



## PROTOCOLO PARA EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN DE SUELOS EN BASE A INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS Y VISUALES

Eiza, M.J.<sup>1\*</sup>, F. Cintolo<sup>2</sup>, P. Carfagno<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Unidad Integrada EEA INTA Balcarce-Fac. Ciencias Agrarias, UNMdP; <sup>2</sup>Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias, UM; <sup>3</sup>Instituto de Suelos, CIRN INTA Castelar.

\*Ruta Nacional 226, km 73,5 (7620) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, eiza.maximiliano@inta.gob.ar

**RESUMEN:** Los procesos de degradación del suelo, implican reducción de los rendimientos y representan una problemática de importancia mundial. Dichos procesos se ven representados por modificaciones en los distintos indicadores de calidad y salud de suelo. El objetivo del trabajo fue desarrollar una guía práctica visual para la caracterización de la degradación físico-química de suelos, que provea un índice de degradación con aplicación en suelos del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires (SEB) adaptable a suelos de otros ambientes. Se diseñó un protocolo de evaluación visual (PEVS), en base a indicadores físico-químicos, para suelos del SEB, con características que permiten adecuarlo a otras regiones. Los indicadores seleccionados fueron: infiltración, compactación, densidad aparente, limitante de profundidad, abundancia de raíces, porosidad, espesor del horizonte A, estructura laminar, estructura y consistencia del suelo, textura, color del suelo, presencia e intensidad de moteados, cobertura superficial, forma y grado de erosión, pH y salinidad. El PEVS consta de un sistema de puntuación para cada indicador. Para un sitio, se obtiene una puntuación final, constituida por la sumatoria de los puntajes parciales de cada uno de los indicadores. Se analizaron 6 Sitios en el establecimiento de San Martín de Filomena. El sitio establecido como referencia por encontrarse inalterado, se correspondió con la valoración total más alta (puntaje de 78). Por el contrario, los Sitios 1, 3 y 6 tuvieron valoraciones más bajas, producto de limitantes en infiltración, compactación, limitante de profundidad, pH, estructura laminar y moteados. Para las condiciones planteadas en el desarrollo de este PEVS, fue posible caracterizar a los procesos de degradación física-química de los suelos para cada uno de los Sitios evaluados. De esta manera, se cumplió con el objetivo de obtener una guía práctica visual y expeditiva.

**PALABRAS CLAVE:** calidad de suelos, guía de evaluación visual, degradación de suelos.

### INTRODUCCION

La degradación de los suelos causa pérdidas de la productividad de los mismos (Ibáñez, 2008), que bajo ciertas condiciones podrían ser irreversibles para los agroecosistemas. La elección del sistema de producción, de labranza y la utilización y dosis de agroquímicos, interviene directamente sobre esta degradación (Álvarez *et al.*, 2009). La calidad del suelo representa propiedades, procesos y la habilidad para funcionar efectivamente como componente de un ecosistema saludable (Schoenholtz *et al.*, 2000), mejorando la salud humana y animal, sin dañar la base de los recursos naturales ni afectar adversamente el ambiente (Doran & Parkin, 1994; Halvorson *et al.*, 1997). La sustentabilidad del ecosistema puede ser evaluada si los procesos que ocurren en él son bien comprendidos. Por lo tanto, existe una necesidad de desarrollar y estandarizar métodos para evaluar la degradación del suelo (Lal, 1998). La evaluación de la calidad de un agroecosistema involucra la medición del estado actual de una o varias propiedades o procesos, a diferentes intervalos y la comparación de los resultados con umbrales críticos o deseados (Arshad & Martín, 2002).

