EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE UN PALEUDOL MEDIANTE EL ANÁLISIS INTEGRADO DE UN CONJUNTO DE INDICADORES

Novillo, B. V.[1,*], Baridón, J. E.[1], Fernández, F. [1], Vezzosi, D. [1], Alconada Magliano, M.[1], Dukart, T.[1].

[1] Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. * Calle 60 y calle 120 s/n, La Plata, (CP 1900), Prov. de Buenos Aires, barbinovillo@gmail.com

RESUMEN: El uso de indicadores permite monitorear el funcionamiento normal del suelo, sus cambios y determinar tendencias de deterioro o mejora en la calidad de este. El objetivo del presente trabajo fue la evaluación de la calidad de un suelo identificado como Paleudol, mediante el análisis integrado de un conjunto de indicadores. Se compararon dos secuencias de cultivo en lotes linderos, Lote 5 (L5) y Lote 7 (L7), ambos realizados bajos SD, comparándolos con un testigo (T) equivalente a la posible situación prístina del suelo., en tres profundidades, de 0-5cm, 5-10cm y 10-20cm. Se determinaron: pH; conductividad eléctrica; carbono orgánico oxidable (COo); carbono particulado fracción gruesa (COpg) y fracción fina (COpf); estabilidad estructural (EE) a través del valor del diámetro medio ponderado (DMP) de los agregados y fósforo extractable, y se conformó un conjunto mínimo de indicadores (CMI) de calidad de suelo, con "valores iniciales" (VI) obtenidos del T y valores umbrales (Vu) para realizar un monitoreo y detección de posibles impactos negativos, efectuando una sistematización de los indicadores, normalizando los datos obtenidos, según una escala de 0 a 8. De 0-5cm en L5 se evidencia la diminución del carbono oxidable (Coo), de su fracción asociada a partículas gruesas y la correspondiente a partículas finas, la cual se correlaciona en forma directa con la pérdida de estabilidad estructural de los agregados, y en L7 hay una disminución de Pext consistente con un manejo sin reposición. De 5-10cm, tanto en L5 como en L7 se produjeron modificaciones negativas en la estabilidad estructural. De 10-20cm continua la perdida de estabilidad estructural para ambos lotes. En esta profundidad también se ve una disminución del CO hasta los Vu. Se puede concluir que el CMI ha puesto de manifiesto diferencias significativas entre los efectos de dos secuencias de cultivos distintas, en un Paleudol vértico.

PALABRAS CLAVE: calidad de suelo, indicadores, secuencia de cultivos.

INTRODUCCION

Si bien existen varias definiciones para la "calidad del suelo", adoptaremos el concepto que asocia a la misma con la capacidad que tiene un suelo de cumplir con ciertas funciones. Estas son: promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y favorecer la salud de las plantas, animales y humanos. Al momento de considerar si un sistema de manejo es sustentable en el corto y largo plazo se hace indispensable evaluar la calidad del suelo, lo cual puede realizarse mediante el empleo de indicadores.

Un "indicador" es una variable o proceso que es capaz de resumir, simplificar o incluir información proveniente de otras variables, haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible, mediante la cuantificación y comunicación en forma comprensible. Las principales funciones de los indicadores son: evaluar condiciones o tendencias, comparar

transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras (Wilson et al., 2017).
La temática de indicadores de calidad de suelos no es nueva, sin embargo, su aplicación en el monitoreo de la calidad del suelo frente a distintos sistemas productivos y manejos resulta más reciente. Arshad y Martín (2002), señalan que distintas regiones agroecológicas requieren la selección de un conjunto de indicadores propios y sus límites críticos (valores umbral), estableciendo líneas de referencia para reflejar impactos positivos o negativos en el ambiente. Estos permitirían monitorear el funcionamiento normal del suelo, sus cambios y determinar tendencias de deterioro o mejora en la calidad de este. Rezaei et al. (2006) definen a un conjunto mínimo de indicadores como un grupo reducido de variables capaz de sintetizar la mayor parte de la variabilidad total de un suelo en un sitio determinado, debiendo estas ser transformadas en valores estandarizados, para unificar sus unidades.
El establecimiento “Don Joaquín”, perteneciente a la FCAyF (UNLP) sigue modelos productivos reales donde se realizan prácticas agrícolas/ganaderas. Estas impactan en forma distinta sobre el recurso suelo, resultando indispensable realizar el seguimiento de la calidad de este en los distintos ambientes del paisaje.
El objetivo del presente trabajo fue la evaluación de la calidad de un suelo identificado como Paleudol, mediante el análisis integrado de un conjunto de indicadores.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en el establecimiento “Don Joaquín”, ubicado en la localidad de General Mansilla, perteneciente a la Universidad Nacional de La Plata.
Se realizó el estudio sobre un suelo con uso mixto, agrícola ganadero, con rotación de cultivos, pasturas y eventuales pastoreos rotativos.
Se compararon dos secuencias de cultivo en lotes linderos, Lote 5 (L5) y Lote 7 (L7), ambos realizados bajos SD, comparándolos con un testigo (T) equivalente a la posible situación prístina del suelo.
El lote 5 corresponde a un manejo de agricultura continua, con un predominio de maíz, soja ocasional y un único barbecho, y el lote 7 presenta una rotación más diversificada, con mayor ocurrencia de barbecho, un cultivo de invierno y tres años con pastura de alfalfa.
El período de análisis de las secuencias comprendió entre el ejercicio económico-productivo 2010/2011 al 2021/2022.
En cada caso analizado se tomaron tres muestras compuestas con tres profundidades de muestreo (0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm, todas comprendidas en el horizonte A) al final de las rotaciones. Se determinó: pH; método potenciométrico: conductividad eléctrica; carbono orgánico oxidable (COo) por el método de Walkley-Black; carbono particulado fracción gruesa (COpg) y fracción fina (COpf) (Galantini, 2005); estabilidad estructural (EE) a través del valor del diámetro medio ponderado (DMP) de los agregados por el método de Le Bissonnais y fósforo extractable (Bray Kurtz N°1). Los resultados se analizaron por ANOVA y test de Tukey ($p<0,05$) con el programa InfoStat v. 2018.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se observa que las variables pH, y Da no presentaron diferencias significativas entre los valores medios correspondientes a las distintas situaciones de manejo; razón por la cual se las excluyó de los siguientes análisis. Esto concuerda con Dalurzo et al. (2001) que encuentra que el pH es uno de los indicadores que menos se ve influenciado por distintos manejos del suelo. De esta manera se conformó un conjunto mínimo de indicadores de calidad de suelo (CMI) que quedó integrado por: carbono orgánico oxidable y sus fracciones particuladas, la estabilidad de los agregados medida a través de diámetro medio ponderado de los mismos, el contenido de fósforo extractable y la conductividad eléctrica.

Tabla 1. Resumen de valores medios de los indicadores.

	Testigo	Lote 5	Lote 7

	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
pH	5,89 a	5,92 a	6,07 a	5,89 a	5,7 a	5,98 a	6,14 a	5,84 a	5,65 a
CE	0,99 a	1,02 a	0,95 a	1,31 b	1,64 b	0,92 a	1,85 c	1,36 ab	0,87 a
Dap	1,05 a			1,08 a			1,02 a		
DMP (mm)	2,83 a	2,50 a	2,05 a	1,77 b	1,80 b	0,91 b	2,09 a	2,19 a	1,18 b
COo ($g.kg^{-1}$)	46,4 a	31,5 a	24,3 a	39,1 b	32,8 a	24,5 a	44,1 a	32,2 a	26,6 a
COpg ($g.kg^{-1}$)	10,0 a	3,4 a	1,2 a	5,4 b	3,1 a	0,7 a	11,6 a	2,7 a	1,0 a
COpf ($g.kg^{-1}$)	12,3 a	7,0 a	3,5 a	9,2 ab	7,3 a	3,3 a	9,1 ab	7,1 a	3,3 a
P ext	35,1 b			143,5 c			21,6 a		

Letras distintas señalan diferencias significativas entre las medias a una misma profundidad de muestreo ($p<0.05$)

A fin de analizar el efecto de los manejos sobre la calidad del suelo dominante en L5 y L7 resulta indispensable establecer una línea base o de partida para los indicadores que se utilizan. En nuestro caso definimos como “valores iniciales” (VI) a aquellos obtenidos en muestras bajo alambrado (T). Para realizar un monitoreo y detección de posibles impactos negativos también se requiere el establecimiento de valores umbrales (Vu). Es decir, fijar aquellos niveles o valores que un indicador no debería exceder. Los valores umbrales (Vu) se fijaron a partir de antecedentes bibliográficos y consultas a expertos.

