

ROTACIÓN DE CULTIVOS EN LA PRODUCCIÓN DE TABACO: EFECTO SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES EDÁFICAS

RAUL COLQUE^{1*}, ROMINA ROMANIUK², PATRICIA ARIAS¹,
MARIO CASTIGLIONI³

Recibido: 02/11/2020

Recibido con revisiones: 26/01/2021

Aceptado: 02/02/2021

RESUMEN

El cultivo de tabaco requiere numerosas labores, lo que sumado al escaso volumen de rastrojos que deja este cultivo, se favorece el deterioro físico, químico y biológico del suelo. El objetivo fue evaluar en un suelo del Valle los Pericos (Provincia de Jujuy), el efecto que ejercen sobre la calidad edáfica diferentes prácticas de manejo realizadas en el cultivo de tabaco: monocultivo (TM), rotación con gramíneas (TG) e incorporación de abonos verdes (TV), contrastando a su vez los resultados con los de una situación con bajo disturbio (T). Se estudió la respuesta de distintas variables edáficas determinadas a dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm), en lotes de producción de tabaco con diferentes rotaciones y más de 30 años bajo labranza convencional y riego. La agricultura provocó una merma del 44 % y 57 % en la estabilidad estructural promedio de los estratos superficial y profundo, respectivamente. La tasa de infiltración fue cinco veces superior en T. En los lotes agrícolas se observó un descenso marcado en todas las fracciones del carbono y entre un 8 % y 11% en el pH. La producción de tabaco bajo riego y fertilización mostró un aumento del 67 % al 100 % en la conductividad eléctrica del suelo y de más del 300 % en el fósforo extractable. La diversificación de cultivos generó en superficie, incrementos significativos del 54 % y 41 % del carbono orgánico total y asociado a la fracción mineral, respectivamente, mientras que el carbono particulado no varió según las distintas rotaciones agrícolas. El carbono de la biomasa microbiana superficial y profunda fue un 118 % y 159 % superior, respectivamente, en TG en relación al promedio de TV y TM, mientras que la respiración basal superficial fue un 83 % mayor en TG y TV respecto a TM.

Palabras clave: abono verde; riego; labranza convencional; monocultivo.

CROP ROTATION IN TOBACCO PRODUCTION: EFFECT ON SOME SOIL PROPERTIES

ABSTRACT

Tobacco cultivation requires numerous agricultural practices, which along with the low volume of stubble that it leaves, it favors soil physical, chemical and biological deterioration. The aim of this work was to evaluate, in a soil of Valle los Pericos (Jujuy

¹ Facultad de Agronomía (Universidad Nacional de Jujuy)

² Instituto de Suelos. INTA Castelar

³ Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires

* Autor de contacto: raul_a_colque@hotmail.com



Province), the effect on edaphic quality of crop rotations carried out in the tobacco cultivation: monoculture (TM), rotation with grasses (TG), incorporation of green manures (TV), and also compared these results with those of a low soil disturbance situation (T). The response of different edaphic variables was studied at two soil depths (0-20 cm and 20-40 cm), in tobacco production plots with different rotations and more than 30 years under conventional tillage and irrigation. Agriculture caused a decrease of 44 % and 57 % in the average structural stability at the superficial and deep layer, respectively. Infiltration rate was five times higher in T. A decrease in all carbon fractions and between 8 % and 11 % of soil pH was observed in cultivated plots. Tobacco production under irrigation and fertilization showed an increase from 67 % to 100 % in soil electrical conductivity and more than 300 % in the extractable phosphorus. Crop diversification generated in superficial layer significant increases of 54 % and 41 % of total and mineral associated organic carbon content, respectively, while particulate carbon did not change according to the different agricultural rotations. The superficial and deep carbon of the microbial biomass was 118 % and 159 % higher, respectively, in TG in relation to the TV and TM average, while superficial basal respiration was 83 % higher in TG and TV with respect to TM.

Keywords: green manure; irrigation; conventional tillage; monoculture.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso limitado, no renovable y de gran importancia ambiental, ya que otorga una serie de bienes y servicios eco-sistémicos, siendo el medio natural a través del cual se genera la producción de alimentos y de materias primas, de los cuales depende la sociedad (McBratney *et al.*, 2014). La acción humana ha provocado cambios significativos en la vegetación natural a partir del uso de la tierra y del desarrollo de sistemas productivos más sofisticados (Nosetto *et al.*, 2012), perdiendo el suelo su condición original y ocasionando diferentes procesos de degradación de las tierras con distinto grado de intensidad (Casas & Albarracín, 2015).

En la provincia de Jujuy y a partir de distintas acciones antrópicas, se han acelerado los procesos de degradación de las tierras (Torres *et al.*, 2019). Entre las mismas se destacan el mal manejo de la cubierta vegetal por sobrepastoreo o quema y la realización de un excesivo número de

labranzas en las áreas agrícolas (Torres *et al.*, 2019). En este sentido, una alta proporción de los suelos de esta provincia que se encuentran bajo agricultura, están bajo monocultivo de tabaco desde hace más de treinta años. El cultivo de tabaco y su manufactura representan una importante actividad en términos productivos, económicos y sociales para distintas economías regionales de la Argentina (MAGPN, 2011). La industria tabacalera se caracteriza por requerir mano de obra intensiva, siendo la principal actividad agropecuaria demandante de mano de obra por unidad de superficie del sector. A su vez, el tabaco es el cultivo con mayor rentabilidad en explotaciones pequeñas y en zonas donde otras especies no resultan viables ni tan rentables (MAGPN, 2011).

Arzeno *et al.* (2017) mencionaron para los Valles Templados de Salta y Jujuy, que las condiciones bajo las cuales se realiza la producción tabacalera (numerosas labranzas, falta de rotaciones, aplicación de riego en lotes con elevadas pendientes y ausencia



de obras para la sistematización de las tierras), han desencadenado importantes procesos de degradación, siendo los más frecuentes la erosión hídrica y la mineralización acelerada de la materia orgánica del suelo. Como consecuencia, se ha observado en el estrato superficial de los suelos bajo agricultura de Salta, una disminución respecto a los suelos sin disturbar, del 74 % en la estabilidad estructural, del 39 % del contenido de materia orgánica y del 40 % del nitrógeno (Arzeno *et al.*, 2012). Similares resultados se han encontrado en estudios realizados en Perico (Provincia de Jujuy) y en la EEA INTA Salta (Martínez Castillo *et al.*, 2010).