Las variables de calidad son representadas por diversos indicadores físicos, químicos y biológicos (Ramírez, 2004). Se ha establecido un grupo mínimo de propiedades del suelo para ser utilizados como indicadores (Larson & Pierce, 1991; Doran & Parkin, 1994; Seybold *et al.*, 1998). Los de tipo físico y químico permiten hacer una valoración sencilla de la calidad del suelo, pudiendo ser considerados para ser incorporados en un protocolo de evaluación visual de suelos (PEVS). Desde un punto más generalista, investigadores de INTA compilaron metodologías de muestreo de suelo y ensayos a campo (Santos *et al.*, 2012; Wilson, 2017). En función de la problemática presentada, surge la necesidad de proveer herramientas fiables y de utilización sencilla, para la evaluación de las condiciones actuales del suelo, a fin de que se puedan tomar decisiones adecuadas para el manejo sostenible (Benites Jump, 2010). El objetivo del trabajo fue desarrollar una guía práctica visual para la caracterización de la degradación físico-química del suelo, que provea un índice de degradación con aplicación en suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires adaptable a suelos de otros ambientes.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Debido a la facilidad de ser adaptado y transferido a otros suelos y situaciones, y adoptado por usuarios con mínima experiencia, se siguió el marco conceptual sugerido por Karlen *et al.* (1994). En base al relevamiento y estudios previos para las Ecorregiones de Argentina (Wilson, 2017), los indicadores físicos, químicos y visuales seleccionados en el PEVS desarrollado fueron: infiltración, compactación (resistencia mecánica a la penetración, RMP), densidad aparente (DAp), limitante de profundidad, abundancia de raíces, porosidad, espesor del horizonte A, estructura laminar, estructura y consistencia del suelo, textura, color del suelo, presencia e intensidad de moteados, cobertura superficial, forma y grado de erosión, pH y salinidad. Los valores obtenidos fueron contrastados con valores estandarizados del sitio bajo estudio y con mediciones en laboratorio, junto a una exhaustiva revisión de estudios, ensayos, publicaciones y análisis de laboratorios previos.

Para la elaboración del PEVS se normalizó la valoración para cada indicador: 0 (pobre), 1 (moderada) y 2 (buena), que fue afectada por un factor de importancia específica de cada indicador. El valor otorgado a partir de la calificación visual, es un valor flexible, pudiendo ser asignados puntos intermedios entre los valores dados (e.g. 0,5 o 1,5). Se prepararon fotografías de ejemplo para cada valor (0, 1 y 2), para poder ajustar el puntaje a cada indicador de forma precisa y correcta. El valor individual se sumó obteniendo un resultado total. Este último define al índice, el cual representa una valoración de calidad de suelo básica de 5 categorías (muy buena, buena, moderada, pobre o muy pobre) que varía en un rango de 0 a 84 puntos.

*Área de estudio.* Se escogieron 6 Sitios diferentes entre sí, con características o manejos agrícolas particulares, localizados en un establecimiento de la Estancia San Martín de Filomena (Sudeste Bonaerense), dividido en tres campos ubicados en los partidos de Lobería y Balcarce. Los suelos presentaban diferencias edafológicas y topográficas contrastantes. En Lobería se ubican dos de los campos, encontrando 3 suelos: Argiudol típico (pendiente=10%), Argiudol petrocálcico (pendiente=4%) y Hapludol petrocálcico (pendiente<3%).

Los campos pertenecientes a Lobería presentan alto contenido de materia orgánica ( $\geq 5\%$ ). Los suelos de Balcarce se diferencian climática-, edafológica- y topográficamente. Se encuentra en una posición deprimida, con pendiente menor a 1%, y frecuentes excesos hídricos. Los suelos predominantes son Complejos de Argiudol típico, Argialbol típico, Natracuol típico, Natracualf típico, entre otros.

La infiltración fue determinada con infiltrómetro de anillo simple (Bouwer, 1986; Eiza & Carfagno, 2018). La RMP se determinó con penetrómetro dinámico cada 5 cm de profundidad. La DAp se determinó a 10 cm de profundidad por el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986). Para la calificación, el rango de valores de referencia fue establecido a partir de Elissondo *et al.* (2001), quienes encontraron valores DAp máximas de  $1,47 \text{ Mg m}^{-3}$  en distintos suelos del sudeste bonaerense. A partir de éste se distribuyeron los rangos para cada categoría de valoración entre 1 y  $1,47 \text{ Mg m}^{-3}$ . El valor porcentual asignado hace referencia a la diferencia porcentual entre el valor de referencia ( $1,47 \text{ Mg m}^{-3}$ ) y el valor medido en el sitio evaluado (e.g.  $1,16 \text{ Mg m}^{-3}$  representa el 33% de la diferencia entre 1 y  $1,47 \text{ Mg m}^{-3}$ ). Las capas