Tabla 2. Resumen de valores medios de los indicadores.

INDICADOR	UNIDAD	Método de determinación	Valores iniciales (Vi)			Valores umbrales (Vu)		
			0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
COo	$g.Kg^{-1}$	Walkley Black	46,4	31,5	24,3	6,0 (min)**		
COpg	$g.Kg^{-1}$	Galantini (2005)	10,0	3,4	1,2	3,3	1,1	1,1
COpf	$g.Kg^{-1}$	Galantini (2005)	12,3	7,0	3,5	6,1	3,5	2,1
EE (dmp)	mm	Le Bissonnaises (1996)	2,83	2,50	2,05	0,5*		
CE	dS.m-1	Conductimetría	0,99	1,02	0,95	3*		
P ext	$mg.Kg^{-1}$	Bray Kurtz 1	35,1			15*		

* Antecedentes y consulta a expertos.
**Valor mínimo de CO total establecido como requisito para un epipedón mólico (NRCS, 2014).

Al trabajar con un CMI que está integrado por indicadores representados por variables que se miden en distintas unidades y poseen diferentes escalas, surge la necesidad simplificar y unificar la información. Con esta finalidad se efectuó una sistematización de los indicadores, normalizando los datos obtenidos, según una escala de 0 a 8. La escala se estimó individualmente, para cada indicador, considerando niveles de referencia óptimos y críticos. La Tabla 3 presenta las escalas utilizadas para la normalización de los datos analíticos.

Tabla 3. Criterio normalización de datos analíticos.

COo [g.kg^{-1}]		Cpf [g.kg^{-1}]		Cpg [g.kg^{-1}]		EE [DMP en mm]		CE [dS.m^{-1}]		Pext [mg.kg^{-1}]	
< 5	0	<1	0	< 0,5	0	<0,5	0	≥4	0	< 5	0
5 a 9,9	1	1 a 3	1	0,5 a 1,9	1	0,5 a 0,8	1	3,5 a 3,9	1	5 a 9,9	1
10 a 14,9	2	3,1 a 6	2	2 a 2,9	2	0,9 a 1,2	2	3 a 3,4	2	10 a 14,9	2
15 a 19,9	3	6,1 a 8	3	3 a 3,9	3	1,2 a 1,5	3	2,5 a 2,9	3	15 a 19,9	3
20 a 24,9	4	8,1 a 10	4	4 a 4,9	4	1,6 a 1,9	4	2 a 2,4	4	20 a 24,9	4
25 a 29,9	5	10,1 a 12	5	5 a 5,9	5	2 a 2,3	5	1,5 a 1,9	5	25 a 29,9	5
30 a 34,9	6	12,1 a 14	6	6 a 6,9	6	2,4 a 2,7	6	1 a 1,4	6	30 a 34,9	6
35 a 39,9	7	14,1 a 16	7	7 a 7,9	7	2,8 a 3,1	7	0,5 a 0,9	7	35 a 40	7
>40	8	>16	8	≥8	8	>3,1	8	< 0,5	8	>40	8

La valoración de la calidad de suelo en los distintos usos se realizó utilizando un diagrama de estrella junto a valores iniciales y umbrales para el CMI.

En la Figura 1 se observa a los 6 indicadores que integran el CMI distribuidos en el diagrama gráfico. El polígono en color verde (Vi) representa a los valores iniciales del suelo (T). En forma similar el polígono rojo representa los valores umbrales, límites que no deberían ser alcanzados por los indicadores.

