



CALIDAD DE SUELOS BAJO DIFERENTES ESQUEMAS DE MANEJO EN FINCAS TABACALERAS DE LOS VALLES TEMPLADOS DE JUJUY

Colque, R.A.^{1,*}, M.G. Castiglioni², R.M. Romianuck³

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy, raul_a_colque@fca.unju.edu.ar; ² Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires; ³ Instituto de Suelos INTA Castelar.

RESUMEN: El cultivo de tabaco requiere numerosas labores mecánicas para su implantación, provocando como consecuencia un deterioro físico, químico y biológico del suelo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar en una serie de suelo característica 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) y la incorporación de abonos verdes (TV), tomando como referencia una situación con bajo disturbio (T). Se utilizaron dos formas de construcción de un índice de calidad del suelo (ICS). A partir de resultados de distintas propiedades físicas, químicas y biológicas edáficas obtenidos a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm), en lotes con más de treinta años de producción de tabaco bajo labranza convencional, se determinó un conjunto mínimo de indicadores de calidad de suelo. Se realizó un análisis de varianza univariado (ANVA) para todas las propiedades analizadas y solamente aquellas con $p < 0,05$ y $CV < 40\%$ fueron retenidas para la construcción de los ICS. Se hizo un análisis de componentes principales considerando en forma conjunta a todas las variables seleccionadas (ICSPA) o agrupando a estas en físicas, químicas o biológicas (ICSPB). Los ICS calculados para la serie Perico registraron la misma sensibilidad, sin obtener diferencias entre ambas formas de cálculo. La situación sin disturbio fue la que obtuvo el mayor valor del ICS, seguida por el tratamiento TG, el cual logró un resultado superior a los obtenidos por TM y TV, sin encontrar diferencias en el ICS entre estas dos últimas alternativas de manejo.

PALABRAS CLAVE: monocultivo – verdeo - rotación y calidad de suelos

INTRODUCCION

La calidad del suelo se relaciona con su capacidad para proveer las condiciones para un buen desarrollo de los ecosistemas (Idowu et al., 2009; Bone et al., 2014; Balota et al., 2015), así como para obtener la mejor eficiencia productiva. Esta característica implica interrelacionar los diferentes atributos químicos, físicos y biológicos del suelo, de tal modo que se genere la capacidad de describir los procesos del ecosistema en un indicador que explique su mejor funcionamiento (Andrews et al., 2002; Gugino et al., 2009). Para ello se han propuesto varios marcos conceptuales para el monitoreo de la calidad del suelo (Andrews et al., 2004; Velásquez et al., 2007; Nosrati, 2013; Veum et al., 2014). Los índices de calidad de suelo (ICS) se definen como un "conjunto de parámetros que cuando se interrelacionan, proporcionan datos numéricos sobre la capacidad de un suelo para realizar sus funciones, resumiendo en un único valor un grupo de variadas y complejas propiedades que representan las características del suelo" (Andrews et al., 2002; Navas et al., 2011; Muñoz-Rojas, 2018). La construcción de índices de calidad de suelo mediante el análisis de componentes principales, es un método objetivo que a la hora de elegir un conjunto mínimo de indicadores, utiliza una serie de herramientas estadísticas para evitar la redundancia de datos (Andrews, et al., 2002; Doran y Parkin, 1996). Se basa principalmente en un enfoque objetivo, ya que el procedimiento estadístico seleccionará un bajo número de parámetros de suelo necesarios para calcular el ICS, en función de las variaciones presentes en todo el conjunto de datos. El

