



CAMBIOS EN EL CARBONO ORGÁNICO LÁBIL POR AGRICULTURIZACIÓN EN SUELOS DEL NEA Y NOA

^{1*} Cáceres Díaz, R. O.; ¹ Ma. C. A., Morales Poclava; ² H. R., Sainz Rosas; ³ N. Gomez; ⁴ L. Bolañez; ⁵ J. Rojas; ⁵ Y. Goitya; ⁶ Ma. Quinteros; ⁷ A. Madías

¹ EEA INTA Salta. Ruta Nac. 68. Km. 172 (4403) Cerrillos. Pcia. de Salta caceresdiaz.raul@inta.gov.ar. ² Unidad Integrada INTA Balcarce- Univ. Nac. de Mar del Plata, Ruta 226, Km. 73,5 (7620) Balcarce, Pcia. de Bs. As. ³ EEA Sgo. del Estero. Jujuy N° 850. (4200) Sgo. del Estero, Sgo. del Estero. ³ EEA INTA Quimilí. Ruta prov. N° 6, km. 9 (3749) Quimilí, Santiago del Estero. ⁴ Julieta Rojas. EEA INTA Saenz Peña, Chaco. Ruta Nac. N° 95, km. 1108. (3700) Roque Saenz Peña, Chaco. ⁵ Quinteros, María. EEA INTA Famailla, pcia. de Tucumán. ⁶ Coord. Zonal, Sgo. del Estero, AAPRESID Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa.

RESUMEN

La habilitación de tierras para cultivos extensivos en NEA y NOA se dio por cambio de uso del suelo, pasando de monte nativo a agricultura bajo labranza cero. Se evaluó el carbono orgánico lábil en lotes agrícolas dedicados a soja y maíz y la cortina forestal con monte nativo más cercana, en los primeros 20 cm. de profundidad de suelo. La disminución del carbono orgánico en estos sistemas fue de 29,41% en los primeros 20 cm. de profundidad, pasando de 2,04% \pm 0,54 en monte nativo a 1,44% \pm 0,44 en agricultura extensiva. Las variables geomorfométricas denominadas sombreados, pendiente, aspecto, plano de curvatura, perfil de curvatura (Longitudinal), índice de convergencia, presencia de depresiones, acumulación de flujos, índice de humedad topográfica, influencia de longitud y grado de pendiente, nivel basal de la red de canales, distancia vertical de la red de canales, profundidad del valle y posición relativa de la pendiente sirvieron para generar el mapa de carbono de NEA y NOA con un R² de 0.24. Esta metodología geoestadística resultó adecuada para generar mapas de suelos digitales a escala regional.

PALABRAS CLAVE: cultivos extensivos, labranza cero, monte nativo,

INTRODUCCION

En la región NEA y NOA el avance de la Frontera Agropecuaria significó la habilitación de tierras para la agricultura a partir de desmontes, provocando una caída de los niveles de carbono original en forma inmediata por el cambio de uso de la tierra.

Estos ambientes, se dedicaron a la producción agrícola extensiva de secano (soja, maíz, sorgo, algodón) como principales cultivos de verano, incluyendo en los últimos años el trigo como cultivo de servicio en la medida que existía humedad en el perfil a la siembra y siembra de girasol o cártamo en la provincia de Chaco.

La Labranza Cero, posibilitó en toda la región el uso de una tecnología de bajo impacto, accesible y de disponibilidad inmediata para el productor que no fue acompañada de una óptima rotación de cultivos, llegando en muchos casos a monocultivo de soja y baja incorporación de fertilización de reposición o mantenimiento para estabilizar los niveles originales de nutrientes del suelo.



Los factores que afectan los niveles de concentración de carbono orgánico del suelo son variados entre los que predominan los topográficos, ordenes de suelo, textura de suelo, drenaje, usos de la tierra, entre otros.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el cambio en el carbono orgánico lábil producto del cambio de uso de la tierra en el NEA y NOA a partir de una línea de base definida por la cortina de bosque nativo más cercana, en los primeros 20 cm. de suelo y generar un mapa de carbono orgánico lábil que lo represente utilizando herramientas de análisis geoestadístico y parámetros que mejoren el modelo como, sombreado, pendiente, aspecto, plano de curvatura, perfil de curvatura (Longitudinal), índice de convergencia, presencia de depresiones, acumulación de flujos, índice de humedad topográfica, influencia de longitud, grado de pendiente, nivel basal de la red de canales, distancia vertical de la red de canales, profundidad del valle y posición relativa de la pendiente.