Las prácticas agrícolas como las labranzas y la rotación de cultivos, tienen una incidencia directa sobre la cantidad, calidad y tasa de descomposición de los residuos de cosecha que quedan en el campo (Zuber *et al.*, 2015), lo que a su vez está directamente relacionado con la dinámica de la materia orgánica edáfica, que es uno de los indicadores de calidad de suelo más utilizados (Lal, 2015). A su vez, el carbono orgánico juega un papel clave en los procesos del suelo, ya que está estrechamente asociado con una amplia variedad de propiedades químicas, físicas y biológicas (Smith *et al.*, 2000). Blanco Canqui *et al.* (2010) mencionaron que los impactos del cambio en la rotación de cultivos sobre las propiedades edáficas son más lentos que los generados por las labranzas, debido a que los cultivos no realizan una disrupción en el suelo tan abrupta como lo hace la maqui-

naria agrícola (Benjamin *et al.*, 2007). De esta manera, estos autores señalaron la importancia de realizar investigaciones a largo plazo, para verificar el efecto de distintas secuencias de cultivos sobre las propiedades del suelo.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar en un suelo correspondiente al Valle los Pericos (Valles Templados, Provincia de Jujuy), el efecto sobre distintos parámetros físicos, químicos y biológicos edáficos de la implementación de diferentes sistemas de manejo del cultivo de tabaco bajo labranza convencional y riego: monocultivo, rotación con gramíneas e incorporación de abonos verdes, contrastando a su vez dichos resultados con los de una situación testigo sin disturbar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características climáticas y del suelo del área de trabajo

El trabajo se realizó en el departamento El Carmen, ubicado dentro del Valle Los Pericos (Provincia de Jujuy). Las temperaturas medias de los meses más cálidos y más fríos son de 23,5 °C en enero y 12,0 °C en julio, respectivamente. El régimen de lluvias es monzónico, registrándose entre los meses de noviembre y marzo precipitaciones promedio de 600 mm, lo que representa el 83 % del total anual. Se seleccionó un área de trabajo donde de acuerdo a un relevamiento previo (CFI, 1981) la serie de suelos presente es Perico (Ustifluvente mólico) (Nadir & Chafatinos, 1990), siendo su textura franco-limosa y el material origi-



nario proveniente de depósitos aluviales derivados de rocas del terciario. Sin embargo, a partir del muestreo realizado en fincas de productores para el presente estudio, se comprobó que en promedio el suelo presente dentro de la superficie abarcada tenía en los primeros 40 cm un 16 % de arcilla, 24 % de limo y 60 % de arena (Colque, 2020).

El manejo tradicional del cultivo de tabaco consiste en su siembra en almácigo, con posterior trasplante entre agosto y setiembre, cosechándose entre diciembre y enero. La preparación del suelo comienza en junio y se basa en 1 o 2 pasadas de cincel, 1 de arado disco, 5 a 6 de rastras cruzadas y 1 rayado. Durante el cultivo se realizan 2 a 3 carpidas, a los 50 días del trasplante se hace un aporque y después de la cosecha se incorporan los rastros mediante rastra. La dosis de fertilizante granulado aplicado es de 800 a 1100 Kg ha⁻¹ de N-P-K (13-11-27).

Diseño experimental y muestreo de suelos

A mediados de noviembre de la campaña 2014/15 y después del aporque, se extrajeron muestras de suelo a dos profundidades: 0-20 cm (1) y 20-40 cm (2), en lotes de productores de tabaco con una historia de más de 30 años bajo labranza convencional y riego y con al menos 10 años bajo manejos productivos diferentes al monocultivo. Los sistemas de manejo analizados fueron: monocultivo de tabaco (TM), quedando el suelo sin cobertura desde la cosecha hasta el próximo trasplante de tabaco; rotación tabaco-gramíneas (trigo, cebada o sorgo)

(TG), difiriendo del manejo anterior ya que en años sucesivos se alternan distintos cultivos; inclusión de abonos verdes en el cultivo de tabaco (avena, trigo, centeno o sorgo) (TV), realizándose dos cultivos al año, ya que luego de la cosecha del tabaco se siembra el abono verde el cual es incorporado en mayo-junio, momento en que se inician las labores para el nuevo cultivo de tabaco. Se seleccionaron tres productores por cada manejo, tomando de cada uno de ellos una muestra compuesta de ocho submuestras para cada profundidad y dentro de un área representativa de 2 hectáreas, obteniéndose también muestras (N=3) a iguales profundidades de un suelo con características similares al evaluado en cada sistema de manejo, pero no alterado desde hace más de 30 años, representando esta una situación cuasi-prístina (T). Para los estudios biológicos las muestras fueron conservadas en heladera a 4° C hasta el momento de su análisis. Para la mayoría de las determinaciones químicas, estas fueron tamizadas en seco con un tamiz de 2 mm de abertura de malla. Todos los análisis químicos, físicos y biológicos se hicieron por triplicado.

Determinaciones realizadas

Propiedades físicas: estabilidad estructural mediante los pretratamientos de humedecimiento rápido (DMPr), humedecimiento lento (DMPI), disgregación mecánica (DMPm) y promedio (DMPp) (Le Bissonnais, 1996). En el primer caso, agregados secos de 3 a 5 mm fueron sumergidos en agua



destilada por 10 minutos, induciendo su estallido por la presión que ejerce el aire contenido en su interior. En el segundo, el humedecimiento de los agregados fue durante 60 minutos por capilaridad, mientras que en el último los agregados fueron saturados en etanol por 30 minutos, luego transferidos a un erlenmeyer con agua destilada y agitados 10 veces. El suelo proveniente de los distintos pretratamientos fue tamizado sumergido en etanol, utilizando un tamiz con abertura de malla de 50 μm . Aquellos agregados que quedaron retenidos sobre dicho tamiz, se secaron a estufa a 40 °C durante 48 h. Posteriormente, estos se tamizaron en seco en una columna de 6 tamices con las siguientes aberturas de malla: 2000 μm , 1000 μm , 500 μm , 200 μm , 100 μm y 50 μm . Con el valor del peso seco del suelo retenido en cada tamiz y el promedio de abertura de malla entre dos tamices adyacentes, se calculó el DMP de cada pretratamiento y el promedio de los tres. También se determinó la infiltración básica (Ib) superficial, utilizando para ello un permeámetro de disco (Reynolds & Elrik, 2005).

Propiedades químicas: pH (Page, 1982); conductividad eléctrica (CE) (Rhoades, 1982); nitrógeno total (NT) (método de Kjeldahl; Bremner & Mulvaney, 1982); fósforo extractable (PE) (Bray & Kurtz, 1945); carbono orgánico total (COT) (oxidación húmeda de Walkley & Black; Nelson & Sommers, 1982); carbono orgánico particulado grueso (entre 100 a 2000 μm) (COPG), fino (entre 50 a 100 μm) (COPF),

total (COPT= COPG + COPF) y el carbono orgánico asociado a la fracción mineral (< 50 μm) (COA) (Cambardella & Elliott, 1992).

Propiedades biológicas: carbono de la biomasa microbiana (CBM) (Vance *et al.*, 1987); respiración basal (RB) (Jenkinson & Powlson, 1976); cociente microbiano (CBM/COT) (Anderson & Domsch, 1989) y cociente metabólico ($q\text{CO}_2$) (Anderson & Domsch, 1990).