objetivo del trabajo fue construir dos índices de calidad para un suelo característico del Valle los Pericos (Provincia de Jujuy), que permitan evaluar los efectos de distintas prácticas de manejo aplicadas al cultivo de tabaco, determinando aquel uso de la tierra que genera menor deterioro del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el departamento El Carmen dentro del Valle Los Pericos, área núcleo donde se desarrolla la actividad tabacalera en la provincia de Jujuy. El suelo bajo estudio corresponde a la serie Perico, que es un Ustifluente mólico (Nadir y Chafatinos, 1990). El muestreo se realizó para la campaña 2014/15, en forma posterior al aporque, 80 días después del trasplante, en nueve establecimientos que producen tabaco según tres manejos distintos: monocultivo (TM), rotación con gramíneas (TG) o la incorporación de abonos verdes (TV). También se tomaron muestras de tres situaciones sin disturbar (T). En cada establecimiento se tomó una muestra compuesta por 8 submuestras dentro de un área representativa de 2 hectáreas y a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). Se determinaron las siguientes variables físicas, químicas y biológicas: Estabilidad estructural: a partir de la metodología propuesta por Le Bissonais (1996), calculando el diámetro medio ponderado (DMP) para cada uno de los pretratamientos. A su vez se obtuvo el DMP promedio (DMP_p), que consiste en promediar los resultados de los tres pretratamientos; Densidad aparente (D_a): método del cilindro (Burke et al., 1986); Textura: por densimetría (Boyucos, 1927); Resistencia a la penetración (RP): se utilizó un penetrómetro digital (Fieldscout SC900); Velocidad de infiltración (V_{inf}): se empleó un permeámetro de disco; pH actual (relación suelo: agua de 1:2.5); Conductividad eléctrica (CE): potenciométricamente; Nitrógeno total (NT): Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982); Fósforo extractable (PE): Bray y Kurtz (1945); Carbono orgánico total (COT): Walkley y Black; Stock de carbono (Stock C): se estimó aplicando la metodología propuesta por Solomon et al., (2002) a fin de realizar comparaciones entre masas equivalentes de suelo, efectuando las correcciones por profundidad equivalente; Carbono orgánico particulado: se realizó un fraccionamiento físico de las muestras de suelo, usando la metodología propuesta por Cambardella y Elliott (1992), así se obtuvieron una fracción gruesa (105-2000 μm) en la que se encuentra el carbono orgánico particulado grueso (COPG); una fracción media (53-105 μm) constituida por el carbono orgánico particulado fino (COPF) y la fracción fina (< 53 μm) la cual contiene el carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COA); Cationes intercambiables: Ca y Mg por complexometría, K y Na por fotometría de llama; Carbono de la biomasa microbiana (CBM): método de fumigación extracción propuesto por Vance et al. (1987). Respiración basal (RB): según lo propuesto por Jenkinson y Powlson (1976); Cociente microbiano (CBM/COT): relación del CBM y el COT; Cociente metabólico (qCO_2): a partir de la combinación de las mediciones de RB y CBM.

Construcción de los índices

Para la construcción del índice de calidad de suelo se aplicó la metodología original propuesta por Andrews et al. (2002) de introducción conjunta de variables, y la modificada por Romaniuk et al. (2011) de introducción de variables en forma separada de acuerdo a sus características físicas, químicas y biológicas. En primera instancia se realizó un análisis de varianza univariado (ANVA) para todas las propiedades analizadas. Aquellas que obtuvieron un valor de $p < 0,05$ y $CV < 40$ fueron retenidas para su posterior análisis. En una segunda instancia se efectuó un análisis multivariado de componentes principales (ACP) (ver Tabla 1), considerando en forma conjunta a todas las variables seleccionadas (A) o agrupando a estas en físicas, químicas o biológicas (B). Para la selección final de los indicadores se procedió de la siguiente manera: Se consideraron sólo las componentes principales (CP) con autovalores mayores a 1y que explicaran al menos 10% de la variabilidad del modelo. Dentro de cada CP seleccionado, se correlacionaron las variables para verificar posibles redundancias. Los indicadores físicos, químicos y biológicos que forman parte del índice fueron ponderados utilizando los resultados derivados del ACP. Finalmente, para comparar la sensibilidad de los índices obtenidos, se determinó su valor para cada situación de manejo de suelo y de acuerdo a los dos procedimientos de cálculo ya manifestado. Sobre estos resultados se realizó análisis

de varianza y prueba de comparaciones múltiples (DGC) con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de calidad de suelo Perico A (ICSP A)

A partir del análisis de componentes principales (Tabla 1) tomando en forma conjunta las variables físicas, químicas y biológicas (ICSP A), quedaron seleccionados el CP 1 y CP 2. El primero explicó un 64% y el segundo un 18% de la variabilidad total del modelo. De las propiedades incluidas dentro del CP 1, quedaron seleccionadas COPT 1, COA 1, COPG 1, COT 1, pH 1, pH 2, NT 1, CBM 1, Stock C1 y DMP_p 1, siendo el COT 1 la propiedad que presentó la mayor suma de correlaciones. El resto se descartó por presentar un coeficiente de correlación mayor a 0,7 con el COT 1. Dentro del CP 2 quedaron CBM/COT 2, Na 1 y Ca 2, quedando finalmente seleccionado el CBM/COT 2. De esta manera el ICSP A quedo conformado de la siguiente manera:

$$\text{ICSP A} = 0,78 * \text{COT 1} + 0,22 * \text{CBM/COT 2}$$

Tabla 1. Autovalores para las CPs seleccionadas en cada caso y autovalores para las variables físicas, químicas y biológicas en la serie de suelo Perico. Proporción: proporción de la variabilidad explicada por cada CP.