MATERIALES Y METODOS

Los muestreos de suelos se realizaron en lotes agrícolas dedicados a la producción de cultivos de soja y maíz, tomando una muestra pareada del lote con cortina de monte nativo más cercano de 0 a 20 cm. de profundidad, distanciadas al menos 10 km. entre cada muestra. En laboratorio, se procedió a secar las muestras y tamizarlas con malla de 2 mm, para posterior determinación de Carbono Orgánico fácilmente oxidable por el método de Walkley y Black (1934).

El mapa de carbono se generó a partir de muestras de suelos tomadas en tres campañas agrícolas 2015, 2016 y 2017. Las mismas, fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos, Agua y Forrajes de la EEA INTA Salta.

El mapa de suelos, se construyó en base a 239 puntos de muestreo que se presentan en la **Figura 1** y se ubican en las provincias de Salta, Tucumán, Santiago del Estero, Norte de Santa Fé y Chaco, definiendo como área de estudio la delimitada por Morello (Morello *et al.*, 2012) como Región Chaqueña.

Teniendo en cuenta la extensión del área en estudio, se trabajó a una escala 1:250.000, en sistema de referencia EPGS 22184 POSGAR 94/ARGENTINA 4, correspondiendo a Coordenadas planas TM faja 4.



Figura 1 Ubicación de los sitios de muestreo

Se consideraron 3 fuentes de datos:

Modelo de elevación digital de 90 metros de resolución descargado del sitio web <https://earthexplorer.usgs.gov/> (USGS, 2000)

Mapa de suelos de la República Argentina ajustado en entorno GIS (SAGyP *et al.*, 2013).

Valores de índice de vegetación (NDVI) obtenidos por teledetección.

A partir del Modelo Digital de Elevación DEM se obtuvieron una serie de variables morfométricas que describen el comportamiento de la topografía en la región estudiada, en entorno SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses) enmarcado en Free Open Source Software (FOSS) desarrollado por el departamento de Física de Gottingen, Alemania (Conrad *et al.*, 2015).

Previamente se efectuó una corrección de valores anómalos aplicando el algoritmo desarrollados por Planchon & Darboux (2001).

Las variables geomorfométricas se determinaron aplicando la herramienta de geoproceso "Basic Terrain Analysis", definiendo sombreados (Analytical Hillshading), pendiente (Slope), aspecto (Aspect), plano de curvatura (Cross sectional), perfil de curvatura (Longitudinal), índice de convergencia (Convergence Index), presencia de depresiones (Closed Depressions), acumulación de flujos (Flow Accumulation), índice de humedad topográfica (Topography), influencia de longitud y grado de pendiente (LS.Factor), nivel basal de la red de canales (Channel Network base level), distancia vertical de la red de canales (Vertical D), profundidad del valle (Valley depth) y posición relativa de la pendiente (Relative Slope Position).

En cuanto a la información edáfica, se tomó como base el mapa de suelos desarrollado por INTA (INTA, 1990) a escala 1:500000, se consideró profundidad efectiva, textura superficial, drenaje y la clasificación taxonómica definida según USDA a nivel de Orden, considerando el suelo dominante de las unidades cartográficas, este análisis se efectuó aplicando el software QGIS (2017).

Para analizar la cobertura del suelo, se estimó el índice de vegetación normalizado (NDVI) a partir de imágenes satelitales Sentinel 2B – 1C del periodo junio 2017 hasta octubre 2017 con cobertura nubosa inferior al 30%. De este juego de imágenes se procedió a componer una única imagen en función al valor máximo de la mediana de cada pixel en cada banda. A partir de esta imagen se estimó el NDVI, este proceso se efectuó en entorno Google Earth Engine (Gorelick *et al.*, 2017).

Estas variables se consideran predictoras de la variable respuesta que en este caso es el porcentaje de carbono orgánico. Para realizar la estimación de los valores se optó por aplicar el modelo de Regresión Kriging (Hengl, 2004). Este proceso se plantea en dos pasos, primero un modelo lineal de efectos fijos y luego una modelación espacial sobre los residuos, generando la estimación final de valores de carbono orgánico.

Los cambios en los niveles de carbono se analizaron con el Software Infostat/P Ver. 2019

RESULTADOS Y DISCUSION

En el análisis descriptivo de la variable carbono lábil, se observa la mayor cantidad de muestras corresponden a suelos francos-limosos y los valores extremos de carbono lábil en monte nativo no son superiores a 3.02% y muy bajos valores máximos de carbono en suelos de monte nativo 1.54% y agrícola 0.75% para suelos francos arenosos como se observa en la **Tabla 1**.