Análisis de resultados

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA), verificándose el cumplimiento de los supuestos requeridos (Di Rienzo *et al.*, 2009). Los resultados de las distintas variables correspondientes a los diferentes manejos, fueron comparados de manera independiente para cada profundidad de muestreo considerada (0-20 cm y 20-40 cm). Se utilizó el test de DGC (Di Rienzo, Guzmán & Casanovés) para realizar las comparaciones de medias entre los distintos tratamientos. Estos estudios se realizaron utilizando el software InfoStat versión 2015 (Di Rienzo *et al.*, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas

En la **Tabla 1** se detallan los valores medios de las variables físicas, comprobando que estos solo difirieron entre la situación testigo y el resto de las formas de manejo del cultivo de tabaco, no existiendo sobre dichas propiedades un efecto de los distintos manejos analizados.



Tabla 1: Valores promedio y desvío estándar de las variables físicas
Table 1: Average values and standard deviation of physical variables

Tratamientos	T	TM	TV	TG
Variables				
DMP_p1 (mm)	2,26 ± 0,23 b	1,14 ± 0,26 a	0,83 ± 0,10 a	0,93 ± 0,16 a
DMP_p2 (mm)	2,32 ± 0,28 b	1,51 ± 0,55 a	1,10 ± 0,29 a	1,11 ± 0,11 a
DMP_r 1 (mm)	1,44 ± 0,16 b	0,32 ± 0,03 a	0,21 ± 0,02 a	0,31 ± 0,08 a
DMP_r 2 (mm)	1,25 ± 0,37 b	0,27 ± 0,05 a	0,24 ± 0,03 a	0,30 ± 0,06 a
DMP_m1 (mm)	1,89 ± 0,68 b	0,91 ± 0,51 a	0,68 ± 0,10 a	0,72 ± 0,13 a
DMP_m2 (mm)	2,58 ± 0,20 b	1,70 ± 0,98 a	0,82 ± 0,37 a	1,09 ± 0,47 a
DMP_i1 (mm)	3,45 ± 0,27 b	2,19 ± 0,25 a	1,60 ± 0,25 a	1,76 ± 0,59 a
DMP_i 2 (mm)	3,14 ± 0,27 b	2,57 ± 0,62 a	2,26 ± 0,48 a	1,93 ± 0,20 a
Vinf (cm h⁻¹)	3,73 ± 0,32 b	0,70 ± 0,32 a	0,87 ± 0,13 a	0,37 ± 0,11 a

DMP_p: diámetro medio ponderado promedio, DMP_r: diámetro medio ponderado correspondiente al humedecimiento rápido, DMP_m: diámetro medio ponderado correspondiente a la disgregación mecánica, DMP_i: diámetro medio ponderado correspondiente al humedecimiento lento, Vinf: velocidad de infiltración superficial. 1: profundidad de 0-20 cm, 2: profundidad de 20-40 cm. T: situación testigo, TM: monocultivo de tabaco, TV: cultivo de tabaco con incorporación de verdeos, TG: cultivo de tabaco en rotación con gramíneas. Letras diferentes para una misma propiedad y profundidad indican diferencias significativas entre tratamientos. Test DGC ($p < 0,05$).

DMP_p: average mean weight diameter, DMP_r: mean weight diameter for the rapid wetting pretreatment, DMP_m: mean weight diameter for the mechanical disintegration pretreatment, DMP_i: mean weight diameter for the slow wetting pretreatment, Vinf: surface infiltration rate. 1: 0-20 cm depth, 2: 20-40 cm depth. T: control situation, TM: tobacco monoculture, TV: tobacco cultivation with green manure, TG: tobacco cultivation in rotation with grasses. Different letters for the same property and depth indicate significant differences between treatments. DGC test ($p < 0.05$).

La velocidad de infiltración del agua varió significativamente entre los suelos cultivados y sin cultivar, reportando estos últimos valores cinco veces superiores (**Tabla 1**). A su vez, los resultados de la tasa de infiltración básica de los manejos agrícolas no difirieron entre sí, ubicándose por debajo del umbral mínimo de conductividad hidráulica saturada propuesto por Reynolds *et al.* (2009), quienes sugirieron que el mismo era 1,8 cm h⁻¹, siendo el correspondiente a los suelos sin disturbio mayor a dicho valor.

El cambio en el uso de la tierra de monte nativo a pastura o agricultura, provoca modi-

ficaciones en las propiedades del suelo, causando pérdidas de materia orgánica e incrementos en la densidad aparente (Lepsch *et al.*, 2010), con consecuencias negativas sobre la infiltración (Mwendera & Saleem, 2010). La rotura de macroagregados por la acción de la lluvia en los suelos descubiertos, ha sido identificada como una de las razones que genera el taponamiento de los poros por partículas y microagregados, formando sellos superficiales (Le Bissonnais, 1996). Contrariamente, la presencia de residuos sobre el suelo previene dicha rotura y el humedecimiento rápido de



los agregados, disminuyendo la posibilidad de que se formen densificaciones superficiales que restrinjan la velocidad de infiltración Govaerts *et al.* (2007).

La labranza convencional para la implantación del cultivo de tabaco deja el suelo descubierto una parte del año, recibiendo durante dicho período el impacto directo de la gota de lluvia. A dicho efecto disruptivo se suma la acción del riego, que provoca la rotura de agregados por humedecimiento rápido (Le Bissonnais, 1996), y la de las sucesivas labores que pulverizan el suelo y favorecen la mineralización de la materia orgánica. Estas acciones promueven la formación de sellos superficiales, la falta de continuidad en los macroporos y la formación de densificaciones subsuperficiales, contribuyendo todos estos factores a una disminución de la tasa de infiltración (Taboada *et al.*, 2008), eliminando las posibles diferencias que se hayan podido generar entre los distintos manejos agrícolas analizados.

La pérdida de DMPp para los suelos bajo agricultura respecto a la situación inalterada, fue del 44 % y 57 % para el estrato superficial y más profundo, respectivamente (**Tabla 1**). Arzeno *et al.* (2017) mencionaron que mermas en esta propiedad mayores al 40 % resultan muy altas para la región bajo estudio, resaltando que se han encontrado en suelos de Salta reducciones de hasta el 74 %, debido según estos autores a las excesivas labores realizadas en el cultivo de tabaco. La falta de cobertura del suelo en una parte del año como consecuencia de la

labranza convencional, podría haber influido también sobre estos resultados. En este sentido, Govaerts *et al.* (2007) relacionaron la pérdida de estabilidad de agregados en suelos de México con la cantidad de rastros dejados en superficie, encontrando resultados de esta propiedad menos favorables al disminuir la cobertura del suelo.

