

ÍNDICES DE CALIDAD DE SUELOS BAJO DIFERENTES MANEJOS

Dalurzo, Humberto C.¹, Paredes, Federico A.^{2,3}, Simón, Carlos¹, y Guzowski, Micaela I.¹

¹ Manejo y Conservación de Suelos, F.C.A.-UNNE; ² Edafología, FCA-UNNE; ³ INTA EEA Corrientes

* Autor de contacto: dalurzo@agr.unne.edu.ar; Fac. de Ciencias. Agrarias. Sgto Cabral 2131 (3400), Corrientes, Argentina; +54379 4427589 int 151. Universidad Nacional del Nordeste.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue analizar el efecto de seis años de sistemas de labranzas y rotaciones sobre las variaciones de algunas propiedades del suelo en un Argiudol ácuico de Corrientes que sean posibles indicadores de calidad. En un ensayo con diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial, se compararon sistemas de labranzas: convencional (LC), reducida (LR) y siembra directa (SD) y secuencias de cultivos con alternancias de cultivos, donde el sexto año se evaluaron cuatro rotaciones: un cultivo/año (Maiz-Descanso); dos cultivos (Maiz-Descanso-Avena); tres cultivos (Maiz-Caupí-Avena) y una pastura (*Paspalum atratum*). Se determinó: densidad aparente, resistencia mecánica (RM), infiltración básica (IB), conductividad hidráulica (CH), estabilidad de agregados (EA), materia orgánica (MO), materia orgánica particulada total (MOP), y sus fracciones. Se aplicó análisis factorial identificando las variables de mayor peso y se retuvieron seis factores, explicando el 76% de la variabilidad. En el Factor 1 (F1) las mayores comunidades ($>0,7$) y autovectores ($>0,6$) correspondieron a la MOP (0,989), seguida en el F3 por la infiltración (0,9). El F6 presentó a la RM (-0,613) como el mayor autovector. Entre las variables que presentaron elevadas comunidades figuraron la MOP (0,9) la infiltración (0,81). En el análisis de variancia de los factores halló significación estadística el F1 ($P<0,0001$), el F3 ($P<0,0029$) y el F6 (0,0003). El análisis discriminante de factores, señaló que los más eficientes, basados en la magnitud de sus coeficientes discriminantes, fueron los Factores con significación estadística. El análisis discriminante de los atributos del suelo señaló que la RM, MOP e IB presentaron mayor importancia dentro de cada ecuación obtenida, definiéndose entre algunos de los indicadores de calidad de relevancia. Las labranzas y rotaciones influyeron sobre la RM, la MOP, y la IB, caracterizándolos como posibles indicadores de calidad para estimar la evolución del suelo ante diferentes manejos del suelo.

Palabras clave: Manejo de suelos, Análisis Multivariado, sostenibilidad

INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos es una consecuencia de prácticas tradicionales, como el monocultivo y la agricultura intensiva que provocan la pérdida de la materia orgánica, la destrucción de la estructura (Lal, 2010), la formación de sellos superficiales, la compactación subsuperficial que comprometen la posterior productividad del suelo y la sostenibilidad del medio ambiente, aumentando la susceptibilidad a procesos erosivos.

El uso prolongado de sistemas de labranzas (SL) muy agresivos como arados y rastras con alta frecuencia e intensidad de laboreo puede provocar un deterioro de las propiedades del suelo con la disminución de la MO que es proporcional a la agresividad del SL del suelo (Lal, 2014).

La labranza convencional (LC) incide sobre la descomposición de la MO, al exponer el suelo al aire, al sol y el viento, a diferencia de prácticas conservacionistas como la labranza reducida (LR) y la siembra directa (SD) que protegen la superficie del suelo al impacto de las gotas de lluvia y moderan el efecto de los ciclos de mojado y secado, por la protección de los residuos en superficie (Denef *et al.*, 2001).

El sistema de SD se implementa en alrededor de un 80% de la superficie de la Argentina, llegando en el año 2015 a unas 33 millones de has, y se considera como un manejo conservacionista por sembrar directamente sin remover el suelo, manteniéndolo con una cobertura permanente de residuos que favorecen la acumulación de MO, especialmente cuando también se aplican rotaciones de cultivos dentro el paquete tecnológico (Derpsch, 2010).