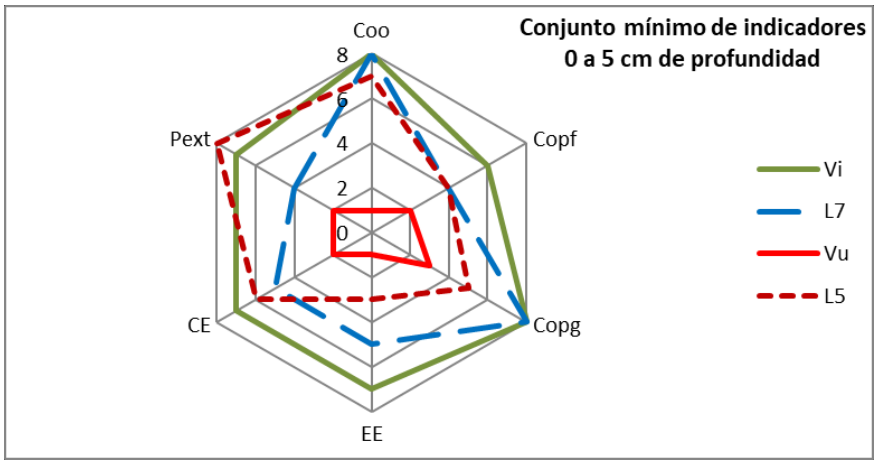

Figura 1. Conjunto Mínimo de Indicadores de 0 a 5 cm de profundidad.

Doce años con distintos manejos del suelo en L5 y L7, produjeron efectos diferentes en los 5 cm superficiales del mismo. En L5, con una agricultura continúa dominada por cultivo de maíz,

se evidencia la diminución del carbono oxidable (Coo), de su fracción asociada a partículas gruesas y la correspondiente a partículas finas. Esta disminución se correlaciona en forma directa con la pérdida de estabilidad estructural de los agregados, la cual queda expuesta a través del menor diámetro medio ponderado (DMP) de los mismos (Tabla 1). También queda de manifiesto un incremento en la concentración de sales solubles que, si bien posee significancia estadística, por el momento no afecta la productividad del lote. Debemos destacar el muy elevado contenido de fósforo extractable registrado en L5. Al no disponer de registros fidedignos de la historia agrícola previa a la adquisición del campo, no se avanzan en hipotetizar sobre el origen de este. La disminución de Pext en L7 con respecto a los valores iniciales, de 35,1 a 21,6 mg.Kg-1, resulta consistente con un manejo en donde la reposición del nutriente no ha sido cubierta con aportes vía fertilización.

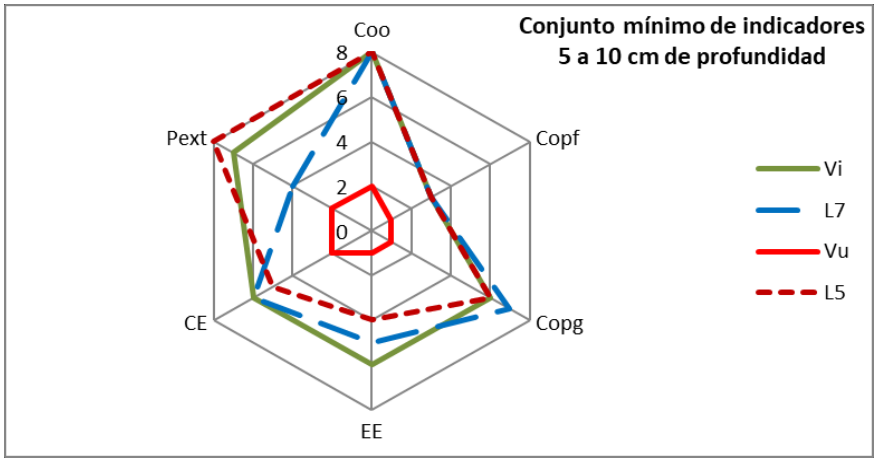

Figura 2. Conjunto Mínimo de Indicadores de 5 a 10 cm de profundidad.

De 5 a 10 cm de profundidad el CMI de la Figura 2 muestra que en L5 y L7 se produjeron modificaciones negativas en la estabilidad estructural, resultando esta de mayor magnitud en el L5. En la figura también se observa el incremento de sales en el L5 evidenciado por la CE. La gráfica presenta diferencias en Copg; no obstante, estas carecen de significancia estadística.

