154,9
	Da (g cm ⁻³)	1,49	0,04	2,83	1,41	1,6

rastreros. Es muy sensible a la textura, el manejo previo, los aportes vegetales y la composición del suelo (Domínguez *et al.*, 2009). Respecto a los parámetros menos variables, el pH presentó valores normales cercanos al neutro y la Da se presentó por debajo de los límites máximos de 1,6-1,8 g cm⁻³ establecidos como impedimento para el desarrollo de las raíces por Reynolds (2002) para suelos limosos, y se mostró como una medida consistente y con menor varianza, coincidiendo con lo informado por Rojas (2012).

Tanto COT como COP, presentaron estratificación, con valores mayores en la capa superficial, e interacción entre rotaciones y profundidad. La estratificación de la materia orgánica ha sido informada por varios autores (Aziz *et al.*, 2013; Guimarães *et al.*, 2013). La rotación A presentó los valores más altos de COT en la capa de 0-10 cm (13,06 g kg⁻¹), y la B en la de 10-20 cm (10,70 g kg⁻¹). Los valores medios de COP presentaron diferencias significativas entre rotaciones siendo mayores en A en superficie (4,60 g kg⁻¹). En la profundidad de 10-20 cm, esta rotación también presentó mayores valores de COP pero las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Datos más detallados sobre COT y COP en este mismo ensayo se encuentran en Roldán *et al.* (2013).

Las concentraciones de P fueron normales para series de suelos del centro chaqueño, predominantemente de origen loésico (Ledesma, 2003), los cuales en general pre-

sentan altos valores de P en zonas semiáridas o subhúmedas (Ledesma, 1976). El Nt presentó valores bajos a normales. Los rendimientos medios del cultivo de algodón en bruto cosechado en el año 2103 fueron para la rotación A, B y C de 5780, 5917 y 5000 kg ha⁻¹ respectivamente, mayores a los promedios provinciales de alrededor de 1700 kg ha⁻¹ (SIIA, 2015).

Análisis multivariado para el espesor de 0-10 cm

Las CP 1 y 2 explicaron el 65,4% del porcentaje acumulado de la variabilidad total. La CP1 (eje horizontal, Fig. 1a.) se correlacionó principalmente con el COT y el Nt (Tabla 2), es decir que estos fueron los parámetros que definieron el 40% de la variabilidad total de los datos. La CP2 (eje vertical, Fig. 1a.) se correlacionó con la CE y el P, propiedades que separaron las muestras que no se diferenciaron en la CP1 por diferencias en COT y Nt. Las rotaciones presentaron contenidos variables de COT y Nt. Las elipses de confianza (Fig. 2) permitieron separar significativamente (Tabla 3) la rotación A de las demás, en la dirección de la CP2, es decir que se diferenció por valores menores de CE y P, indistintamente de las series de suelo presentes. Los menores contenidos de P de la rotación A, pudieron deberse a la mayor presencia de cultivos considerados más extractivos como maíz y soja, porque exportan más P en grano, con incidencia negativa en el balance del mismo (Cano *et al.*, 2006). La productividad de los cultivos depende en gran parte de la cantidad de nutrientes disponibles

Tabla 2. Valores para cada parámetro en las CP1 y CP2 (autovectores) para cada profundidad.

Table 2. Values of each parameter in the CR1 and CP2 in each soil depth.

Variable	0-10 cm		10-20 cm	
	CP1	CP2	CP1	CP2
pH	-0,41	-0,34	0,28	-0,15
CE	0,37	0,84	0,53	-0,45
COT	0,92	-0,24	0,86	0,34
COA	0,67	-0,42	0,62	0,26
COP	0,60	-0,52	0,35	0,75
Nt	0,86	0,09	0,89	-0,02
P	0,66	0,65	0,89	-0,20
Da	-0,28	0,51	-0,47	0,50

en el suelo (Nautiyal *et al.*, 2010). Aunque los suelos del Chaco estén muy bien provistos en P, la disminución significativa de este parámetro en rotaciones más extractivas es un alerta sobre la importancia del monitoreo de este nutriente en los suelos en el mediano plazo. La CE disminuye con el mayor movimiento de agua y la estabilidad de los agregados (Chatterjee & Lal, 2009) favorecida a su vez por los niveles de COP (Six *et al.*, 2000; Roldán *et al.*, 2012). El mayor volumen de residuos contribuye a una menor evaporación del agua del suelo, lo cual restringe el ascenso capilar de sales; asimismo la mayor presencia de raíces favorece la apertura de canales para la percolación de la solución del suelo (Cao *et al.*, 2012).

