



VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS EN UNA MICROCUENCA: EFECTO DEL USO DE LA TIERRA

Castiglioni, M.G.^{1*}, L.A. Gusmerotti², A. Espíndola², S. B. Havrylenko², J. C. Lisa³, J.D. Laghi⁴.

¹ Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

² Instituto de Clima y Agua, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

³ Agencia de Extensión Rural Rojas, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

⁴ Instituto de Suelos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

castigli@agro.uba.ar

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar en una microcuenca localizada en el partido de Rojas (Provincia de Buenos Aires), la variabilidad de algunas propiedades físicas y químicas edáficas superficiales y su vinculación con factores propios del suelo y de su historia de uso previa. En agosto de 2020 se obtuvieron 36 muestras compuestas del suelo superficial, correspondientes a lotes de productores, los que representan cerca del 50 % de la superficie de la microcuenca de 1495 ha. Sobre ellas se determinó su contenido de arcilla, estabilidad estructural y distintas fracciones del carbono orgánico. Se generó información que sintetice el uso de la tierra previo al muestreo. Para ello, se obtuvo mediante el uso de imágenes satelitales, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada promedio (MNDVI) para los períodos 2007-2020 y 2015-2020, su desvío estándar (DSNDVI) y su coeficiente de variación (CVNDVI). Se analizó la variabilidad de todos los parámetros estudiados y su grado de vinculación por medio del análisis de correlación. Se observó una variabilidad baja en el MNDVI, DSNDVI y CVNDVI, debido a un uso bastante homogéneo entre los lotes agrícolas de la microcuenca. La mayor parte del resto de las propiedades analizadas presentó una variabilidad media, excepto algunos parámetros vinculados con la fracción gruesa del carbono orgánico en los lotes ganaderos. A pesar de la baja variabilidad presentada por MNDVI, DSNDVI y CVNDVI, algunos de estos parámetros presentaron coeficientes de correlación significativos con determinadas propiedades físicas y químicas. Mientras que con algunas variables resultó efectivo considerar para el análisis de correlación un período de uso previo al muestreo más extenso, con otras fue preferible trabajar con un lapso más corto. El contenido de arcilla presentó altos coeficientes de correlación con algunas propiedades asociadas al carbono orgánico, mientras que con las ligadas a la estabilidad estructural estos fueron medios.

Palabras clave: NDVI, estabilidad estructural, fraccionamiento del carbono

INTRODUCCIÓN

Los distintos procesos de degradación de las tierras son condicionados por la acción del hombre. Si bien durante las últimas décadas el manejo de los cultivos ha mostrado ser bastante uniforme en grandes áreas, dentro de una cuenca se puede observar distinto grado de variabilidad para diferentes propiedades edáficas, debido tanto a efectos del manejo previo, como también a factores propios del suelo (Castiglioni, 2017).

La ausencia de cultivos durante ciertos períodos del año, resulta en un menor uso de recursos como el agua y la radiación solar, los cuales no son aprovechados para la producción de granos y biomasa vegetal (Andrade *et al.*, 2017). A su vez, la mayor frecuencia en el número de cultivos por año, favorece el mantenimiento de una elevada actividad microbiana, a través de la cual se genera una mayor estabilidad en la estructura del suelo y un incremento en el almacenamiento del carbono orgánico edáfico en sus distintas fracciones (Six *et al.*, 2006).