limitantes de profundidad se determinaron con varilla de acero graduada. Por otro lado, la abundancia de raíces se estableció desagregando parcialmente el suelo y se analizó la proporción de raíces vivas. Para su valoración, se utilizaron las fotos de referencia del PEVS. La porosidad se determinó examinando la macroporosidad y se comparó con la situación inalterada. El rango de valores de espesor del Horizonte A fue establecido a partir de la máxima medición del espesor para la situación inalterada y su relación con los porcentajes de puntuación correspondientes para cada rango de calidad.

La formación de costras superficiales se evaluó midiendo el espesor de las mismas. La estructura y consistencia se determinó extrayendo un bloque de suelo de 20 cm de profundidad y dejándolo caer 3 veces desde 1 metro de altura, sobre una base plástica o balde. Los fragmentos se acomodaron de mayor a menor tamaño sobre la base plástica, y se observó la fragmentación del mismo. Se comparó la distribución con las fotos del PEVS y la descripción desarrollada en éste. El grupo textural se determinó al tacto según FAO (2018). El color del suelo y de los moteados se definió de acuerdo a fotografías del PEVS. Fueron comparadas previamente con la carta de colores de suelo (Munsell, 1975) y la tabla de valores del Mosaico del suelo (Wills *et al.*, 2007). La cobertura del suelo se estableció de forma visual y digital. Realizando ambos, se obtuvo un resultado más preciso, a través del promedio de ambos métodos. Para el primer mecanismo de análisis se utilizó un marco de hierro de 0,25 m<sup>2</sup> como referencia visual en el que se estableció la cobertura verde (%) en la superficie total del marco (Santos *et al.*, 2012). El análisis digital se llevó a cabo tomando una foto y analizándola con la aplicación "Canopeo" de OS Android. Ésta cuantifica porcentualmente la cobertura vegetal verde. La forma de erosión se catalogó como erosión nula, laminar, en surcos o en cárcavas en rangos intermedios entre 0 (cero) y 2 (dos). El grado indica la severidad de la degradación. El PEVS provee fotos para poder comparar la situación a campo con las mismas y facilitar así la puntuación. La valoración de pH y de salinidad se realizó de acuerdo a los criterios establecidos por FAO (2018). Éstos fueron determinados con peachímetro y conductímetro de laboratorio (Ostinelli & Carreira, 2017).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Para la situación inalterada la infiltración fue superior al promedio de los sitios cultivados (288,7 mm h<sup>-1</sup> vs. 66,2 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente). Para el sitio con la situación más degradada bajo manejo agrícola continuo, el coeficiente de variación (CV) fue relativamente bajo (14,6%), siendo el rango de tasa de infiltración básica de 82 - 103 mm h<sup>-1</sup>. Para el sitio con presencia de tosca cercana a la superficie, el CV fue muy elevado (92,2 %). Dicha variación podría estar afectada por una limitante de profundidad para este sitio, ocasionada por la capa de carbonatos de calcio entre 20 y 40 cm de profundidad.

Para los suelos de Balcarce la diferencia de infiltración entre sitios fue baja (7 a 31,9 mm h<sup>-1</sup>). La baja infiltración se explicaría por compactación superficial de ese sitio, debido al pisoteo de ganado vacuno (principalmente en los primeros centímetros) (Andrade Bonetti *et al.*, 2019). A pesar de la baja infiltración observada, los CV intra sitio fueron altos (19,8% a 87%). El sistema de labranza y la cobertura vegetal, especialmente al comienzo y al final de los ciclos de crecimiento, pueden influir en la variabilidad de la infiltración. Por otro lado, la infiltración está más influenciada por la cobertura vegetal que por el sistema de labranza. La infiltración de agua tiende a ser más pequeña en áreas bajo suelo desnudo que en sistemas de conservación de suelo (Sampaio de Almeida *et al.*, 2018).