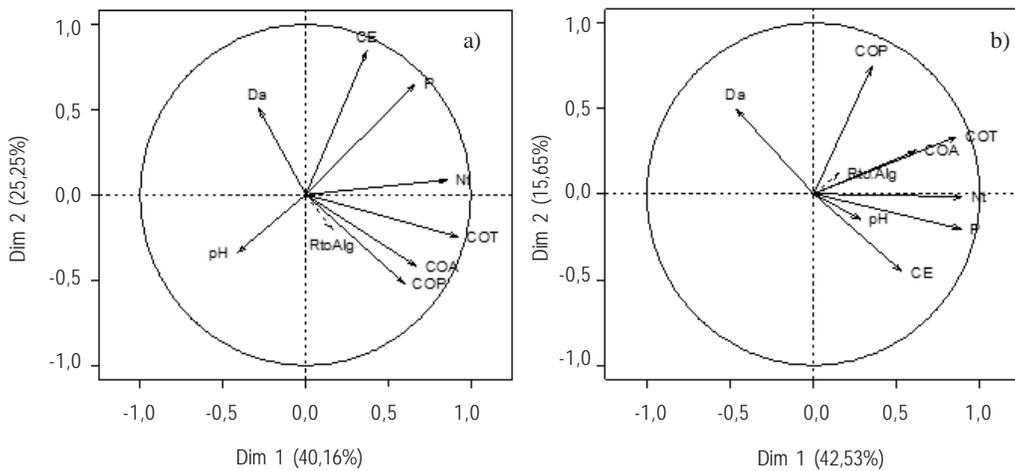


Figura 1. Correlación entre parámetros de suelo y rendimientos de algodón en las CP1 y 2 para 0-10 (a) y 10-20 cm (b). Da, densidad aparente; CE, conductividad eléctrica; P, fósforo extraíble; Nt, nitrógeno total; COT, carbono orgánico total; COP, carbono orgánico particulado; RtoAlg; rendimientos de algodón. Figure 1. Correlation among soil parameters and cotton yield in CP1 and CP2 for 0-10 (a) and 10-20 cm (b) depths. Da, bulk density; CE, electrical conductivity; P, extractable P; Nt, total Nitrogen; COT, total organic carbon; COP, particulate organic carbon; RtoAlg; cotton yield.

Figura 2. Biplot y elipses de confianza alrededor de las rotaciones para la profundidad de 0-10 cm. Figure 2. Biplots and confidence intervals around rotations for the 0-10 cm soil depth.