Análisis de componentes principales												
Variables Consideradas	Físicas		Químicas		Biológicas		Físicas		Químicas		Biológicas	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
CP												
Autovalores	16,85	4,85	2,62	0,98	12,5	3,25	3,42	1,04				
Proporción	0,63	0,18	0,65	0,22	0,68	0,18	0,68	0,21				
	Autovectores											
DMP _p 1	0,22	0,02	0,6	-0,1								
DMP _p 2	0,2	0,1	0,54	0,03								
ARENA 2	0,06	-0,26	0,29	0,92								
Da2	-0,21	-5,6*10 ⁻⁴	-0,51	0,37								
COPT 1	0,23	0,06			0,28	-0,01						
COA 1	0,22	-1,1*10 ⁻³			0,25	2*10 ⁻³						
COPG 1	0,23	0,06			0,28	-0,01						
COT 1	0,24	0,04			0,29	-4,6*10 ⁻³						
stock C 1	0,24	0,03			0,29	-0,02						
pH1	0,23	-0,01			0,27	-0,11						
CE 1	-0,21	0,05			-0,24	0,15						
Na 1	-0,07	0,37			-0,06	0,52						
NT 1	0,24	0,04			0,28	-8,2*10 ⁻⁴						
PE 1	-0,2	0,11			-0,22	0,25						
COA2	0,18	0,24			0,22	0,29						
COT 2	0,19	0,22			0,23	0,28						
pH2	0,24	-0,06			0,27	-0,14						
CE 2	-0,2	0,1			-0,22	0,11						
Ca 2	0,03	0,39			0,05	0,44						
Mg 2	0,16	0,29			0,2	0,28						
NT 2	0,15	0,25			0,19	0,33						
PE 2	-0,2	0,17			-0,22	0,24						
CBM 1	0,22	-0,15					0,49	-0,22				
RB 1	0,21	-0,07					0,45	-0,44				
CBM/COT 1	-0,04	-0,34					0,26	0,82				
CBM 2	0,19	-0,22					0,52	-0,08				
CBM/COT 2	0,1	-0,35					0,46	0,29				

COPT: carbono orgánico particulado total, COA: carbono orgánico asociado, COPG: carbono orgánico particulado grueso, COT: carbono orgánico total, CE: conductividad eléctrica, Ca: calcio, Mg: magnesio, Na: sodio, K: potasio, NT: nitrógeno total, PE: fósforo extractable, DMP_p: diámetro medio ponderado promedio, Da: densidad aparente, RP: resistencia a la penetración, V_{inf}: velocidad de infiltración, CBM: carbono de la biomasa microbiana, RB: respiración basal, CBM/COT: coeficiente microbiano, qCO₂: coeficiente metabólico. CP: componentes principales. 1: 0-20 cm, 2: 20-40 cm.

Índice de calidad de suelo Perico B (ICSP B)

Al realizar el análisis de componentes principales (Tabla 1) de las propiedades físicas, químicas y biológicas de manera separada (ICSP B), en el ACP de las variables químicas tanto la CP 1 como la CP 2 presentaron un autovalor mayor a 1. El CP 1 explico el 67 % de la variabilidad del modelo, mientras que el CP 2 lo hizo en un 18 %. En el CP 1 quedaron retenidos los siguientes parámetros: COPT 1, COPG 1, COT 1, pH 1, pH 2, NT 1 y Stock C1, efectuándose con los mismos el análisis de correlación. El COT1 obtuvo la mayor suma de correlaciones, mientras que el resto de las variables presentó coeficientes de correlación mayores a 0,7 con el COT1 y por lo tanto no fueron retenidas. En el CP 2 quedó solo el Na 1. Sin embargo, debido a que el Na presentó valores entre 0,34 y 0,66 Cmol₍₊₎ kg⁻¹, siendo los mismos niveles adecuados y que no afectarían el normal crecimiento del tabaco (Ballari, 2005) ni las funciones edáficas, se decidió no incluir esta variable dentro del índice de calidad de suelos. Los valores de pH reportados en estos suelos bajo cultivo (pH: 6,3 a 6,72) reflejan que el Na no estaría representado un problema para el normal funcionamiento edáfico. En el ACP de las variables físicas, el CP1 logró explicar un 84 % de la variabilidad total del modelo, quedando retenidas el DMP_p 1 y Vel_{inf}. Entre estas, el DMP_p 1 presentó mayor autovalor por lo cual fue el parámetro seleccionado. El mismo procedimiento se realizó para las variables biológicas, donde el CP1 presentó una proporción de la variabilidad del 68 % y el CP 2 de un 21 %. CBM 1 y CBM 2 fueron retenidas en el CP 1, quedando seleccionada CBM 2 por presentar un autovalor mayor que CBM 1 y estar correlacionada con la misma. En el CP 2 la única propiedad retenida fue CBM/COT 1. De esta manera el ICSP B quedo conformado de la siguiente manera:

$$\text{ICSP B} = \text{COT 1} + \text{DMP}_p \text{ 1} + (0,76 * \text{CBM 2} + 0,24 * \text{CBM/COT 1})$$