El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es un estimador lineal de la fracción de la radiación solar fotosintéticamente activa que es absorbida por la vegetación, la cual constituye la principal fuente de carbono para las plantas (Sellers *et al.*, 1992). De esta manera, la estimación de este índice a partir de la obtención de imágenes satelitales de manera frecuente y regular a lo largo de varios años, permite inferir el período de tiempo que los cultivos y/o pasturas en desarrollo ocupan un determinado sitio. También, al contar con un registro histórico de dichas imágenes, se podría evaluar cuál es la ventana temporal en una secuencia de cultivos y pasturas, que influye sobre el comportamiento de determinadas propiedades edáficas.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar en una microcuenca localizada en el partido de Rojas (Provincia de Buenos Aires), la variabilidad de algunas propiedades físicas y químicas edáficas superficiales y su vinculación con factores propios del suelo y de su historia de uso previa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde una microcuenca de 1495 ha, ubicada a 7 km al sureste de la localidad de Rojas, Provincia de Buenos Aires (34° 19' y 34° 14' LS; 60° 42' y 60 37' LO). La serie de suelos dominante es Rojas, clasificada como un Argiudol típico con textura limosa (arcilla: 22,9 %; arena: 27,7 %; limo: 49,4 %) (INTA, 1974). En los últimos 30 años, la actividad predominante ha sido la agricultura continua, teniendo mayor relevancia la producción de cultivos de verano (soja y maíz) bajo siembra directa. No obstante, existen algunos lotes bajo producción ganadera, ubicados en los sectores lindantes al curso de agua, fundamentalmente cerca de su desembocadura en el río Rojas. Dentro de dicha área, en agosto de 2020 se obtuvieron 36 muestras compuestas del suelo superficial (0 a 10 cm), correspondientes a distintos lotes de productores, los que representan cerca del 50 % de toda la superficie de la microcuenca. Del total de muestras analizadas, tres corresponden a tierras bajo uso ganadero, una tomada sobre pastizal natural y las otras dos sobre pasturas de alfalfa, mientras que el resto se obtuvo en lotes bajo agricultura continua. Sobre cada una se realizaron las siguientes determinaciones: contenido de arcilla, carbono orgánico total (CT) (método de Walkley y Black) (Page *et al.*, 1982), carbono orgánico particulado (COP) y ligado a la fracción mineral (COA) (Cambardella y Elliot, 1992) y estabilidad estructural (humedecimiento rápido (HR), lento (HL), disgregación mecánica (DM) y su promedio (ME) (Le Bissonnais, 1996). El COP Y COA se obtuvieron mediante fraccionamiento físico, utilizando un tamiz de 100 micrones para separar ambas fracciones. De esta última determinación surgieron los siguientes parámetros: %<100 (porcentaje en peso de la fracción menor a 100 micrones); %>100 (porcentaje en peso de la fracción mayor a 100 micrones); C<100 (concentración de carbono en la fracción menor a 100 micrones); C>100 (concentración de carbono en la fracción mayor a 100 micrones); COP (carbono orgánico particulado en el suelo); COA (carbono orgánico ligado a la fracción mineral del suelo).

A su vez, para cada uno de los lotes bajo análisis, se obtuvieron los valores del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), a través de álgebra de bandas de imágenes satelitales Landsat 5 y 8 (Surface Reflectance Tier 1) para cada paso del satélite dentro del periodo 2007-2020. Las mismas fueron procesadas en la plataforma en la nube Google Earth Engine (GEE). Con el objetivo de evaluar únicamente las imágenes con valores de NDVI correctos, se eliminaron aquellas que presentaban nubes o sombra de nubes a partir de los valores correspondientes de la banda *pixel_qa*. Con esta información se obtuvo para cada lote el NDVI promedio (MNDVI), su desvío standard (DSNDVI) y su coeficiente de variación (CVNDVI) para dos períodos de distinta longitud: desde 2007 hasta 2020 (MNDVI7; DSNDVI7 y CVNDIV7) y desde 2015 hasta 2020 (MNDVI15; DSNDVI15 y CVNDVI15).

De esta manera, se evaluó en cada uno de los lotes, el efecto de la longitud del tiempo con presencia de cultivos en desarrollo sobre algunas propiedades físicas y químicas edáficas superficiales. Se presupone que a mayor MNDVI hay una superior producción de materia seca y un intervalo de tiempo más amplio ocupado con especies vegetales vivas en los sucesivos años, mientras que un menor coeficiente de variación y desvío estándar indicarían una mayor proporción de cultivos en desarrollo durante el año, al mismo tiempo que un menor porcentaje del tiempo bajo barbecho.

Se determinó la variabilidad de los parámetros analizados a partir de su coeficiente de variación (CV), como también se realizaron análisis de correlación para estudiar la vinculación entre las distintas variables (Díaz *et al.*, 2009). Estos estudios se hicieron con el programa.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se detallan los valores medios, mínimos y máximos promedio de los distintos parámetros analizados, como también su coeficiente de variación, de acuerdo al uso actual de la tierra (agrícola o ganadero).