Las propiedades y procesos edáficos que resulten sensibles a los cambios en las funciones del suelo pueden considerarse como indicadores de calidad (Doran & Jones, 1996). Ellos permitirían determinar el estado de degradación o

reconversión de los suelos para lo cual es importante establecer índices de calidad (Zornoza *et al.*, 2008) a fin de aseverar la bondad de una práctica de manejo y la promoción de las mismas para asegurar la sostenibilidad de un agroecosistema.

Franzluebbers (2002) citó que el carbono orgánico total (CO) resultó un índice relacionado a los dos primeros espesores del suelo. Generalmente el espesor superficial estuvo más fuertemente influenciado por el manejo, como los SL y los cultivos, que el segundo. En cambio, Rey Montoya *et al.*, (2017) hallaron en otras propiedades del suelo como la resistencia mecánica (RM) que mejoró de 7-20 cm de profundidad, bajo SD, donde fue menor respecto a la LC y la LR. Igualmente sucedió con las secuencias de cultivos, donde las rotaciones de cultivos con sistemas de raíces pivotantes como el algodón presentaron menores valores de RM que ante cultivos de maíz.

Con respecto a los atributos de suelo que pudieran ser indicadores de calidad, Bronik & Lal (2005) concluyeron que los residuos de los cultivos mejoraron la estabilidad de los agregados (EA) e Iglesias *et al.*, (2017) en un ensayo de LC y SD de larga duración (9 años) en un Arguidol Típico de la provincia de Buenos Aires, encontraron una estrecha relación de los contenidos orgánicos que mostraron el mismo comportamiento que la EA superficiales mayores de 2,8 mm. En cambio, Giubergia *et al.*, (2010) comparando LR y SD hallaron dicha relación, pero con agregados de 1-2 mm de un ensayo de 13 años de duración en un Haplustol Entico.

Si bien muchas propiedades del suelo pueden presentar diferencias significativas entre tratamientos permitiéndonos inferir que son posibles indicadores de calidad, al aplicar análisis multivariados podríamos reducir el número de atributos a considerar (Dalurzo, 2002). El análisis factorial multivariado, es una técnica que permite analizar simultáneamente variables correlacionadas y es usado con frecuencia para evaluar la sostenibilidad de sistemas de manejo e identificar indicadores de calidad de suelos (Wander & Bollero, 1999; Bredja *et al.*, 2000a, b; Dalurzo, 2002; Shukla *et al.*, 2006). Al considerar las variables conjuntamente, este análisis permite definir relaciones que no fueron previstas durante el análisis univariado (James & McCulloch, 1990), y permite agrupar diferentes propiedades del suelo en pocos factores.

El objetivo del trabajo fue analizar el efecto de seis años de sistemas de labranzas y rotaciones sobre las variaciones de algunas propiedades del suelo en un Argiudol Ácuico, de familia arcillosa, mixta, hipertérmica de Corrientes que sean posibles indicadores de calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria Corrientes del INTA sobre un Argiudol Ácuico de la Serie Treviño. Son moderadamente bien drenados, encharcables por períodos cortos. Presenta un epipedón mólico, de textura franco arenosa, con un argílico (Bt) de textura franco arcillo arenosa, fuertemente estructurado. Poseen fértiles moderada, con valores medios de materia orgánica y bases de cambio y pobres contenidos en fósforo. El diseño fue en parcelas completamente aleatorizadas de 140 m² con cuatro repeticiones, donde cada tratamiento correspondió a la combinación de sistemas de labranza y secuencia de cultivos, con arreglo factorial (3x4) como se indica en la Tabla 1.