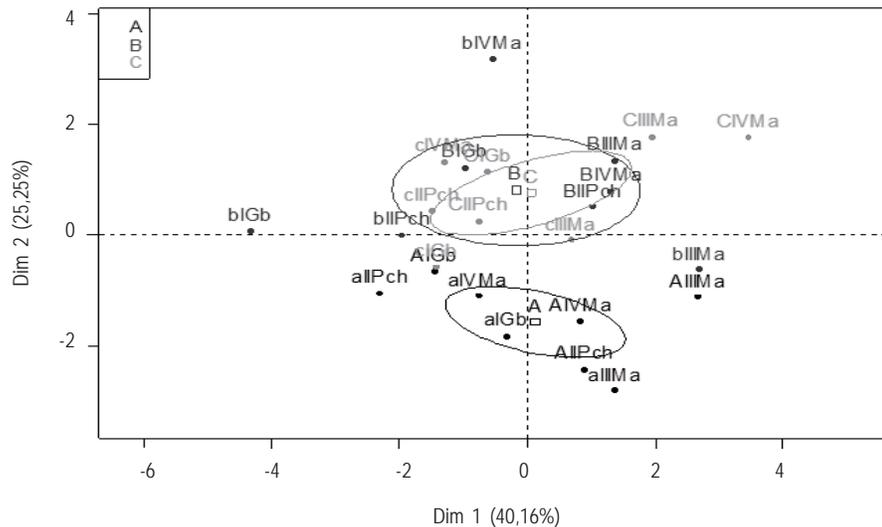


Tabla 3. Significancia de la correlación de la variable categórica Rotaciones con la CP2 (Test de Student).
Table 3. Significance of the correlation for the categorical variable Rotation with CP2 (Test t Student).

Profundidad	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
CP2 cualitativa	R2		p-valor	
Rotación	Estimate			
	0,6137116	0,6137116	4,598033e-05	4,598033e-05
A	-1,5741772	1,0659021	9,867548e-06	0,000384446
B	0,8147205		1,106913e-02	
C	0,7594567	-0,6771113	1,106913e-02	0,0140046621

No se halló correlación estadísticamente significativa ($p > 0,05$) de los rendimientos del algodón con las CP 1 o 2, pero estos se asociaron positivamente con el COP, el COA y negativamente con la Da. Una de las funciones más importantes de la MOS es el suministro de N a las plantas, la fracción particulada se asume estrechamente relacionada a la dinámica de la mineralización del N ya que mayores contenidos de esta fracción indican mayor mineralización potencial (Dominguez *et al.*, 2009) En este trabajo la asociación más estrecha de los rendimientos de algodón con CO y sus fracciones podría significar un mejor abastecimiento en forma indirecta de N potencialmente mineralizable.

Profundidad 10-20 cm

Las CP 1 y 2 explicaron el 58,2% de la variabilidad total. La CP1 (eje horizontal, Fig. 1b.) fue definida por el Nt, el P y el COT. En esta CP la Da presentó coordenadas negativas, es decir que tuvo valores crecientes a menores valores de Nt, P y COT. La CP2 (eje vertical, Fig. 1b.) fue definida principalmente por el COP y en menor medida por la Da (Tabla 2), la misma tuvo influencia en ambas CP. La rotación A también se diferenció significativamente de las demás por sus contenidos de COP y Da en la CP2 (Fig. 3, Tabla 3). La misma presentó 57% más COP que la rotación C y 21% más que la B. La rotación A presentó los mayores valores de COP en superficie ($4,70 \text{ g kg}^{-1}$), volumen de residuos (Roldán *et al.*, 2013) y valores más bajos de Da. Mayor volumen de raíces y residuos representan diferencias de calidad física por su mayor aporte de COP y estabilidad de agregados sobre todo en horizontes superficiales en SD (Aziz *et al.*, 2013). El COP depende del ingreso y calidad del residuo y de los factores que influyen la descomposición. Duval *et al.* (2013) también hallaron que una rotación intensiva con mayor proporción de gramíneas (60%) mejoró los niveles de COP, en comparación a sis-

temas con rotación mínima o monocultivo, por lo tanto el aumento de COP en la profundidad de 10-20 cm probablemente se debió al mayor volumen de raíces generado por la inclusión de gramíneas en la rotación.

En esta profundidad no se halló correlación significativa de los rendimientos del algodón con ninguna de las CP, pero también estuvo asociada al COP, COA y COT y (Fig. 1b.).

VARIABLES COMO pH Y Nt, QUE EN TRABAJOS ANTERIORES SE HABÍAN SEÑALADO COMO IMPORTANTES PARA PRESENTAR DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS EN EL CORTO PLAZO (ROJAS & GUEVARA, 2012) EN EL CONJUNTO DE DATOS SE MOSTRARON CON MENOS PESO PARA DIFERENCIAR EL EFECTO DE LAS ROTACIONES.