Tabla 1: Valores medios, mínimos y máximos promedio y el coeficiente de variación de las distintos parámetros estudiados, según su uso actual de la tierra (agrícola o ganadero)

Uso de la tierra Variable	Agrícola				Ganadero			
	Media	Min	Max	CV	Media	Min	Max	CV
Arcilla (%)	21	16	33	17	21	19	26	19
MNDVI7	0,48	0,44	0,53	5	0,53	0,52	0,55	3
DSNDVI7	0,23	0,19	0,26	8	0,22	0,15	0,26	28
CVNDVI7 (%)	48	39	56	9	43	28	51	30
MNDVI15	0,50	0,47	0,56	4	0,59	0,58	0,59	1
DSNDVI15	0,23	0,15	0,26	11	0,22	0,15	0,25	26
CVNDVI15 (%)	46	27	55	13	37	26	42	26
CT (%)	2,17	1,58	3,73	19	2,22	1,89	2,84	24
%<100 (%)	78	76	80	2	73	62	79	14
%>100 (%)	5	3	11	35	9	3	21	112
C<100 (%)	1,55	1,15	2,37	19	1,05	0,76	1,28	25
C>100 (%)	7,68	4,18	11,55	27	9,52	7,31	10,93	20
COA (%)	1,22	0,91	1,82	18	0,79	0,47	1,01	36
COP (%)	0,35	0,11	0,89	47	0,73	0,34	1,50	93
HR (mm)	0,98	0,46	1,68	31	1,48	1,34	1,73	15
DM (mm)	2,62	1,89	3,33	14	2,92	2,54	3,19	12
HL (mm)	2,44	1,46	3,28	19	2,74	2,05	3,19	22
ME (mm)	2,01	1,42	2,72	17	2,38	1,98	2,70	16

MNDVI7, DSNDVI7, CVNDVI7: NDVI promedio, su desvío estándar y su coeficiente de variación, respectivamente (período 2007-2020), MNDVI15, DSNDVI15, CVNDVI15: NDVI promedio, su desvío estándar y su coeficiente de variación, respectivamente (período 2015-2020), CT: carbono total, %<100, %>100: peso seco de la fracción < y > a 100 micrones, respectivamente, COA: carbono orgánico asociado a la fracción mineral del suelo, COP: carbono orgánico particulado, C<100, C>100: concentración de carbono de la fracción < y > 100, respectivamente. Min: valor mínimo, Max: valor máximo, CV: coeficiente de variación. **significativo (p<0,01), HR, HL, DM, ME: pretratamientos humedecimiento rápido, lento, disgregación mecánica y promedio de los tres, correspondientes al método de Le Bissonais.

Como se observa en la misma, los parámetros vinculados con la presencia de vegetación viva en los lotes bajo agricultura tuvieron baja variabilidad (CV entre 0 y 15 %) (Warrick y Nielsen, 1980), sin existir diferencias en este comportamiento según el intervalo de tiempo previo al muestreo considerado. De esta manera, si bien la rotación de cultivos pudo presentar diferencias en cuanto a las especies utilizadas, no varió sustancialmente el tiempo de ocupación de las mismas entre lotes, tanto en los últimos años (2015 a 2020) como en lo ocurrido en un plazo de tiempo mayor (2007 a 2020). Dentro de estas variables, el DSNDVI y CVNDVI presentaron mayor heterogeneidad que MNDVI, sobre todo en los lotes con pastura, debido en este último caso a que probablemente previo a la alfalfa hubo agricultura. Al comparar los valores de MNDVI y CVM-NDVI según uso de la tierra, los primeros fueron menores para las tierras bajo agricultura, mientras que los segundos resultaron inferiores para los lotes bajo pastura, indicando estos resultados una posible mayor pro-



ductividad primaria neta y una menor estacionalidad en los valores de NDVI para las tierras bajo ganadería. Estos resultados, aparte de incidir sobre las propiedades edáficas, también coinciden con los aportados por Vangeli (2019) para la cuenca del Arroyo del Tala (Provincia de Buenos Aires), aunque dicho autor encontró en general valores más bajos para el CVNDVI. El contenido de arcilla y de carbono total presentaron un CV medio (entre 15 y 50 %) (Warrick y Nielsen, 1980). Igual categoría mostraron la mayoría de los parámetros que surgen del fraccionamiento del carbono edáfico y los asociados a la estabilidad estructural. Entre estos, únicamente %>100 y COP mostraron alta variabilidad en las tierras bajo pastura (CV> 50 %) (Warrick y Nielsen, 1980), mientras que DM bajo ambos usos de la tierra y HR en aquellos lotes destinados a la ganadería presentaron un CV bajo. Si bien no se realizó una comparación de los valores medios de las propiedades edáficas entre ambos usos de la tierra, se infiere a partir de lo observado en Tabla 1, que al incluir ambos sistemas de producción en un mismo análisis, se obtendría un incremento en la variabilidad de estas propiedades.