Los factores fueron: a) Sistemas de labranzas, con tres niveles: labranza convencional (LC), labranza reducida (LR) y siembra directa (SD); y b) secuencia de cultivos, con cuatro niveles: Maíz amarillo (Mz)-Descanso (D); Algodón (A)-Descanso (D); Maíz amarillo (Mz)-Avena negra (Av), Algodón (A)-Avena negra (Av). Estas rotaciones de cultivos se aplicaron por cuatro años. El quinto se sembró *Mucuna pruriens* (Mu) y el sexto se emplearon cuatro alternativas de: un cultivo por año (Mz-D), dos cultivos por año (Mz-D-Av), tres cultivos por año Mz-Caupi (Ca)-Av y el uso de una pastura perenne de Pasto Cambá, *Paspalum atratum* (Pa). Los tratamientos fueron doce, con cuatro repeticiones y totalizaron 48 unidades experimentales.

En el sexto año se determinó: Densidad aparente por el método de cilindros no alterados de 0-7 y de 7-20 cm de profundidad (Pla, 1983); Resistencia mecánica a la penetración con penetrómetro de impacto (Pla, 1983) de: 0-7 cm, 7-20 cm y 20-30 cm. Simultáneamente se determinó humedad gravimétrica en las mismas profundidades; Infiltración de agua por el método de los anillos concéntricos, de 30 cm y de 50 cm de diámetro (Pla, 1983). Se tomaron muestras compuestas de suelos que fueron secadas al aire y tamizadas (2 mm) para la realizar las siguientes determinaciones: Distribución del

tamaño de partículas del suelo con el método hidrométrico (Pla, 1983); Estabilidad de agregados por el método de Kemper & Rosenau (1986) en muestras no alteradas sacadas con pala; pH: potenciométricamente en agua destilada (1:2,5); conductividad hidráulica a flujo saturado (CH) por el método de (Montenegro González *et al.*, 1990); materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black modificado (Nelson & Sommers, 1996); Materia orgánica particulada total (MOP) de 2-0,05 mm (Cambardella & Elliot, 1999) determinando las fracciones de 2-0,5 mm (MOPa) y de 0,5-0,05 mm (MOPb). Con los datos obtenidos se aplicaron análisis multivariados para interpretar la relación entre las variables de suelo observadas. Se usó el análisis factorial, y análisis discriminante para reducir la complejidad de los datos al construir un subespacio de dimensión reducida (SAS Institute, 2004), identificando los factores y las variables de mayor peso entre las estudiadas. Para los análisis se utilizó el software Statistical Analysis System Versión 9.1. (SAS Institute Inc., 2004).

Tabla 1: Tratamientos evaluados: LC: labranza convencional, LR: labranza reducida, SD: siembra directa, Mz: maíz amarillo, A: algodón, Av: avena negra, D: descanso. Esta secuencia de rotaciones se aplicó durante cuatro años. En el 5º año se sembró Mucuna (Mu); y en el 6º año las secuencias fueron con un cultivo por año: Mz-D; dos cultivos por año: Mz-D-Av; y tres cultivos por año: Mz-Caupi (Ca) – Av y una pastura perenne de Pasto Cambá (Pa).

		Factores	Nº de cultivos por campaña en el último año de las rotaciones
Sistemas de labranzas	Rotaciones	Tratamientos	
Labranza Convencional	Mz-D-A-D- Mu- Mz - D	LC Mz-D-A-D- Mu- Mz - D	1 cultivo
	Mz-Av-A-Av- Mu- Mz/D-Av	LC Mz-Av-A-Av- Mu- Mz-D-Av	2 cultivos
	A-Av-Mz-Av- Mu- Mz/Ca-Av	LC A-Av-Mz-Av- Mu- Mz-Ca-Av	3 cultivos
	A-D-Mz-D- Mu- Pa	LC A-D-Mz-D- Mu- Pa	Pastura perenne implantada
Labranza Reducida	Mz-D-A-D- Mu- Mz-D	LR Mz-D-A-D- Mu- Mz-D	1 cultivo
	Mz-Av-A-Av- Mu- Mz/D-Av	LR Mz-Av-A-Av- Mu- Mz/D-Av	2 cultivos
	A-Av-Mz-Av- Mu- Mz/Ca-Av	LR A-Av-Mz-Av- Mu- Mz/Ca-Av	3 cultivos
	A-D-Mz-D- Mu- Pa	LR A-D-Mz-D- Mu- Pa	Pastura perenne implantada
Siembra Directa	Mz-D-A-D- Mu- Mz - D	SD Mz-D-A-D- Mu- Mz - D	1 cultivo
	Mz-Av-A-Av- Mu- Mz/D-A	SD Mz-Av-A-Av- Mu- Mz/D-A	2 cultivos
	A-Av-Mz-Av- Mu- Mz/Ca-Av	SD A-Av-Mz-Av- Mu- Mz/Ca-Av	3 cultivos
	A-D-Mz-D- Mu- Pa	SD A-D-Mz-D- Mu- Pa	Pastura perenne implantada