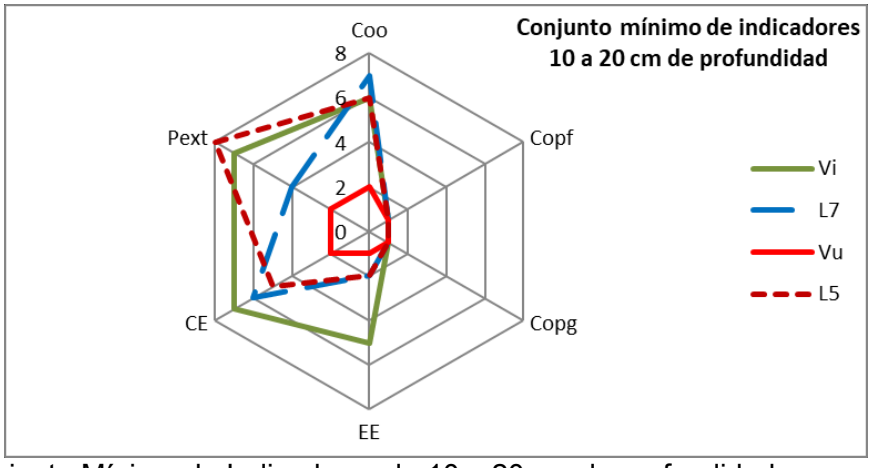

Figura 3. Conjunto Mínimo de Indicadores de 10 a 20 cm de profundidad.

En la Figura 3 las muestras de 10 a 20 cm de profundidad permiten observar que la perdida de estabilidad estructural continua en profundidad, tanto para L5 como para L7. Es interesante observar que el carbono asociado a las fracciones particuladas gruesa y fina ha disminuido hasta los valores adoptados como umbrales, por lo tanto, el Coo presente a esta profundidad se encuentra comprendido en el carbono asociado a la fracción mineral del suelo, el cual

constituye el carbono humificado más antiguo y polimerizado. Si bien la CE es algo mayor que la del suelo testigo, esto no tiene relevancia estadística.

CONCLUSIONES

A modo de conclusión podemos afirmar que el CMI seleccionados ha puesto de manifiesto diferencias significativas entre los efectos de dos secuencias de cultivos distintas, en un Paleudol vértico de lotes vecinos. Estas diferencias se evidencian principalmente en los primeros centímetros del suelo y se mantienen para algunos indicadores como la estabilidad estructural, hasta los 20 cm.

L5 ha sufrido un mayor impacto durante el ciclo analizado, evidenciando que el COpf es un buen indicador para poner de manifiesto cambios de calidad debidos a las rotaciones realizadas. Esto concuerda con lo reportado por Duval et al. (2014) quienes encontraron que el COpf resultó sensible ante sistemas agrícolas con rotación de cultivos y monocultivos. Según estos autores la segregación de fracciones orgánicas con labilidad intermedia, como el COpf, puede emplearse como un indicador sensible para distinguir prácticas agrícolas, sin que su precisión se vea significativamente afectada por las fluctuaciones temporales y meteorológicas. Contrariamente L7 ha mejorado en algunos de sus parámetros, posiblemente debido a una rotación con mayor diversificación de cultivos.

El análisis, aplicación de indicadores de calidad de suelos y monitoreo temporal de la evolución de estos, constituyen prácticas de manejo necesarias para la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas agroproductivos que se implementan en los establecimientos de la UNLP.

Para visualizar la evolución a lo largo del tiempo, es necesario realizar mediciones en intervalos secuenciales lo suficientemente espaciados como para detectar variaciones en los parámetros asociados con las prácticas de uso y manejo de los suelos.

BIBLIOGRAFIA

Arshad, M., Martín, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *88* (2), 153-160.

Dalurzo, H. C., Serial, R.C., Vazquez, S. y Ratto, S. (2001). *Indicadores químicos y biológicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina).* UNNE-Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.

Duval, M. E., de Sa Pereira, E., Iglesias, J. O. y Galantini, J. A. (2014). *Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones de carbono orgánico en un argiudol*. Ciencia del suelo. 32 (1), 105-115. ISSN 1850-2067. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672014000100011&lng=es&nrm=iso

Galantini, J. A. (2005). *Separación y análisis de las fracciones orgánicas.* En L. Marban y S. Ratto (Eds.), *Manual "Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios" de la AACS.* Capítulo IV parte 2, 103-114.

Le Bissonnais, Y. L. (1996). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. European Journal of Soil Science, 47(4) ,425-437.

Rezaei, S., Gilkes, R. y Andrews, S. (2006). A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. Geoderma. Volume 136, Issues 1–2, 1 December 2006, Pg 229-234.

Wilson, M. G. (2017) "*Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina"*. 1a ed. Entre Ríos: Ediciones INTA. Libro digital PDF. ISBN 978-987-521-826-0