Bajo manejo agrícola las DAp fueron superiores a las de dicho sitio (28 y 16% más, respectivamente para los establecimientos de Lobería y Balcarce). El máximo para Lobería fue una DAp de 1,37 Mg m<sup>-3</sup>; mientras que para Balcarce fueron de 1,28 y 1,20 Mg m<sup>-3</sup>. El sistema de labranza del sitio agrícola de Lobería ha sido siembra directa (SD) por un largo período. Bajo este manejo, la ausencia de laboreo y el efecto acumulado de historia agrícola y tráfico de maquinaria incrementaron la DAp superficial (de Moraes *et al.*, 2016). En este sentido, la porosidad total se redujo de 60,6% a 50,1% al pasar de una situación inalterada al manejo agrícola. La humedad promedio para los suelos de Lobería fue de 29,6%, mientras que para Balcarce fue de 38%, denotando la característica de los suelos mejor drenados de los mal drenados.

El Hapludol petrocálcico de Lobería, fue el único que registró limitante de profundidad, por presencia de una capa de carbonato de calcio consolidado a 23 cm de profundidad. Los Sitios de Balcarce no tenían napa cercana a la superficie. Sin embargo, en ciertas épocas del año los excesos de precipitaciones, podrían favorecer su ascenso, reduciendo la profundidad efectiva explorable por las raíces. Por este motivo, el resultado del diagnóstico sería dependiente del momento en el que se lo realice.

Se registró una alta variabilidad en la abundancia de raíces entre los sitios evaluados, con situaciones de escasez de raíces, moderada y gran abundancia. Cabe aclarar que el sitio con ausencia de raíces se encontraba bajo barbecho de soja y los otros bajo pasturas cultivadas o naturales o de cultivo de maíz. El sitio utilizado como valor de referencia para dicho indicador, fue el que registró la mayor cantidad de raíces.

En general, se observó abundante proporción de macroporos. Se diferenciaron 2 situaciones: se observó una condición óptima, con buena proporción de canales para el desarrollo de mesofauna y para la exploración y el desarrollo de raíces, mientras que en dos sitios preponderó una disminución en la porosidad del suelo, dificultando el intercambio hídrico y gaseoso (FAO, 2018).

En el sitio bajo agricultura continua de Lobería, con pendientes de hasta 10%, ocurrió una pérdida de espesor del horizonte A por erosión hídrica de tipo laminar. En uno de los sitios de Lobería el menor espesor registrado (12 cm), se debió a la formación de un horizonte E con pérdida de material del horizonte A por procesos de eluviación.

Se observaron estructuras laminares mayores a 5 mm de espesor en uno de los sitios de Balcarce y de hasta 1 mm en el sitio agrícola de Lobería. La razón de la presencia de dichas estructuras, se debe principalmente, a un manejo agrícola permanente, con bajo aporte de residuos y parches de suelo descubierto y erosión hídrica laminar (FAO, 2018). Para el resto de los Sitios, no se observaron costras superficiales.

En ningún sitio se observó una situación de estructura y consistencia de suelo desfavorable. En el sitio de referencia el resultado fue un estado friable del bloque de suelo. La relación agregados grandes/pequeños fue baja.

El análisis de textura, en los 6 Sitios evaluados, respondió a una textura franca. El color de suelo fue oscuro, caracterizado por alto contenido de materia orgánica. En el sitio 6 se observó cierta tendencia blanquecina, debido a predominancia de procesos de eluviación (e.g. pérdida de arcilla y materia orgánica).

Se observó variabilidad en cuanto a la presencia e intensidad de moteados solamente en el establecimiento de Balcarce. Estos variaron de una intensidad leve a severa entre sitios. En el momento de la evaluación el suelo no se encontraba saturado por lo que los colores preponderantes eran los rojizos. En otras épocas, con el suelo anegado, los colores dominantes tienden a ser los verdes (FAO, 2009).

Se diferenciaron 2 situaciones de cobertura del suelo, con variabilidad a través de los sitios, tanto en el porcentaje total, como en el cultivo presente (30 a 75% de cobertura superficial). Dentro de estos sitios, se presentó variación, aunque insuficiente como para diferenciar su puntuación final en la guía.