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con las variables estandarizadas se aplicó un análisis de correlación donde la mayoría de las variables presentaron elevada correlación entre sí (datos no presentados) con $P < 0,05$ (SAS Institute, 2004).

En la Tabla 2 se presentan los datos obtenidos del análisis factorial luego de aplicar una rotación Varimax. En ella puede verse, para cada factor, sus autovalores o valores propios, el porcentaje de variabilidad explicada por cada factor y la variabilidad acumulada.

En base a los autovalores se retuvieron hasta el Factor 6 (F6) con un valor de 1,07. Los seis primeros factores explicaron el 76% de la variabilidad (Tabla 2). Para la construcción de los índices fueron seleccionados los autovalores mayores a 1 a fin de preservar la mayor parte de la variación original (Husson *et al.*, 2011).

Los vectores específicos de los seis factores retenidos del modelo factorial, luego de dicha rotación presentaron magnitudes entre +1 y -1 (Tabla 2). Para su interpretación se consideró de especial relevancia a las variables con valores mayores o iguales a 0,7, ya sea positivo o negativo (Jeffers, 1967) con alta correlación (Bramardi, 2009).

En el Factor 1 (F1) las mayores comunidades y autovectores con valores $>0,6$ surgieron la materia orgánica particulada total (0,989) y sus dos fracciones: MOPb de 0,5-0,05 mm (0,836) y MOPa de 2-0,5 mm (0,641) que cumple la función del suministro de nutrientes a las plantas debido a ser la primera en descomponerse como resultado del laboreo. No obstante ello, un requisito para mantener la sostenibilidad a largo plazo es incrementar el almacenaje de MO del suelo, especialmente las fracciones lábiles (Doran & Smith, 1987). En SD se hallaron mayores valores promedios de MOP ($4,8 \text{ mg g}^{-1}$) que en LC y LR ($4,3$ y $4,2 \text{ mg g}^{-1}$ respectivamente). Igualmente se obtuvieron mayores valores de las fracciones MOPa y MOPb en SD respecto a los otros sistemas de labranzas.

Tabla 2: Modelo factorial de rotación Varimax (SAS Institute, 2004) con los autovectores de los seis primeros factores.

Variables	Factores						Comunalidad
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
Materia Orgánica (MO)	0,090	-0,221	0,087	0,651	-0,154	0,191	0,549
MOPa de 2-0,5 mm	0,641	-0,155	-0,034	0,065	0,365	0,091	0,581
MOPb de 0,5-0,05 mm	0,836	0,083	-0,046	-0,020	-0,213	-0,016	0,754
MOP total de 2-0,05 mm	0,989	-0,035	-0,054	0,026	0,075	0,046	0,992
Densidad aparente (Da)	0,072	-0,147	-0,190	-0,272	0,775	0,031	0,738
Resistencia Mecánica (RM)	0,144	0,093	0,404	-0,141	0,099	-0,613	0,599
Infiltración básica (IB)	0,054	0,910	0,195	-0,080	-0,041	0,067	0,881
Infiltración inicial (A)	-0,086	-0,080	0,900	-0,039	0,005	0,038	0,827
Tasa de infiltración (n)	-0,001	0,872	-0,416	-0,046	0,010	0,080	0,942
Conductiv. hidráulica (CH)	0,017	0,198	-0,199	-0,079	0,067	0,831	0,780
Humedad equivalente (HE)	0,048	0,064	-0,139	0,859	0,079	-0,145	0,790
Estabilidad Agregados (EA)	0,148	0,161	0,321	0,220	0,688	-0,058	0,676
Autovalores	2,29	1,88	1,47	1,24	1,16	1,07	
Proporción	0,19	0,16	0,12	0,10	0,10	0,09	
Acumulados	0,19	0,35	0,47	0,57	0,67	0,76	
ANOVA P < F	0,0001	0,164	0,0029	0,612	0,396	0,0003	