Comparación de los índices de calidad de suelo

En la Figura 1 (a y b) se presentan los valores de los índices de calidad de suelo ICSP A y ICSP B, obtenidos para las distintas situaciones estudiadas en la serie Perico. A partir de su análisis, queda en evidencia que las labranzas continuas, el poco aporte de materia seca dejado por el cultivo de tabaco y probablemente también el sistema de riego implementado, han deteriorado la calidad del suelo, ya que en todos los casos la situación de referencia (T) presentó mayores valores de calidad de suelo que los tratamientos bajo cultivo. En la Figura 1 (a) se presentan los resultados del índice de calidad de suelo obtenidos mediante el ICSP A. Como se dijera previamente, dicho índice logró establecer diferencias significativas entre los lotes bajo cultivo y la situación de referencia. A su vez y dentro de los lotes bajo agricultura, se pudo separar el efecto del sistema de manejo del cultivo de tabaco en rotación con gramíneas (TG) del resto, obteniendo TG un valor mayor en el índice, no existiendo diferencias entre TM y TV. El indicador con mayor peso en los resultados obtenidos para este índice fue COT 1. Este parámetro contribuyó prioritariamente a mostrar las diferencias entre los suelos cultivados respecto a la situación de referencia, mientras que la relación CBM/COT 2, con menor peso relativo dentro del índice, representó principalmente las diferencias existentes entre TG y los restantes sistemas bajo agricultura. En la Figura 1 (a) se comprueba un incremento de este indicador en TG respecto a TM y TV. En la Figura 1 (b) se presentan los resultados obtenidos mediante el uso del ICSP B. Este índice aportó las mismas diferencias ya observadas con el ICSP A. En este caso, las desigualdades entre los suelos cultivados y el testigo fueron mayormente atribuibles al COT 1 y al DMP_p 1, mientras que entre los distintos sistemas de conducción del tabaco, el CBM 2 fue el que fundamentalmente logró separar el comportamiento de TG respecto a TM y TV. También se observa en la Figura 1 b, un ligero pero mayor valor de CBM/COT 1 en TG. En el análisis de varianza se demostró que este parámetro fue significativamente mayor en TG respecto a los restantes suelos cultivados.

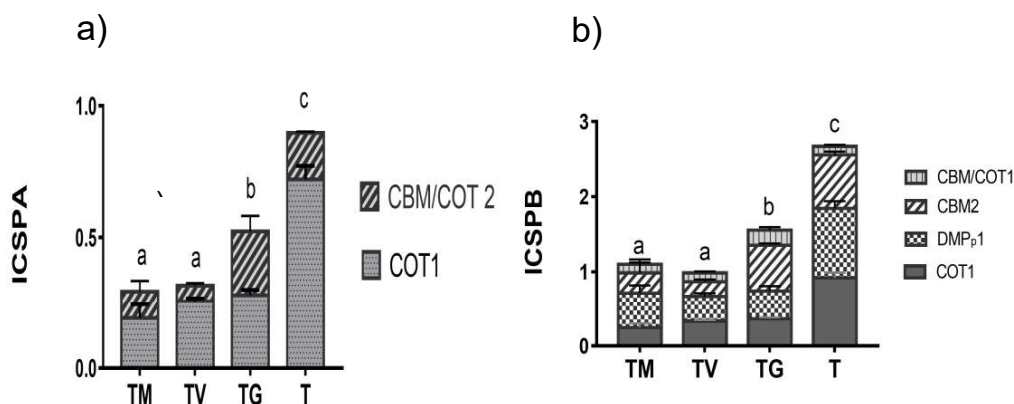


Figura 1. Resultados de los índices de calidad de suelo (serie Perico), contruidos para las distintas situaciones bajo estudio. (a) ICSP A, (b) ICSP B. COT: carbono orgánico total, CBM: carbono de la biomasa microbiana, CBM/COT: coeficiente microbiano. DMP_p: diámetro medio ponderado promedio. T: situación testigo, TM: monocultivo de tabaco, TV: incorporación de verdes dentro del cultivo de tabaco, TG: cultivo de tabaco con rotación de gramíneas. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). 1: 0-20 cm, 2: 20-40 cm.