Tabla 1: n, valores medios y descriptivos del carbono orgánico

Calificación Textural	Uso actual	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
Franco	agrícola	Carbono orgánico (%)	28	1,47a	0,36	24,38	0,58	2,22
Franco	Monte nativo	Carbono orgánico (%)	16	2,10b	0,47	22,26	1,38	2,83
Franco arcilloso	agrícola	Carbono orgánico (%)	7	1,89a	0,43	22,93	1,25	2,29
Franco arcilloso	Monte nativo	Carbono orgánico (%)	2	2,77b	0,36	13,04	2,51	3,02
Franco arenoso	agrícola	Carbono orgánico (%)	2	0,68a	0,10	14,56	0,61	0,75
Franco arenoso	Monte nativo	Carbono orgánico (%)	2	1,35a	0,27	19,90	1,16	1,54
Franco limoso	agrícola	Carbono orgánico (%)	56	1,50a	0,32	21,44	0,88	2,36
Franco limoso	Monte nativo	Carbono orgánico (%)	42	2,15b	0,44	20,51	1,10	2,89

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Se realizó análisis de varianza del carbono en función de textura, particionado por uso actual, no existiendo diferencias significativas para los valores de carbono de acuerdo a suelo franco/arenoso como lo muestra la **Tabla 1**.

El carbono orgánico lábil de la **Figura 2**, particionado por uso actual siempre fue mayor en cortina de bosque nativo y mayor para cada situación de manejo inclusive, asociado a suelos de textura fina, esto mismo fue mencionado por Steinbach *et al*, (2020) entre otros.

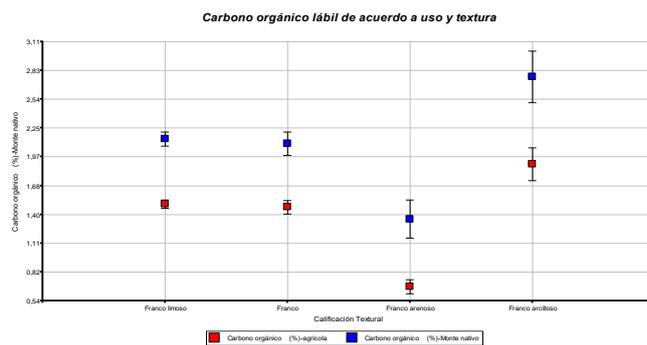


Figura 2: Carbono orgánico lábil en lote agrícola, cortina de monte nativo de acuerdo a textura

El carbono orgánico medio observado de los sistemas agrícolas evaluados fue de $1,44\% \pm 0,44$ y el carbono orgánico de la cortina más cercana es de $2,04\% \pm 0,54$, registrando una caída de 29,41% en los valores de C. orgánico desde monte nativo a sistema agrícola. Barbero, (2010) menciona una caída desde monte nativo a agricultura bajo SD de 23% a 28% para el Norte de Sgo. del Estero a la misma profundidad.

REGRESION LINEAL MULTIPLE

La selección de las variables que explican mejor la respuesta en la variable dependiente carbono orgánico se efectuó mediante el procedimiento “stepwise” aplicando el software R (R Core Team, 2014; RStudio Team, 2015).

Kriging Ordinary

A partir de los valores estimados por el modelo de regresión, se realizó la diferencia con los valores reales de porcentaje de carbono orgánico obteniendo los “RESIDUOS”.

Se efectuó la interpolación de estos residuos a toda el área analizada mediante el método de Kriging Ordinario, a fin de identificar las zonas donde se sobrestima o subestiman los valores. Se definió el siguiente semivariograma que se presenta en la **Figura 3**.

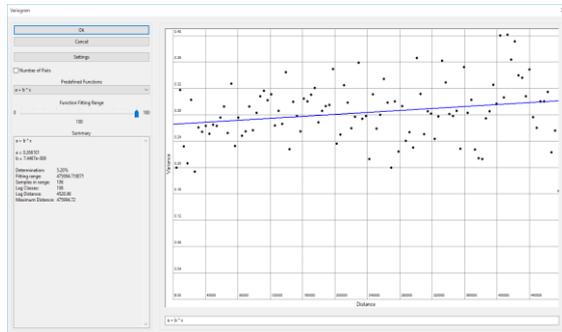


Figura 3: Semivariograma y ajuste lineal

A través de la calculadora de raster de SAGA GIS se aplicó el siguiente modelo:

$$CO(\%) = 2.688 + (-0.1260 * Orden) + (0.1722 * Drenaje) + (1.095 * Analytical) + (0.000000003423 * Flow) + (1.098 * LS) + (-0.003224 * Valley) + (1.448 * NDVI)$$