A continuación las variables que presentaron las mayores comunidades fueron variables relacionadas a la entrada del agua en el suelo contrapuesta al escurrimiento del agua y al riesgo de erosión del suelo (Pla, 2010). La tasa de infiltración (0,942), la infiltración básica (0,881) y resultaron con los mayores autovectores o eigenvalores en el F2 (0,910 y 0,872 respectivamente) y la infiltración inicial logró el autovector más elevado del F3 (0,9) con una elevada communalidad de 0,827.

La humedad equivalente, correspondiente al máximo contenido de agua retenida por el suelo, y la conductividad hidráulica a flujo saturado fueron las variables de mayores comunidades (0,79 y 0,78 respectivamente). La HE presentó un relevante peso en base a los autovectores logrados en el F4 (0,859) junto con la MO (0,651).

En el F5 los autovectores más importantes fueron la Da (0,775) fundamental para el crecimiento y exploración de raíces en el suelo y la EA (0,688) para la retención del agua para las plantas, y en el F6 la CH (0,831) junto con la RM (-0,613).

El F1 explicó el 19% de la variación y se relacionó con los contenidos orgánicos del suelo. En el F2 se explicó el 16% de la variación y manifestó el mayor peso a la entrada del agua al suelo que fueron los autovectores más relevantes, mientras que el F3, explicó el 12% de la variación, influyendo todas esas variables en evitar la escorrentía del agua y la erosión hídrica (Tabla 2) y el resto de los factores explicaron aproximadamente alrededor del 10% de la variación cada uno.

En análisis de variancia de los factores para las muestras de 0-7 cm de profundidad se encontró significación estadística en los factores F1, relacionado a la fracción liviana de la materia orgánica, en el F3 y en el F6, relacionados a la entrada de agua y al movimiento de ésta dentro del perfil como a la RM del suelo para el crecimiento de las raíces, como respuesta al sistema de labranzas y las rotaciones empleadas (Tabla 2).

El F1 fue acorde a los mayores valores de MOP y de la fracción de MOPb hallados en SD y con los sistemas de R4 con pastura ($P < 0,0001$).

La MOP o fracción liviana de la materia orgánica (Gregorich & Janzen, 1996) posee un tiempo de descomposición que varía de unos pocos años a varias décadas y fue señalada como un promisorio indicador de calidad de suelos. La materia orgánica particulada presenta mucha variación ante el cambio de las prácticas de manejo. Cambardella & Elliott (1992) hallaron que el C de la materia orgánica particulada de suelos sometidos a labranza cero fue 50% mayor que para los sistemas de labranza y barbecho desnudo en el Oeste de Nebraska.

En los siguientes factores (Tabla 2) se presentaron atributos relacionados al movimiento de agua en el perfil como los más representativos tanto en el F3 ($P < 0,0029$) como en el F6, junto a la RM ($P < 0,0003$).

El análisis discriminante de los seis factores, señaló que los más eficientes para diferenciar entre los sistemas de labranzas y de rotaciones, basados en la magnitud de sus coeficientes discriminantes, se relacionaron con los Factores que presentaron significación estadística (Tabla 2):

El F1 fue relacionado con atributos como la fracción liviana resultante de los restos de los rastrojos de los cultivos en rotación y del sistema de labranza del suelo que influyeron en la descomposición (Ecuación [1]).

$$Y_1 = 0,64 (\text{Factor 1}) + 0,01 (\text{Factor 2}) - 0,49 (\text{Factor 3}) + 0,35 (\text{Factor 4}) + 0,38 (\text{Factor 5}) + 0,55 (\text{Factor 6}) \quad [\text{Ec. 1}]$$