CONCLUSIONES

Los parámetros del suelo que diferenciaron las rotaciones fueron el contenido de P, la CE y el COP. El análisis multivariado fue capaz de detectar parámetros que permitieron diferenciar las rotaciones estudiadas, confirmando que es una metodología estadística útil al menos en suelos del tipo de este ensayo, para evaluar el estado del mismo al finalizar un ciclo de rotaciones. Los rendimientos del algodón como cultivo de prueba no se correlacionaron significativamente con un parámetro de suelo en particular, pero se mostraron más asociados al COT, COA y COP.

La rotación con mayor cobertura, presencia de gramíneas y frecuencia de cultivos por año, se diferenció de las rotaciones de algodón continuo y cobertura mínima, por menor CE y contenido de P en superficie, y mayor contenido de COP en la capa subsuperficial. El mayor aporte de residuos de esta rotación habría influido sobre el COP y la CE; a su vez la extracción más alta de P del maíz y soja provocó menores niveles de P.

Para una mejor evaluación del efecto de las rotaciones sobre la calidad del suelo sería de mayor precisión y más global ampliar el conjunto de parámetros, incorporando aquellos relacionados con el almacenaje del agua, la textura, la estabilidad de agregados y las propiedades biológicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los Sres. Ledesma, Ramón; Canteros, Alberto y Daniel Renaud por su valiosa colaboración en las tareas de campo y de laboratorio. Este trabajo fue financiado por los proyectos Tecnologías para la producción de Cereales y Oleaginosas (PNCyO 1127032) e Indicadores Agroambientales de suelo y agua (PN Suelo 1134023) de INTA.

BIBLIOGRAFÍA

- Aziz, I; T Mahmood & K Rafiq Islam. 2013. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. *Soil Till Res.* 131: 28-35.
- Bosch Mayol, M; JL Costa; NF Cabria & VC Aparicio. 2012. Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio del suelo. *Ci. Suelo (Argentina)* 30(2): 95-105.
- Brejda, JJ; TB Moorman; DL Karlen & TH Dao. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2115-2124.
- Cambardella, CA & ET Elliot. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Campitelli, P; A Aoki; O Gudelf; A Rubenacker & R Sereno. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ci. Suelo* 28(2): 233-231.
- Cano, J; O Ernst & F García. 2006. Balance aparente de fósforo en rotaciones agrícolas del litoral oeste del Uruguay. *Informaciones Agronómicas* 32: 8-11. INPOFOS. Cono Sur. Acaassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Cao, J; X Li; X Kong; R Zed & L Dong. 2012. Using alfalfa (*Medicago sativa*) to ameliorate salt-affected soils in Yingda irrigation district in Northwest China. *Acta Ecologica Sinica* 32: 68-73.
- Chatterjee, A & R Lal. 2009. On farm assessment of tillage impact on soil carbon and associated soil parameters. *Soil Till Res.* 104: 270-277.
- Dominguez, GF; NV Diovisalvi; GA Studdert & MG Monterubbianesi. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. *Soil Till Res.* 102: 93-100.
- Duval, ME; JA Galantini; JO Iglesias; S Canelo; JM Martinez & L Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till Res.* 131: 11-19.
- Giuffrè, L; Romaniuk, R; Conti, M & R Bartoloni. 2006. Multivariate evaluation by quality indicators of no-tillage system in Argiudolls of Rolling Pampas (Argentina). *Biol. Fert Soils* 42: 556-560.
- Guimarães, DV; MI Silva Gonzaga; T Oliveira da Silva; T Lima da Silva; N da Silva Dias & MI Silva Matias. 2013. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. *Soil Till Res.* 126: 177-182.
- Huang, S; NY Sun; WY Rui; WR Liu & WJ Zhang. 2010. Long-term effect of no-tillage on soil organic carbon fractions in a continuous maize cropping system of Northeast China. *Pedosphere* 20(3): 285-292.
- Husson, F; S Lê & J Pagès. 2011. Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R. Computer Science and Data Analysis Series. CRC Press. Taylor & Francis Group. 228 p.
- Ledesma, LL. 1976. EL fósforo en la génesis de los suelos. Informaciones técnicas. Serie 6. Génesis de suelos N° 2. Septiembre de 1976. INTA-EEA.P.R. Sáenz Peña
- Ledesma, LL. 1996. Carta de suelos de la Estación Experimental Agropecuaria de Presidencia Roque Sáenz Peña (Chaco). INTA
- Ledesma, LL. 2003. Carta de suelos de la República Argentina. Provincia del Chaco. Los suelos del Departamento Comandante Fernández. Convenio INTA- Ministerio de la Producción. Edición Digital.
- Lorenz, G. 2005. Métodos de análisis de suelos. Serie Didáctica N°12. Cátedra de Ecología Forestal- Facultad de Ciencias Forestales- Universidad Nacional de Santiago del Estero-Argentina. 126pp.
- Mitchell, CC; RL Westerman; JR Brown & TR Peck. 1991. Overview of long-term agronomic research. *Agron. J.* 83: 24.
- Nautiyal ChS; PS Chauhan & ChR Bhatia. 2010. Changes in soil physicochemical properties and microbial functional diversity due to 14 years of conversion of grassland to organic agriculture in semi-arid agroecosystem. *Soil Till Res.* 109: 55-60.
- Norma IRAM 21322:2006. Determinación de conductividad eléctrica en soluciones acuosas.
- Norma IRAM- SAGPyA 29571-2:2009. Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 2- Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro.
- Norma IRAM- SAGPyA 29572:2009. Determinación de nitrógeno en suelo por el método Kjeldahl modificado.
- Norma IRAM- SAGPyA 29574:2009. Determinación del pH en suelo para uso agropecuario.
- Norma IRAM- SAGPyA 29570-1: -2010. Determinación de fósforo extraíble en suelos. Parte 1- Método Bray Kurtz 1 modificado (Extracción con solución de fluoruro de amonio-ácido clorhídrico).
- Nyamangara, J; E Nyazaradzo Masvaya; R Tirivavi & K Nyengerai. 2013. Effect of hand-hoe based conservation agriculture on soil fertility and in selected smallholder areas in Zimbabwe. *Soil Till Res.* 126: 19-25.
- Pascale Medina, C; MM Zubillaga & MA Taboada (eds). 2014. Suelos, producción agropecuaria y cambio climático. Avances en Argentina. 1°ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- R Development Core Team. 2011. "R: a language and environment for statistical computing". R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0 [en línea]. URL: <http://www.R-project.org>
- Rojas, JM & GS Guevara. 2012. Efecto de rotaciones con algodón como cultivo principal en propiedades del suelo. XIX Congreso Latinoamericano y XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata -16 al 20 de abril de 2012.