En casi todos los sitios evaluados, no se registraron signos de erosión, por lo que se le concedió un puntaje de 2 puntos en el índice de degradación, excepto el agrícola de Lobería. Para este último, se identificó erosión laminar (puntaje=1,3) con un grado moderado de degradación (puntaje=1).

En tres de los sitios se encontró un rango óptimo de pH (6,63, 6,57 y 6,06, respectivamente). El sitio con tosca cercana a superficie se registró un pH elevado (8,01), como consecuencia del carbonato de calcio presente. En un sitio de Lobería y otro de Balcarce, los valores de pH se ubicaron por debajo del óptimo (5,73 y 5,84, respectivamente). Estos valores ocurren como consecuencia de la pérdida de material del horizonte A, por erosión laminar (Lobería) y por pérdida eluvial (Balcarce).

La conductividad eléctrica de todos los sitios fue inferior a 1 mS cm<sup>-1</sup>, definiendo a los suelos como no salinos. Aun sin ser salinos, se diferenciaron 2 grupos con 3 sitios de 0,7 mS cm<sup>-1</sup> y 0,3 mS cm<sup>-1</sup> promedio.

La valoración general de cada indicador mostró que 3 de los sitios (Sitios 2 –Lobería-, 4 y 5 –Balcarce-) obtuvieron la calificación “Muy buena”, dos “Buena” (Sitios 1 y 3 –Lobería-) y uno “Moderada” (Sitio 6 –Balcarce-). En este sentido, el Sitio 1 correspondiente a un suelo somero por presencia de tosca, tuvo varios indicadores con valoración nula (infiltración, compactación, limitante de profundidad y pH). El Sitio 3 presentó baja valoración final, siendo las variables que redujeron su valoración infiltración, compactación y abundancia de raíces. El Sitio 6, ubicado en una posición deprimida del relieve obtuvo una baja valoración por presentar limitantes en los indicadores infiltración, limitante de profundidad, estructura laminar y moteados. Con respecto a la relación de los valores de calidad de suelo con los rendimientos, debido a disponer de una base de datos insuficientes, se pudieron realizar sólo algunas estimaciones de tendencias. En todos los sitios bajo agricultura, se encontró una relación en la que menor valoración se correspondía con menor rendimiento. De todas maneras una menor valoración para un sitio, no necesariamente se correspondería con una caída de rendimientos proporcionalmente de la misma magnitud.

## CONCLUSIONES

Para las condiciones planteadas, el PEVS desarrollado permitió caracterizar a los procesos de degradación física-química de los suelos para cada uno de los sitios evaluados. De esta manera, se cumplió con el objetivo de obtener una guía práctica visual y expeditiva para la caracterización de la degradación físico-química del suelo. Se concluye que el PEVS provee un índice de degradación con aplicación en suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Además, el PEVS propuesto podría ser adaptado a suelos de otros ambientes. A fin de validar el PEVS y obtener relaciones concluyentes entre índice de calidad y rendimientos, se requiere mayor investigación que incluya más sitios en la región y en otras regiones.