Entre los pretratamientos para determinar la estabilidad estructural, el humedecimiento rápido fue el que produjo la mayor ruptura de agregados, generando en todos los casos los menores valores de DMP. Por su parte, el humedecimiento lento fue el menos agresivo, proporcionando los resultados más elevados para este parámetro, siendo intermedios los correspondientes a la disgregación mecánica. Por lo mencionado, el estallido de los agregados debido al efecto de la comprensión del aire entrampado en su interior, mostró ser el principal mecanismo de pérdida de estabilidad estructural en los suelos bajo estudio, comportamiento que cobra relevancia, en la medida que el sistema de riego utilizado genera un rápido humedecimiento del suelo, contribuyendo a una rápida y frecuente rotura de los agregados del suelo superficial. No obstante, los diferentes efectos sobre la estructura del suelo generados por los distintos procedimientos del método de Le Bissonnais (1996), no tuvieron la suficiente capacidad como para detectar posibles cambios en la estabilidad de agregados debidas a las distintas formas de manejo del cultivo de tabaco estudiadas.



Propiedades químicas

De manera diferente a lo observado con las propiedades físicas, algunas variables químicas mostraron, además de diferencias con T, un efecto significativo de la rotación con gramíneas y/o de la incorporación de abonos verdes respecto al monocultivo de tabaco (**Tabla 2, Figura 1**), siendo este comportamiento observado en el estrato superficial solo por COT 1 y COA 1, mientras que en el más profundo por el pH 2, CE 2, NT 2, COT 2, COA 2 y PE 2. En las siguientes propiedades químicas: pH 1, CE 1, NT 1, COPT 1, COPG 1 y COPF 1, solo T reportó mejores resultados respecto al resto, al mismo tiempo que para PE 1 los suelos bajo agricultura fueron los que presentaron los mayores valores. A su vez, COPT 2, COPG 2 y COPF 2 no mostraron diferencias

entre ninguno de los usos de la tierra evaluados.

El pH de los suelos bajo agricultura disminuyó en promedio un 11 % en superficie y un 8 % en profundidad, respecto con la situación testigo. Sainz Rozas *et al.* (2011) determinaron para una vasta región de la Argentina que incluyó parte de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos, valores de pH superficial (0-20 cm) en un rango similar al determinado en el presente trabajo para los suelos agrícolas. A su vez, Cantú *et al.* (2007) y Musso *et al.* (2006) reportaron para la provincia de Córdoba, disminuciones del pH superficial en los suelos agrícolas respecto a los de situaciones inalteradas, similares a las encontradas en este estudio.

Tabla 2: Valores promedio y desvío estándar para algunas variables químicas
Table 2: Average values and standard deviation for some chemical variables

Tratamientos	T	TM	TV	TG
Variables				
pH 1	7,10 ± 0,05 b	6,35 ± 0,10 a	6,30 ± 0,07 a	6,38 ± 0,10 a
pH 2	7,18 ± 0,03 c	6,57 ± 0,07 a	6,56 ± 0,02 a	6,72 ± 0,04 b
CE 1(dSm⁻¹)	0,53 ± 0,07 a	0,99 ± 0,06 b	1,21 ± 0,10 b	1,05 ± 0,18 b
CE 2(dSm⁻¹)	0,30 ± 0,07 a	0,62 ± 0,06 b	0,50 ± 0,06 b	0,39 ± 0,09 a
NT 1 (%)	0,23 ± 0,02 b	0,08 ± 0,02 a	0,11 ± 0,01 a	0,11 ± 0,01 a
NT 2 (%)	0,12 ± 0,01 b	0,08 ± 0,02 a	0,11 ± 0,01 b	0,08 ± 0,02 a
PE 1(mg kg⁻¹)	13 ± 2 a	54 ± 14,11 b	64,67 ± 16,56 b	44,33 ± 22,12 b
PE 2 (mg kg⁻¹)	9 ± 1 a	61,33 ± 4,73 b	60,33 ± 21,08 b	29 ± 14,18 a

CE: conductividad eléctrica, NT: nitrógeno total, PE: fósforo extractable. 1: 0-20 cm, 2: 20-40 cm. T: situación testigo, TM: monocultivo de tabaco, TV: cultivo de tabaco con incorporación de verdes, TG: cultivo de tabaco en rotación con gramíneas. Letras diferentes para una misma propiedad y profundidad indican diferencias significativas entre tratamientos. Test DGC (p<0,05).

CE: electrical conductivity, NT: total nitrogen, PE: extractable phosphorus. 1: 0-20 cm, 2: 20-40 cm. T: control situation, TM: tobacco monoculture, TV: tobacco cultivation with green manure, TG: tobacco cultivation in rotation with grasses. Different letters for the same property and depth indicate significant differences between treatments. DGC test (p <0,05).



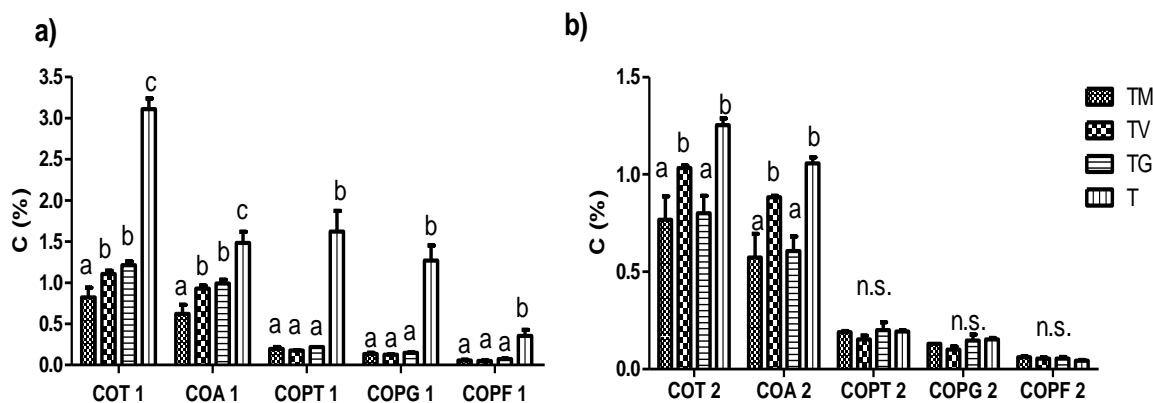


Figura 1: Resultados de las diferentes fracciones del carbono determinadas de 0-20 cm (a) y 20-40 cm(b).

Figure 1: Different carbon fractions results determined from 0-20 cm (a) and 20-40 cm (b).

COT: carbono orgánico total, COPT: carbono orgánico particulado total, COPG: carbono orgánico particulado grueso, COPF: carbono orgánico particulado fino, COA: carbono orgánico asociado, 1: 0-20 cm, 2: 20-40 cm. T: situación testigo, TM: monocultivo de tabaco, TV: cultivo de tabaco con incorporación de verdeos, TG: cultivo de tabaco en rotación con gramíneas. Letras diferentes para una misma propiedad y profundidad indican diferencias significativas entre tratamientos. Test DGC (p<0,05).