Se buscó a través del análisis de correlación, identificar aquellos parámetros edáficos y relacionados con el uso previo de la tierra que podían incidir sobre la heterogeneidad de las propiedades estudiadas (Tablas 2 y 3).

Tabla 2: Coeficientes de correlación entre las variables surgidas del fraccionamiento del carbono con el contenido de arcilla y el MNDVI, DSNDVI y CVNDVI determinado para ambos períodos, considerando únicamente los resultados de las tierras bajo agricultura

Parámetros	CT	%>100	%<100	COP	COA	C>100	C<100
MNDVI7	ns	0,42*	NS	NS	ns	ns	Ns
DSNDVI7	-0,47**	NS	0,38*	-0,48**	-0,44*	-0,44*	-0,45*
CVNDVI7	-0,49**	-0,45*	0,42**	-0,49**	-0,36*	ns	0,38*
MNDVI15	ns	0,55**	-0,44*	ns	-0,36*	ns	ns
DSNDVI15	ns	-0,52**	0,46**	-0,49**	ns	ns	ns
CVNDVI15	ns	-0,56**	0,49**	-0,49**	ns	ns	ns
Arcilla	0,85**	0,51**	-0,51**	0,75**	0,76**	0,62**	0,78**

MNDVI7, DSNDVI7, CVNDVI7: NDVI promedio, su desvío estándar y su coeficiente de variación, respectivamente (período 2007-2020), MNDVI15, DSNDVI15, CVNDVI15: NDVI promedio, su desvío estándar y su coeficiente de variación, respectivamente (período 2015-2020), CT: carbono total, %<100, %>100: peso seco de la fracción < y > a 100 micrones, respectivamente, COA: carbono orgánico asociado a la fracción mineral del suelo, COP: carbono orgánico particulado, C<100, C>100: concentración de carbono de la fracción < y > 100, respectivamente. **significativo ($p<0,01$), * significativo ($p<0,05$), ns: no significativo.

Del análisis de la Tabla 2, se estima que parte de la variabilidad encontrada entre los lotes agrícolas de algunos de los parámetros que surgieron del fraccionamiento del carbono, podría ser explicada a partir del distinto esquema de ocupación temporal del suelo con cultivos en desarrollo. A pesar de que según se viera en la Tabla 1, el MNDVI, DSNDVI y CVNDVI para ambos períodos (2015-2020 y 2007-2020) presentaron una variabilidad baja entre lotes, estos parámetros presentaron coeficientes de correlación medios y significativos con algunas de las variables químicas. En este sentido y teniendo en cuenta las diferencias observadas entre ambos períodos de tiempo considerados, %>100 y %<100 estarían más influidos con lo sucedido en la rotación agrícola de los últimos 5 años, respecto a tener en cuenta un lapso de tiempo mayor. Contrariamente, CT, C>100 y C<100 responderían en mayor medida a lo ocurrido con los cultivos en un período de tiempo más extenso. A su vez, entre estos parámetros, CVNDVI y DSNDVI parecieran ser más adecuados para establecer este tipo de relaciones. Por su parte, al incluir en el análisis de correlación los resultados de los lotes ganaderos, y por lo tanto incrementando la variabilidad, los coeficientes de correlación aumentaron sensiblemente (resultados no mostrados). No obstante, el diferente contenido superficial de arcilla de los suelos explicó de mejor manera la variabilidad de las propiedades asociadas al fraccionamiento del carbono, sobre todo en lo que respecta a COP, COA, CT, C>100 y C<100.

En la Tabla 3 se detalla el análisis de correlación realizado entre los resultados de estabilidad estructural



con el MNDVI obtenido para ambos períodos, el contenido de arcilla y con los parámetros que surgieron del fraccionamiento del carbono.