- Rojas, JM. 2012. Indicadores de calidad de suelos desmontados y destinados a la producción agrícola en el Área Piloto de la Ecorregión Chaqueña. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias- Orientación: Producción Sostenible, UNT, Tucumán. Argentina. 151 pp.
- Roldán, MF; GA Studdert; CC Videla; L Picone & S San Martino. 2012. Fracciones de carbono orgánico por tamaños de agregados en dos suelos bajo manejos contrastantes. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina-16 al 20 de abril de 2012.
- Roldán, MF; JM Rojas & GS Guevara. 2013. Efecto de rotaciones de cultivos bajo siembra directa sobre el carbono orgánico particulado de un Argiustol en el Chaco subhúmedo. Jornadas Argentinas de Conservación de Suelos. Julio 2013. Buenos Aires-Argentina.
- Sena, MM; RTS Frighetto; PJ Vlarini; H Tokeshi & RJ Poppi. 2002. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis case study. *Soil Till Res.* 67: 171-181.
- SIIA (Sistema Integrado de Información Agropecuaria). 2015. URL: <http://www.siiia.gov.ar/>. Última visita 20/03/2015.
- Six, J; ET Elliott & K Paustian. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32: 2099-2103.
- Urricariet, S; M Niborski & CM Kvolek. 2011. Atributos de suelo y paisaje asociados a la variabilidad de rendimientos de maíz en la Pampa Arenosa. *Ci. Suelo (Argentina)* 29: 49-59.
- Villamil, MB; FE Miguez & GA Bollero. 2008. Multivariate analysis and visualization of soil quality for no till systems. *J. Environ. Qual.* 37: 2063-2069.