COT: total organic carbon, COPT: total particulate organic carbon, COPG: coarse particulate organic carbon, COPF: fine particulate organic carbon, COA: associated organic carbon, 1: 0-20 cm, 2: 20-40 cm. T: control situation, TM: tobacco monoculture, TV: tobacco cultivation with green manure, TG: tobacco cultivation in rotation with grasses. Different letters for the same property and depth indicate significant differences between treatments. DGC test (p < 0.05).

Este comportamiento obedecería a la fertilización continua en los manejos con cultivo de tabaco, práctica realizada durante más de 30 años. La aplicación frecuente de fertilizantes, principalmente los nitrogenados, disminuye el pH del suelo (Liebig *et al.*, 2002). La extracción de bases por parte de los cultivos, principalmente el calcio, también pudo haber contribuido a este proceso (Sainz Rozas *et al.*, 2011). En el presente trabajo, solo la secuencia de cultivos que incorporó gramíneas (TG) presentó en profundidad un pH mayor (p<0,05) respecto al de los restantes tratamientos agrícolas, siendo este resultado a su vez significativamente menor al de la situación testigo (Tabla 2).

La CE incrementó significativamente con el uso agrícola (Tabla 2). Estos resultados

son atribuibles al riego superficial implementado en la producción de tabaco en la zona bajo estudio, cuyas aguas presentan una calidad promedio C_2S_1 según Richards (1954). Por lo tanto, si bien son aptas para el riego ya que presentan bajo contenido de sodio, tienen una salinidad media que a lo largo de los años ocasionó un aumento en la CE. El impacto producido por el uso de fertilizantes también pudo haber colaborado en el desarrollo de este proceso. Arzeno *et al.* (2017) no detectaron en la producción de tabaco correspondiente a los valles templados de Salta y Jujuy, problemas de degradación de las tierras ocasionados por el uso del agua local para riego. Similares resultados a los recién detallados, reportaron Pérez Brandan & Huidobro (2011) en sistemas de monocultivo de tabaco para suelos del Valle



de Lerma (provincia de Salta). De la misma manera que con el pH, en el estrato más profundo de TG (20-40 cm) se encontraron valores intermedios de CE, entre la condición sin disturbio y los manejos TM y TV.

En el suelo superficial, COT 1 y COA 1 fueron menores en TM respecto a TG (32 % y 37 %, respectivamente) y TV (35 y 33 %, respectivamente), mientras que los valores de estos parámetros siempre fueron mayores en T (promedio: 197 % y 75 %, respectivamente) (**Figura 1a**). A mayor profundidad, NT 2, COT 2 y COA 2 fueron superiores en T y en TV, respecto a TM y TG (promedio= NT 2: 40 %; COT 2: 46 %; COA 2: 64 %) (**Tabla 2, Figura 1b**).

Pérez Brandán *et al.* (2010) al evaluar el contenido de carbono correspondiente a suelos de textura media bajo monocultivo de tabaco del Valle de Lerma (provincia de Salta), registraron disminuciones del 49 % en relación a situaciones sin disturbio. Estos autores atribuyeron estos fuertes descensos al excesivo laboreo que realizan los productores en el cultivo de tabaco, pudiendo llegar a ser entre 15 y 20 las labores realizadas por ciclo agrícola.

El período de barbecho en una secuencia agrícola, es un lapso de tiempo sin la presencia de cultivos que aporten posteriormente restos vegetales, resultando en una mayor pérdida del carbono del suelo respecto a cuando se realizan rotaciones con un mayor número de cultivos por año (Mikha *et al.*, 2010). Por su parte, las labranzas como las efectuadas en los tratamientos agrícolas analizados en el presente estudio, estimulan

las pérdidas de carbono (Mikha *et al.*, 2010) al favorecer la mezcla de los residuos vegetales con el suelo, el intercambio gaseoso, la destrucción de los agregados y la exposición del carbono protegido en su interior a la acción de los microorganismos. A su vez, el índice de cosecha del tabaco es alto (0,6), estimando que el retorno de materia seca al suelo de acuerdo a los rendimientos promedio sería de escasa magnitud. Zou *et al.* (2015) mencionaron que al comparar el tabaco con otros cultivos, dicha especie retorna pocos residuos al suelo como consecuencia de su ciclo corto, debido a que sus raíces son poco profundas y a que una gran proporción de su parte aérea es cosechada. Es por eso que el monocultivo de tabaco genera una pérdida de carbono, nitrógeno y una degradación de la estructura edáfica (Zou *et al.*, 2015).

A pesar de la intensa mineralización del carbono sufrida como consecuencia de los numerosos laboreos practicados para la implantación y desarrollo de este cultivo, TG y TV favorecieron el incremento del carbono orgánico superficial respecto al monocultivo, mientras que para TV este aumento también se manifestó en forma subsuperficial.

West & Post (2002) a partir de un análisis de varios ensayos de larga duración, concluyeron que incrementando la diversidad de cultivos o disminuyendo los largos períodos de barbecho se lograba una significativa acumulación en el carbono edáfico, llegando a un nuevo equilibrio después de 40 a 60 años. A su vez, mediante una recopilación y análisis de trabajos realizados en Australia,



Luo *et al.* (2010) determinaron que incrementando la diversidad de especies se lograba un aumento promedio en el contenido de carbono del 5,3 %, extendiendo la cantidad de cultivos de uno a dos por año la mejora era del 10,1 %, mientras que al introducir especies perennes el aumento en dicho elemento era del 17,8 %.

Llama la atención que no se hayan manifestado diferencias en el COPF y COPG entre los distintos manejos evaluados a las dos profundidades, ya que estas fracciones lábiles del carbono normalmente son utilizadas como indicadores del efecto de las prácticas de manejo sobre la calidad del suelo (Beltrán *et al.*, 2018). Chan *et al.* (2002) indicaron que la labranza reduce principalmente el COP, explicando que dicha pérdida puede ser del 80 % del total de carbono perdido. Coincidiendo con esta afirmación, en el presente trabajo no se manifestaron diferencias entre los tratamientos agrícolas en las fracciones más gruesas del carbono, pero como ya se mencionara previamente, éstas se observaron en la fracción más recalcitrante del mismo (COA).

A su vez, en este estudio se comprobó en el estrato superficial una disminución significativa del COPT1, COPG1 y COPF1 en los suelos bajo agricultura, respecto a la situación testigo (**Figura 1a**), presentando en promedio estas variables el 12 %, 11 % y 17 % respectivamente, de los valores obtenidos por T. A mayor profundidad no sucedió lo mismo, posiblemente por la existencia de un proceso de estratificación de estas propiedades en los sitios sin disturbio, algo que

no ocurrió en los manejos agrícolas. En este sentido, la relación COPT1/COPT2, COPG1/COPG2 y COPF1/COPF2 para los sitios inalterados fue en promedio 8,4, mientras que para los tratamientos con cultivo de tabaco la misma fue de 1,2.