Contribuyeron en la discriminación de las poblaciones de los diferentes tratamientos las siguientes Ecuaciones [2], con el mayor coeficiente para el F6 y en la Ecuación [3], el F3:

$$Y_2 = 0,71 (\text{Factor 6}) - 0,55 (\text{Factor 1}) + 0,45 (\text{Factor 2}) - 0,08 (\text{Factor 3}) - 0,32 (\text{Factor 4}) - 0,06 (\text{Factor 5}) \quad [\text{Ec. 2}]$$

$$Y_3 = 0,84 (\text{Factor 3}) + 0,33 (\text{Factor 1}) - 0,06 (\text{Factor 2}) + - 0,20 (\text{Factor 4}) + 0,23 (\text{Factor 5}) + 0,30 (\text{Factor 6}) \quad [\text{Ec. 3}]$$

El empleo del análisis discriminante de las variables de suelo, permitió aumentar la presión de selección y restringir el número de indicadores de calidad con un orden de prioridades e importancia. Este análisis con los parámetros del suelo para definir la calidad del mismo y su uso sostenible se caracterizaron con las siguientes ecuaciones:

$$Y_4 = 0,73 (\text{resistencia mecánica}) - 0,56 (\text{materia orgánica particulada}) + 0,17 (\text{infiltración básica}) \quad [\text{Ec. 4}]$$

$$Y_5 = 0,82 (\text{materia orgánica particulada}) + 0,70 (\text{resistencia mecánica}) - 0,08 (\text{infiltración básica}) \quad [\text{Ec. 5}]$$

$$Y_6 = 0,98 (\text{infiltración básica}) + 0,19 (\text{materia orgánica particulada}) - 0,07 (\text{resistencia mecánica}) \quad [\text{Ec. 6}]$$

Los atributos RM, MOP, e IB, en base a los coeficientes de cada atributo en las ecuaciones 4, 5 y 6, en todos los casos fueron superiores, y presentaron prácticamente la mayor importancia dentro de cada ecuación, definiéndose entre algunos de los indicadores de calidad de relevancia para la profundidad de 0-7 cm.

La RM presentó diferencias significativas entre los niveles de SL en las profundidades 0-7 cm con valores ligeramente mayores en SD (0,25 MPa) que LC y LR con 0,21 y 0,22 MPa respectivamente ($P<0,045$). Los coeficientes de variación fueron de 28%. A mayores profundidades la SD presentó inversamente menores valores (0,88 MPa) respecto a LC y LR (ambas aproximadamente de 1 MPa) de 7-20 cm de profundidad ($P<0,028$). De 20-30 cm se ampliaron las diferencias entre tratamientos, hallándose los menores valores en SD (1,27 MPa) contra valores superiores a 1,53 MPa en los tratamientos con laboreo, pero sin significación estadística, probablemente relacionado a elevados coeficientes de variación en dicho espesor de suelo (56%) situación característica para dicho parámetro.

La mayor infiltración básica se obtuvo en el tratamiento con SD ($2,41 \text{ cm h}^{-1}$) respecto a los tratamientos con LC y LR ($2,17$ y $2,36 \text{ cm h}^{-1}$) con un coeficiente de variación de los datos analizados de dicha profundidad de 61,25%.

CONCLUSIÓN

Los sistemas de labranzas y rotaciones influyeron directamente sobre la materia orgánica particulada, la infiltración del agua en el suelo y la resistencia mecánica a la penetración de raíces. Ello contribuyó a considerar que dichos atributos sean posibles indicadores de calidad del suelo para conocer la evolución del suelo ante diferentes manejos del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bramardi, S. 2009. Métodos de Análisis Multivariados. Curso de Posgrado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste – Universidad Nacional del Comahue.
- Brejda, JI; DL Karlen; JL Smith; DL Allan. 2000a. Identification of Regional Soil Quality Factors and Indicators. II. Northern Mississippi Loess Hills and Palouse Prairie. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:2125–2135.
- Brejda, JI; TB Moorman; DL Karlen & TH Dao. 2000b. Identification of Regional Soil Quality Factors and Indicators. I. Central and Southern High Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:2115–2124.
- Cambardella, CA and ET Elliott. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Cambardella, CA; AM Gajda; JW Doran, BJ Weinhold, and T Kettler. 1999. Estimation of particulate and total organic matter by weight loss-on-ignition. In R. Lal, J.F. Kimble and R.F. Follet (Eds). Carbon methods. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Dalurzo, HC. 2002. Agregado de Residuos Orgánicos en Suelos Ferralíticos. Efecto sobre variables que estiman sustentabilidad. Tesis para optar por el título de Magister Scientiae – Área: Ciencia del Suelo. Escuela para Graduados Alberto Soriano. 237 pp.