$$R^2 = 0.24$$

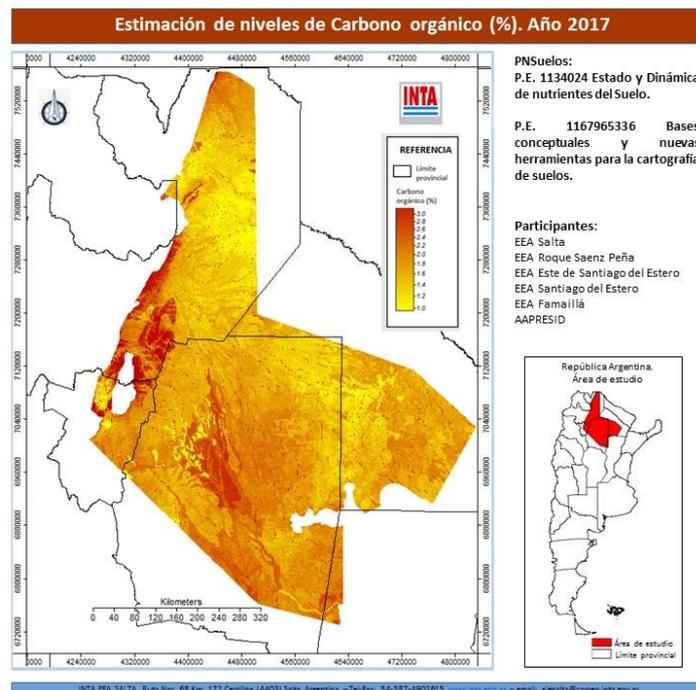


Figura 4: Mapa de carbono orgánico lábil en NOA y NEA de 0 a 20 cm. de profundidad de suelo

El coeficiente R^2 se encuentra dentro del rango esperado en los estudios de predicción de atributos de suelo para mapas a escala regional. Varela y Dell'Acqua (2003) mencionan un valor de 0,21 para un mapa digital de carbono orgánico del suelo en dos zonas de Uruguay usando la misma metodología.

En posteriores etapas de estudio es necesario validar el modelo y evaluar el poder predictivo del mapa generado con estos parámetros en esta instancia.

Esta Metodología permitió generar un mapa de carbono orgánico lábil de 0 a 20 cm. de profundidad en toda el área analizada como lo muestra la **Figura 4**.

CONCLUSIONES

- La disminución de carbono orgánico lábil observado, desde monte nativo en cortina a agricultura en la zona de estudio para los primeros 20 cm. de suelo fue de 29.41%
- Los valores más altos de carbono orgánico se hallan asociados a las texturas más finas (franco arcilloso) independientemente del manejo.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbero, Ma. F. 2010. Evolución del Carbono en suelos provenientes de monte bajo Siembra Directa del área subhúmeda templada y subtropical de Argentina. Tesis doctoral, Universidad Católica de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Conrad, O; B Bechtel; M Bock; H Dietrich; E Fischer; L Gerlitz; J Wehberg; V Wichmann & J Böhner. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015. <http://www.saga-gis.org/>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment. Disponible en <https://earthengine.google.com/>
- Hengl, T; G Heuvelink and A Stein. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. Geoderma 120 75-93
- Morello, J; Matteucci, S; Rodríguez, A y Silva, M. 2012. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. Orientación Gráfica Editora S.R.L., Buenos Aires. Pp. 752.
- Planchon, O & F Darboux. 2001. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. Catena 46: 159-176
- QGIS Development Team. 2016. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team. (2014). R: A language and environment for statistical computing. Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- R Studio Team. (2015). RStudio: Integrated Development for R. Boston, MA: RStudio, Inc. Recuperado de L <http://www.rstudio.com/>
- SAGyP – INTA – Proyecto PNUD ARG/85/019. 2013. Con la participación del Instituto de Suelos y EEAs del INTA. Suelos de la República Argentina. Versión Digital Corregida, Revisada y Aumentada (Versión 9.0): G. Cruzate, L. Gomez, M. J. Pizarro, P. Mercuri, S. Banchero.
- Steinbach, H.S.; A.M. Lupi; H. Rimski-Korsakov; C. Álvarez; E. Ciarlo; R.V. Cosentino; R. Romaniuk. 2020 Stock de carbono orgánico en suelos de diferente textura y uso en el sudeste de entre ríos. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Corrientes, Argentina.
- USGS. 2000. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. Disponible en <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>
- Varela, S. y M. Dell'Acqua. 2003. Mapeo digital de carbono orgánico del suelo para una profundidad de 5 cm. Cuenca de la laguna Merín y Cuenca Atlántica, Uruguay. Dirección General de Recursos Naturales Renovables. Sistema de Información Geográfica. Ministerio de Ganadería, Agricultura y pesca. República Oriental del Uruguay. <http://web.renare.gub.uy/media/suelos/informes/MapeoCarbonoCLMInforme.pdf>
- Walkley A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37 (1): 29-38.