Luego de más de 30 años de agricultura bajo labranza convencional, la merma en la concentración del COT 1 fue distinta según los tratamientos analizados (TM: 74 %; TV: 64 %; TG: 61 %). De esa pérdida y tal como lo expresaran Chan *et al.* (2002), una alta proporción fue explicada por el COPT 1 (TM: 62 %; TV: 72 %; TG: 74 %), mientras que el COA 1 incidió menos en dicha reducción (TM: 38 %; TV: 28 %; TG: 26 %). De esta manera, la merma observada en COT 1 como consecuencia del monocultivo de tabaco, ocurrió a expensas de una mayor proporción de la fracción más recalcitrante del carbono (COA), respecto a lo sucedido en los otros manejos. En el estrato subsuperficial también hubo una pérdida de COT de los suelos bajo agricultura, pero menor a lo ocurrido en superficie (TM: 39 %; TV: 18 %; TG: 36 %).

En ambas profundidades de los lotes agrícolas, se observó un proceso de acumulación del PE, incrementándose en promedio dicho elemento respecto al testigo un 318 % en superficie y un 458 % en profundidad. Similares resultados reportaron Pérez Brandan & Huidobro (2011) y Arzeno *et al.* (2008) en sistemas de producción de tabaco. Esto se debe a los reiterados aportes de este elemento como fertilizante, respecto a lo que efectivamente es utilizado por los cultivos.



Propiedades biológicas

El qCO_2 en ambos estratos y la RB superficial no mostraron diferencias significativas entre los distintos usos de la tierra evaluados (**Figura 2 b y c**). El qCO_2 resulta de la relación entre la respiración y la biomasa microbiana, generándose valores mayores como consecuencia de la actividad agrícola, debido a un mayor estrés nutricional sufrido por la comunidad microbiana (Raiesi & Beheshti, 2015). Ferreras *et al.* (2015) reportaron que el qCO_2 era modificado por cambios en el uso de la tierra, mientras que Raiesi & Beheshti (2015) determinaron aumentos en dicho parámetro a partir de la incorporación de suelos forestales de Irán a la agricultura. Sin embargo, Fernández *et al.* (2018) no encontraron sensibilidad en el cociente metabólico, como para establecer diferencias entre suelos de la región semiárida pampeana central con vegetación natural y bajo agricultura. Si bien en nuestro trabajo el análisis estadístico no mostró diferencias significativas en qCO_2 entre manejos (**Figura 2c**), se verificó una tendencia en los resultados de T y TG distinta a la de TM y TV, siendo probablemente las comunidades microbianas de T y TG más eficientes en el uso de los recursos energéticos. A mayor profundidad se verificó una tendencia similar (**Figura 2c**).

En la **Figura 2 (a y d)** se observa que TG incrementó significativamente los valores de CBM 1, CBM 2, CBM/COT 1 y CBM/COT 2 respecto a TV y TM, mientras que para RB 1 (**Figura 2b**) las diferencias se manifestaron entre TV y TG respecto a TM. Por su parte,

en la situación testigo solo el CBM 1 y RB 1 superaron al mejor valor obtenido por alguno de los tratamientos bajo cultivo, al mismo tiempo que el suelo de dicha situación de referencia no se diferenció del de TG en el CBM 2 y en la relación CBM/COT 2, como tampoco de TM y TV en la relación CBM/COT 1.

Fernández *et al.* (2018) informaron, al igual que lo ocurrido en el estrato superficial del presente estudio, que el CBM presenta una amplia diferencia entre los suelos sin cultivar y aquellos bajo agricultura. También, Fernández *et al.* (2018) y Zamora *et al.* (2005) determinaron una sustancial disminución a mayor profundidad en este parámetro. El aumento del CBM está condicionado por el contenido de materia orgánica (Zamora *et al.*, 2005), el cual generalmente es mayor en superficie que en los estratos más profundos. En el presente trabajo se observó también a la profundidad de 20 a 40 cm, una reducción de las diferencias entre manejos en el CBM 2, ya que no se encontraron a esta profundidad diferencias entre T y TG.

Pérez Brandan & Huidobro (2011) registraron en los valles templados de Lerma (provincia de Salta), valores muy superiores de CBM (entre 480 a 1040 $\mu g C g^{-1}$ de suelo) respecto a los observados en el presente trabajo. En dicho estudio se evaluaron distintos tratamientos para el cultivo de tabaco, mostrando que la mayor cantidad de rastrojo dejado en superficie favorecía la actividad microbiana.



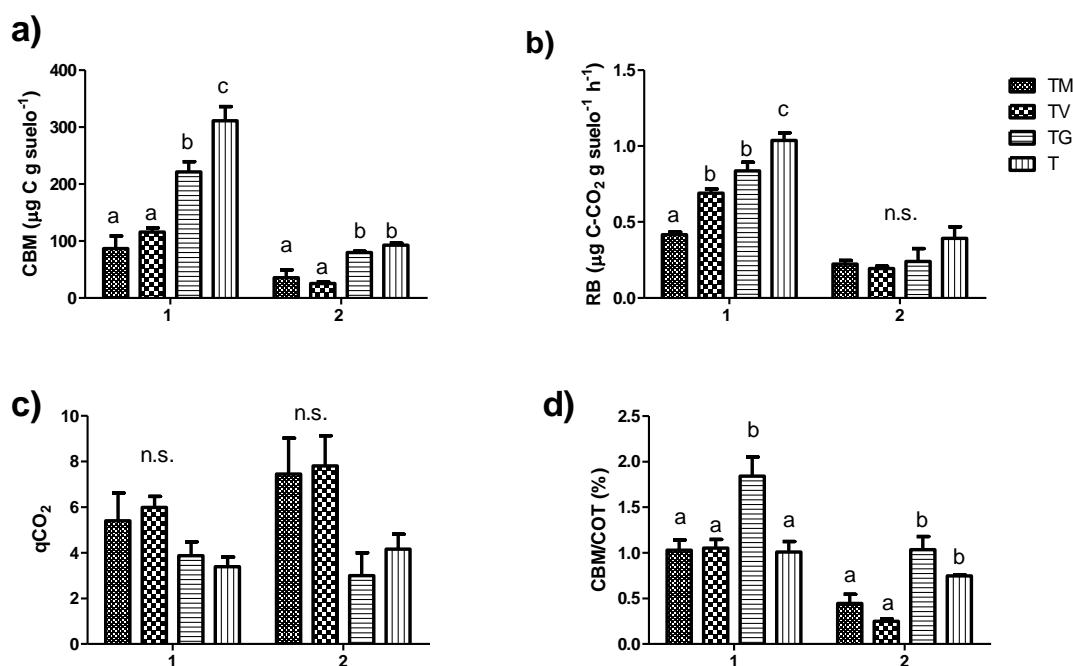


Figura 2: Resultados de las variables biológicas: a) carbono de la biomasa microbiana; b) respiración basal; c) cociente metabólico y d) cociente microbiano.

Figure 2: Biological variables results: a) carbon of the microbial biomass; b) basal respiration; c) metabolic quotient and d) microbial ratio.