## BIBLIOGRAFIA

- Andrade Bonetti, J; I Anghinoni; PIGubiani; D Cecagno MT Moraes. 2019. Impact of a long-term crop-livestock system on the physical and hydraulic properties of an Oxisol. *Soil Tillage Research* 186. 280-291.
- Álvarez, CR; M Torres Duggan; ER Chamorro; D Ambrosio & MA Taboada. 2009. Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: Efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. *Ciencia del Suelo*. Vol. 27 No.2.
- Arshad, MA & S Martin. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. *Agric., Ecosys. Environ.* 88:153-160.
- Benites Jump, JR. 2010. Evaluación visual del suelo. INCAGRO.
- Blake, GR & KH Hartge 1986. Bulk Density. En: Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Pp. 363-375. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.
- Bouwer, H. 1986. Intake rate: cylinder infiltrometer. En: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis: Part I: Physical and Mineralogical Methods*. SSSA Book Series 5. Madison, WI. pp. 825–844.
- De Moraes, MT; H Debiasi; R Carlesso; JC Franchini; V Rodrigues Da Silva & F Bonini Da Luz. 2016. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. *Soil Tillage Research*. 155: 351–362.
- Doran, JW & TB Parkin. 1994. Defining an assesing soil quality. Capítulo 1. Pp. 3-21. En: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdieck, D.F.; Stewart, B.A. (Eds.). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication Number 35.
- Eiza, M & P Carfagno. 2018. Medición de la infiltración en el suelo. Infiltrómetro de anillo simple y simulador de lluvias. En: *Análisis y evaluación de propiedades físico hídrica de los suelos*. Quiroga, A.; Fernández, R.; Alvarez, C. (Eds). Ediciones INTA.
- Elissondo, E; JL Costa; E Suero; KP Fabrizzi & Garcia, F. 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. Unidad FCA – INTA Balcarce. CONICET-FCA(UNMdP), Argentina. [https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_19n1/19\\_1\\_elissondo\\_11\\_19.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_19n1/19_1_elissondo_11_19.pdf)

- FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Cuarta edición. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Capítulo 4. <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>.
- FAO. 2018. Artículos del portal de suelos de la organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura. <http://www.fao.org/soils-portal/>.
- Halvorson, JJ; L Jeffery & RI Papendick. 1997. Issues of scale for evaluating soil quality. *J. Soil Water Cons.* 55:26-30.
- Ibañez, JJ. 2008. Degradación del Suelo y Pérdida de Recursos Edáficos: Una Introducción. Madrid Blogs. Un Universo invisible bajo nuestros pies. Los suelos y la vida. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/09/17/101114>.
- Karlen, DL; NC Wollenhaupt; DC Erbach; EC Berry; JB Swan; NS Eash & JL Jordahl. 1994. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil Tillage Res.*, 31: 149-167.
- Lal, R. 1998. Soil quality and sustainability. Pp. 17-30. En: Lal, R.; Blum, W.H.; Vanlentine, C.; Stewart, B.A. (Eds.). *Methods for assesment of soil degradation. Advances in Soil Science.* CRC Press. Boca Raton, NY.
- Larson, WE & FJ Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. En: *Evaluation for sustainable land management in the developing world.* Bangkok, Thailand.
- Munsell, 1975. *Munsell Soil Color Chart.* Munsell Color, Baltimore, MD, USA.
- Ostinelli, M & D Carreira. 2017. Análisis químico de suelos de uso agropecuario. *Protocolos de ensayos normalizados.* Red Laboratorios de Suelo, Agua y Vegetal. INTA Castelar
- Ramírez, M. 2004. Indicadores de estado: factores biológicos que limitan la calidad agrícola de los suelos. En: *Primer Taller Nacional sobre indicadores de calidad de suelo.* Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Palmira, Colombia.
- Sampaio de Almeida, W; E Panachuki; PT Sanches de Oliveira; R. da Silva Menezes; TA Sobrinho & D Fonseca de Carvalho. 2018. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. *Soil & Tillage Research* 175: 130-138.
- Santos, DJ; MG Wilson & M Ostinelli. 2012. Metodología de muestreo de suelo y ensayos a campo. *Protocolos básicos comunes.* ISBN 978- 679- 160- 1.
- Schoenholtz, SH; H Van Miegroet; JA Burger. 2000. Review: A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management.* 138:335-356.
- Seybold, CA; MJ Mausbach; DL Karlen; HH Rogers; R Lal; JM Kimble; RF Follett & BA Stewart. 1998. Quantification of soil quality. En: *Soil Processes and the Carbon Cycle.* Lal, R.; Kimble, J.M.; Follett, R.F. (Eds.). CRC Press: USA. pp. 387-404
- Wills, SA; CL Burras & JA Sandor. 2007. Prediction of soil organic carbon content using field and laboratory measurements of soil color. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71, 380-388.
- Wilson, MG. 2017. *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina.* Libro digital. Ediciones INTA. Entre Rios, Argentina. 294 p.