Al comparar ambos índices (ICSP A y ICSP B), se aprecia que la incorporación de las variables por grupos (físicas, químicas y biológicas) no produjo variaciones en su capacidad para discriminar entre los distintos tratamientos bajo agricultura. Sin embargo, el ICSP B permitió incorporar el efecto de los distintos manejos en la calidad física del suelo, lo cual es de suma importancia a la hora de identificar la incidencia de las diferentes prácticas sobre la calidad integral de los suelos, y de esa manera poder plantear a futuro manejos que reviertan estos daños.

CONCLUSIONES

Los índices calculados y evaluados en esta serie de suelo (ICSP A y B) registraron la misma sensibilidad, es decir ambos lograron diferenciar estadísticamente de la misma manera las distintas situaciones bajo estudio.

Independientemente del método de construcción de índice utilizado, se destaca a TG como aquel tratamiento que tuvo un menor y significativo nivel de degradación edáfico respecto a las otras formas de manejo del cultivo de tabaco.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrews, SS; DL Karlen & JP Mitchell. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, ecosystems & environment*, 90(1): 25-45.
- Andrews, SS; DL Karlen & CA Cambardella. 2004. The Soil Management Assessment Framework: A Quantitative Soil Quality Evaluation Method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1945-1962.
- Ballari, MH. 2005. Tabaco Virginia: Aspectos ecofisiológicos de la nutrición en condiciones de cultivo. Editorial Alejandro Graziani, Córdoba, Argentina.
- Balota, E.L; I Yada; H Amaral; A Nakatani; M Hungria; R Dick & M Coyne. 2015. Soil quality in relation to forest conversion to perennial or annual cropping in southern Brazil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 39:1003-1014.
- Bone, J; D Barraclough; P Eggleton; M Head; D Jones & N Voulvoulis. 2014. Prioritising soil quality assessment through the screening of sites: the use of publicly collected data. *Land Degradation Develop.* 25:251-266.
- Bouyoucos, GJ. 1927. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 23: 343-352.

- 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. Nitrogen 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).
- Burke, W; D Gabriels & J Bouma. 1986. *Soil structure assessment: AA Balkema.* Rotterdam, Netherlands, 30-31.
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Doran, JW & TB Parkin. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Idowu, O.J., H.M van Es, G.S. Abawi, D.W. Wolfe, R.R. Schindelbeck, B.N. Moebius-Clune, and B.K. Gugino. 2009. Use of an integrative soil health test for evaluation of soil management impacts. *Renew Agric. Food Syst.* 24:214-224.
- Idowu, OJ; HM van Es; GS Abawi; DW Wolfe; RR Schindelbeck; BN Moebius-Clune & BK Gugino. 2009. Use of an integrative soil health test for evaluation of soil management impacts. *Renew Agric. Food Syst.* 24:214-224.
- Jenkinson, D S & D S Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: A method for measuring soil biomass. *Soil biology and Biochemistry*, 8(3): 209-213.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability. I. Theory and methodology. *European J. Soil Sci.* 47: 425-437.
- Muñoz-Rojas, M. 2018. Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 47-52.
- Nadir, A & T Chafatinos. 1990. *Los suelos del NOA (Salta y Jujuy).* Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.
- Navas, M; M Benito; I Rodríguez & A Masaguer. (2011). Effect of five forage legume covers on soil quality at the Eastern plains of Venezuela. *Applied Soil Ecology*, 49, 242-249.
- Nosrati, K. 2013. Assessing soil quality indicator under different land use and soil erosion using multivariate statistical techniques. *Environ. Monit. Assess.* 185:2895-2907.
- Romaniuk, R; L Giuffre & R Rosario. 2011. A soil quality index to evaluate the vermicompost amendments effects on soil properties. *Journal of environmental protection.* ISSN: 2152-2197. Vol 2, N°5: 502-510.
- Solomon, D; F Fritzsche; J Lehmann; M Tekalign & W Zech. 2002. Soil organic matter dynamics in the subhumid agroecosystems of the Ethiopian highlands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:969-978. doi:10.2136/sssaj2002.0969.
- Vance, ED; PC Brookes & DS Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19 (6):703-707.
- Velásquez, E; P Lavelle & M. Andrade. 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.* 39:3066-3080.
- Veum, KS; KW Goyne; RJ Kremer; RJ Miles & KA Sudduth. 2014. Biological indicators of soil quality and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum. *Biogeochemistry* 117:81-99.