- Denef, K; J. Six; H Bossuyt; SD Frey; ET Elliott; R Merckx & K Pautsian. 2001. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1599-1611.
- Derpsch, R; T Fiedrich; A Kassam & H. Li. 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits, *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 3.
- Doran, JW & A Jones. 1996. Methods for assessing soil quality. SSSA Special Publ. 49. Soil Sci. Soc. Am. J. Inc. Madison, WI.
- Doran, JW & TB Parkin. 1996. Quantitative Indicators of Soil Quality. P. 25-37. En: J. W. Doran & A.J. Jones (Eds.). *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
- Doran, JW & M S Smith. 1987. Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients p. 53-72. In R.F. Follet *et al.*, (Ed.) *Soil fertility and organic matter as critical components of production systems*. ASA Spec. Publ. 19. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Franzluebbers, AJ. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66:93-106.
- Iglesias, JO; JA Galantini & A. Vallejos. 2017. Estabilidad de agregados de un Argiustol del So Bonaerernse con diferentes sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 35(2): 189-203.
- Giubergia, JP; M Basanta; I Garino & E Lovera. 2010. Estabilidad estructural de um Haplustol éntico con diferentes labranzas y secuencias de cultivos. *XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Rosario Argentina. CD.
- Gregorich, EG; & HH Janzen. 1996. Storage of soil carbon in the light fraction and macroorganic matter. p. 167-190. In M.R. Carter & B.A. Stewart (Eds), *Structure and soil organic matter storage in agricultural soils*. Lewis Publishers. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Husson, F; S Lê & J Pagès. 2011. Exploratory multivariate analysis by example using R Computer science & data analysis series. Taylor and Francis Group/CRC Press. Boca Raton, 228 p.
- James, FC& CE McCulloch. 1990. Multivariate Analysis in ecology and systematic: Panacea or Pandora's box? *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 21:129-166.
- Jeffers, JMR. 1967. Two case studies in the application of Principal Component Analysis. *Applied Statistics*. Vol 16: 225-236.
- Kemper, WD & RC Rosenau. 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. Pp. 425-442. In: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. *Agronomy Monograph N°9*, 2nd ed. Am. Soc. Agron. & Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI. USA.
- Lal, R. 1991. Soil conservation and biodiversity. En: *Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*. (Ed.) Hawksworth. The CAB International, London.
- Lal, R. 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop Sci.* 50: 120-131.
- Montenegro González, H; D. Malagón Castro & L Guerrero. 1990. *Propiedades Físicas de los Suelos*. Subdirección Agrológica. I.G.A.C. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Bogotá, Colombia. 813 p.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter p. 961-1010. In J.M. Bigham (Ed.). *Methods of soil analysis Part 3. Chemical Methods*. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Publ. Rev. Agron. Alcance n°32*. Maracay (Venezuela). 90 pág.
- Rey Montoya, TS; FA Paredes; HC Dalurzo; C Fernández López & R Kersting. 2017. Propiedades físicas de un Arguidol Ácuico bajo diferentes sistemas de manejo. *Ciencia del Suelo* 35 (1): 171-180.
- SAS Institute Inc. 2004. *SAS/STAT® Versión (9.1)* (TS1M3). Copyright (c) 2002-2003 by SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. Proprietary Software Version (9.1).
- Shukla, MK; R Lal, & M Ebinger. 2006. Determining Soil Quality Indicators by Factor Analysis. *Soil Till. Res.* 87:194–204.
- Yakovchenko, V; LJ Sikora, & DD Kaufman. 1996. A biologically-based indicator of soil quality. *Biol. Fert. Soils* 21: 245-251.
- Zornoza, R; J Mataix-Solera; C Guerrero; V Arcenequi; J Mataix-Beneyto & I Gómez. 2008. Validating the effectiveness and sensitivity of two soil quality indices based on natural forest soils under Mediterranean conditions. *Soil Biology & Biochemistry*, 40: 2019-2087.