CBM: carbono de la biomasa microbiana, RB: respiración basal, qCO₂: cociente metabólico, CBM/COT: cociente microbiano. 1: 0-20 cm, 2: 20-40 cm. T: situación testigo, TM: monocultivo de tabaco, TV: cultivo de tabaco con incorporación de verdeos, TG: cultivo de tabaco en rotación con gramíneas. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos. Test DGC (p<0,05).

CBM: carbon of the microbial biomass, RB: basal respiration, qCO₂: metabolic quotient, CBM/TOC: microbial ratio. 1: 0-20 cm, 2: 20-40 cm. T: tobacco situation, TM: tobacco monoculture, TV: tobacco cultivation with green manure, TG: tobacco cultivation in rotation with grasses. Different letters indicate significant differences between treatments. DGC test (p <0,05).

La RB superficial de los suelos del sistema no disturbado, superó significativamente en un 60 % a la correspondiente del suelo de TM y en un 37 % promedio a la de los restantes tratamientos. Los mayores niveles de RB superficial en el suelo de referencia, posiblemente se relacionen con una estructura de la comunidad microbiana adaptada a la mayor cantidad de sustratos fácilmente descomponibles presentes en dicho sistema, con una cantidad de raíces y producción de sustratos rizosféricos a lo largo del año más constante que los generados en el mono-

cultivo de tabaco, cuyo período de ocupación en el campo no supera los 6 meses. A su vez, la falta de disturbio en la situación de referencia, también contribuyó a una mayor actividad microbiana (Di Ciocco *et al.*, 2014). Zhu *et al.* (2014) determinaron que los exudados de raíces afectan a la actividad microbiana, ya que proporcionan la fuente de energía necesaria para mantener una alta biomasa microbiana del suelo, estimulando la mineralización de la materia orgánica. Por lo tanto, es probable que en TV este efecto rizosférico y la materia orgánica adicional



proporcionada por el abono verde y la alternancia con gramíneas en TG, hayan mejorado la funcionalidad del suelo en dichos tratamientos, incrementando la respiración de los microorganismos.

El cociente microbiano refleja la contribución de la biomasa microbiana al COT (Anderson & Domsch, 1989), e indica al mismo tiempo la disponibilidad de sustrato para los microorganismos del suelo. Los resultados de CBM/COT obtenidos en el presente trabajo, además de revelar diferencias significativas fundamentalmente entre TG y el resto de las situaciones agrícolas evaluadas, mostraron valores menores al 2% (**Figura 2d**), lo que estaría indicando que todos los manejos tendrían comprometida su materia orgánica (Anderson, 2003).

Mc Daniel *et al.* (2014) señalaron que al convertir una comunidad compleja y natural en un sistema simplificado de producción agrícola, se reduce la biodiversidad. Estos autores añadieron que los monocultivos disminuyen la actividad microbiológica debido a una limitación en la oferta de sustrato, lo cual ha sido comprobado a partir de una reducción en la tasa de respiración en dichos sistemas de producción. A su vez, la historia de rotación como el tipo de sustrato que se incorpora al suelo y sus interacciones, influyen en la biomasa microbiana y en el ciclado de nutrientes (Mc Daniel *et al.*, 2014). Por su parte, Acosta-Martínez *et al.* (2007) también determinaron mayor CBM en los primeros 5 cm del suelo, en aquellas

rotaciones con mayor grado de intensificación en la secuencia de cultivos.

CONCLUSIONES

Independientemente de la rotación agrícola implementada, los suelos con más de 30 años bajo producción de tabaco con labranza convencional y riego, mostraron mermas en casi todos los parámetros analizados respecto a la situación testigo. Sin embargo, algunas propiedades biológicas y químicas mejoraron respecto al monocultivo de tabaco, al incluir gramíneas en la rotación o con la incorporación de abonos verdes, al mismo tiempo que no hubo efecto de los distintos manejos evaluados sobre los parámetros físicos. El carbono total y el asociado a la fracción mineral superficiales respondieron favorablemente a la diversificación de cultivos, el correspondiente a la biomasa microbiana lo hizo solamente en la rotación tabaco-gramíneas, mientras que el carbono particulado no fue afectado por los distintos manejos agrícolas estudiados. Sería conveniente evaluar que sucede con la calidad edáfica ante la ampliación del período de implementación de las diferentes rotaciones analizadas, como también si una disminución en el laboreo aumenta el efecto favorable de la diversificación de cultivos sobre las propiedades estudiadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Martinez, V; S Dowd; Y Sun & V Allen. 2008. Tag-encoded pyrosequencing analysis of bacterial diversity in a single soil type as affected by



- management and land use. *Soil Biol Biochem* 40: 2762–2770.
- Anderson, T. 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agr Ecosyst Environ* 98:285-293.
- Anderson, TH & KH Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 471-479.
- Anderson, TH & KH Domsch. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.* 22: 251- 255.
- Arzeno, JL; E Corvalán; DJ Huidobro & T Rodríguez. 2017. Ecorregión Norandina. Valles Templados de Salta y Jujuy. Sistema Productivo: Intensivo Tabacalero bajo Riego. En: Manual de indicadores de calidad de suelo para las Ecorregiones de Argentina. Marcelo Wilson (ed). Ediciones INTA. PP 175 a 178.
- Arzeno, JL; E Corvalán; F Vivas; DJ Huidobro & F Ferrary Laguzzi. 2012. Indicadores de calidad de suelo en Fincas del Observatorio ambiental de Tartagal. En: XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata.
- Arzeno, JL; ER Corvalán ER; N Guardo & DC Sánchez. 2008. Residualidad del fósforo por fertilización en un suelo Ustocrepte Udico del Valle de Lerma, Salta. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis, pág. 260.
- Beltrán, MJ; H Sainz-Rozas; JA Galantini; RI Romaniuk & P Barbieri. 2018. Cover crops in the Southeastern region of Buenos Aires, Argentina: effects on organic matter physical fractions and nutrient availability. *Environ Earth Sci* 77(428):1-11.
- Benjamin, JG; M Mikha; DC Nielsen; MF Vigil; F Calderon & WB Henry. 2007. Cropping intensity effects on physical properties of a no-till silt loam. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:1160–1165.
- Blanco-Canqui, H; LR Stone & PW Stahlman. 2010. Soil Response to Long-Term Cropping Systems on an Argiustoll in the Central Great Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74:602–611
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Bremner, JM & CS Mulvaney. 1982. Nitrogeno total. In Page A.L. Ed. *Methods of soil Analysis. Part 2.* 2nd Edition. Madison, Wisc., American Society of Agronomy, pp. 595-624. (Agronomy Series no. 9).
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Cantú, MP; A Becker; JC Bedano & HF Schiavo. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del suelo*, 25(2): 173-178.
- Casas, RR & GF Albarracin. 2015. El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Fundación Ciencia, Educación y Cultura, FECIC, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- CFI (Consejo Federal de Inversiones). 1981. Relevamiento Semidetallado de suelos en el área de influencia del Dique Las Maderas y el Rio Grande provincia de Jujuy. Informe parcial N° 1 Pp. 27-36.
- Chan, KY; DP Heenan & A Oates. 2002. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil Till. Res.* 63:133–139.
- Colque, R. 2020. Indicadores de calidad de suelo en sistemas tabacaleros de Jujuy. Impacto de las prácticas de manejo. Tesis de Maestría en Ciencias del Suelo. EPG (FAUBA).
- Di Ciocco, CA; RV Sandler; LB Falco & CE Coviella. 2014. Actividad microbológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico-químicas. *Rev FCA UnCuyo* 46(1): 73-85.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; LA Gonzalez; EM Tablada; MP Díaz; CW Robledo & MG Balzarini. 2009. Estadística para las ciencias agropecuarias. 7ma ed. 372 pp.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Fernández, R; I Frasier; M Rorig; A Quiroga & E Noellemeyer. 2018. Evaluación de indicadores



- biológicos en suelos de la región semiárida pampeana central. *Ecología Austral*. 28(1): 145-156.
- Ferreras, LA; S Toresani; V Faggioli & C Galarza. 2015. Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana Argentina. *SJSS* 5(3): 220-235.
- Govaerts, B; KD Sayre; K Lichter; L Dendooven & J Deckers. 2007. Influence of permanente raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant Soil* 291:39-54.
- Jenkinson, DS & DS Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8(3): 209-213.
- Lal, R. 2015. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability* 7: 5875-5895.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability. I. Theory and methodology. *European J. Soil Sci.* 47: 425-437.
- Lepsch, IF; JRF Menk & JB Oliveira. 2010. Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in São Paulo State, Brazil. *Soil Use Manag.* 10:34-42.
- Liebig, MA; GE Varvel; JW Doran & BJ Wienhold. 2002. Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western corn belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66(2): 596-601.
- Luo, Z; E Wang & OJ Sun. 2010. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: A review and synthesis. *Geoderma* 155: 211-223
- Martínez Castillo, M; R Osinaga & JL Arzeno. 2010. Terrón Húmedo (TH5): como indicador de calidad de suelos. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario. pág 212.
- McBratney, A; DJ Field & A Koch. 2014. The dimensions of soil security. *Geoderma* 213: 203-213.
- McDaniel, MD; AS Grandy; LK Tiemann & MN Weintraub. 2014. Crop rotation complexity regulates the decomposition of high and low quality residues. *Soil Biol. Biochem.* 78: 243-254.
- Mikha, MM; JG Benjamin; MF Vigil & DC Nielson. 2010. Cropping Intensity Impacts on Soil Aggregation and Carbon Sequestration in the Central Great Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74(5): 1712-1729.
- MAPGPN. 2011. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Impacto regional del convenio marco para el control de tabaco (FCTC). Cuantificación del impacto económico y social en las provincias productoras de tabaco. Impacto regional del convenio marco para el control del tabaco. - 1a ed. - Buenos Aires.
- Musso, TB; MP Cantú & AR Becker. 2006. Indicadores químicos de calidad de suelos. Un set mínimo para Hapludoles de la cuenca del Aº La Colacha. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo pp 5.
- Mwendera, EJ & MAM Saleem. 2010. Infiltration rates, surface runoff, and soil loss as influenced by grazing pressure in the Ethiopian highlands. *Soil Use Manag.* 13: 29-35.
- Nadir, A & T Chafatinos. 1990. Los suelos del NOA (Salta y Jujuy). Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina.
- Nelson, DW & L Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter 1. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 539-579.
- Nosetto, MD; EG Jobbagy; AB Brizuela & RB Jackson. 2012. The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. *Agr Ecosyst Environ* 154: 2- 11
- Page, AL. 1982. Ed. Methods of soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd Edition. Madison, Wisc. USA, American Society of Agronomy (Agronomy Series no. 9).
- Pérez Brandán, C & J Huidobro. 2011. Efecto del monocultivo de tabaco (*Nicotiana tabacum*) sobre algunos parámetros biológicos en suelos del Valle de Lerma. Congreso Nacional de Ecología y Biología de Suelos. Mar del Plata.
- Pérez Brandán, C; J Huidobro; C Conforto; JL Arzeno; G March; J Merites & S Vargas Gil. 2010. Impacto de los sistemas de labranza sobre indicadores biológicos de calidad de suelo. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo - Rosario. pág. 67.



- Raiesi, F & A Beheshti. 2015. Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands. *Ecol Indic* 50:173–185.
- Reynolds, WD & DE Elrick. 2005. Measurement and Characterization of Soil Hydraulic Properties. En: J Alvarez-Benedí & R Muñoz Carpena (Eds). *Soil water solute process characterization. An integrated approach*. CRC Press. Chapter 6. 197-147 pp.
- Reynolds, WD; CF Drury; CS Tan; CA Fox & XM Yang. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma* 152: 252-263.
- Rhoades, JD.1982. Soluble salts. *Methods of soil analysis*. Part, 2(2): 167-178.
- Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and álcali soils. *USDA Agricultural Handbook* 60, 160p.
- Sainz Rozas, HR; HE Echeverría & HP Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del Suelo* 29:29-37
- Smith, OH; GW Petersen & BA Needelman. 2000. Environmental indicators of agroecosystems. *Adv. Agron.* 69: 75-97.
- Taboada, MA; EG Micucci & CR Alvarez. 2008. Impedancias mecánicas y compactación de suelos agrícolas. En: *Fertilidad física de los suelos*. Taboada, MA y CA Alvarez (eds). Editorial Facultad de Agronomía (UBA) pp: 94-154
- Torres, CF; GS Fernandez & LG Diez Yarade. 2019. Provincia de Jujuy. En: *Manual de Buenas Prácticas de Conservación del Suelo y del Agua*. Tomo 1. PROSA-FECIC. Casas R & F Damiano (ed). Pp 443-474.
- Vance, ED; PC Brookes & DS Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19 (6):703-707.
- West, TO & WM Post. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1930–1946.
- Zamora, F; JP Mogollón & N Rodríguez. 2005. Cambios en la biomasa microbiana y la actividad enzimática inducidos por la rotación de cultivos en un suelo bajo producción de hortalizas en el estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias* 5(1):62-70.
- Zhu, B; JLM Gutknecht; DJ Herman; DC Keck; MK Firestone & W Cheng. 2014. Rhizosphere priming effects on soil carbon and nitrogen mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 76: 183–192.
- Zou, CM; RC Pearce; JH Grove & MS Coyne. 2015. Conservation practices in tobacco production increase large aggregates and associated carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 79 (6): 1760–1770.
- Zuber, SM; GD Behnke; ED Nafziger & MB Villamil. 2015. Crop rotation and tillage effects on soil physical and chemical properties in Illinois. *Agron. J.* 107: 971–978.