Tabla 3: Coeficientes de correlación entre los resultados de estabilidad estructural y los correspondientes al MNDVI7, MNDVI15, contenido de arcilla y fraccionamiento del carbono

Parámetros	HR	DM	HL	ME
MNDVI7	0,60**	Ns	0,53**	0,52**
MNDVI15	0,53**	Ns	0,43*	0,43*
CT	0,47**	0,40*	Ns	Ns
%<100	-0,49**	-0,49*	Ns	-0,43*
C<100	0,39*	Ns	Ns	Ns
COA	0,36*	ns	Ns	Ns
%>100	0,45**	0,43*	Ns	0,43*
COP	0,41*	0,39*	Ns	0,37*
Arcilla	0,43*	0,44*	ns	Ns

MNDVI7: NDVI promedio (período 2007-2020), MNDVI15: NDVI promedio (período 2015-2020), CT: carbono total, %<100, %>100: peso seco de la fracción < y > a 100 micrones, respectivamente, COA: carbono orgánico asociado a la fracción mineral del suelo, COP: carbono orgánico particulado, C<100, C>100: concentración de carbono de la fracción < y > 100, respectivamente, HR, HL, DM, ME: pretratamientos humedecimiento rápido, lento, disgregación mecánica y promedio de los tres, correspondientes al método de Le Bissonnais. ** significativo ($p < 0,01$), * significativo ($p < 0,05$), ns: no significativo.

De su análisis se comprueba que, tanto MNDVI7 como MNDVI15, resultaron ser parámetros significativos para explicar en parte la variabilidad de la mayoría de los resultados surgidos de los pretratamientos del método de Le Bissonnais (1996). A su vez, se observa que un mayor período de tiempo de uso de la tierra previo al muestreo, incide en mayor medida sobre los resultados de estabilidad estructural, respecto a considerar solo los últimos 5 años. Por su parte, MNDVI7 y MNDVI15 fueron mejores parámetros de predicción para explicar la variabilidad de HR, que aquellos surgidos del fraccionamiento del carbono. También se comprobó, que DSNDVI Y CVNDVI no fueron variables explicativas del comportamiento de la variabilidad en la estabilidad estructural.

CONCLUSIONES

A pesar de la baja variabilidad presentada por MNDVI, DSNDVI y CVNDVI, resultados que demuestran una alta homogeneidad entre los lotes agrícolas estudiados en cuanto al período de ocupación por parte de los cultivos, estos parámetros podrían ser de utilidad en la predicción de las distintas fracciones del carbono orgánico del suelo superficial, como también de su estabilidad estructural. Algunas de las fracciones del carbono edáfico (CT, C>100, C<100) y la estabilidad de los agregados (HR, HL, ME), resultaron ser más sensibles al efecto generado por el uso de la tierra durante un intervalo de tiempo previo mayor, mientras que en otras fracciones del carbono (%>100, %<100) sería más importante la incidencia efectuada por los cultivos en un tiempo más corto. El contenido de arcilla presentó altos coeficientes de correlación con la mayoría de las variables asociadas al carbono orgánico, mientras que con aquellas ligadas a la estabilidad estructural estos fueron medios.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado a partir del UBACyT N 20020170100460BA



BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, J.F., S.L. Poggio, M. Ermácora, E.H. Satorre. 2017. Land use intensification in the Rolling Pampa, Argentina: Diversifying crop sequences to increase yields and resource use. *Eur J Agron* 82, 1–10.
- Cambardella, C.A., E.T. Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci Soc Am J* 56, 777–783.
- Castiglioni, M. 2017. Análisis de heterogeneidad en los patrones espaciales de las propiedades hidráulicas de suelos bajo distintas escalas de trabajo. Tesis de Doctorado. Univ.Nac. de Rosario.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, L.A. Gonzalez, E.M. Tablada, M. P. Díaz, C.W. Robledo, M. G. Balzarini. 2009. Estadística para las ciencias agropecuarias. 7ma ed. 372 pp.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 1974. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3560-2 (Rojas), 1:50000, Buenos Aires, Argentina.
- 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.
- Page, L.A., R.H. Miller, D.R. Keeney. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Second edition, *Soil Sci Soc Am*.
- Sellers, P.J., J.A. Berry, G.J. Collatz, C.B. Field, F.G. Hall. 1992. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. III. A reanalysis using improved leaf models and a new canopy. *Remote Sens Environ* 42,187-216.
- Six, J., S.D. Frey, R.K. Thiet, K.M. Batten. 2006. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Sci Soc Am J* 70, 555-569.
- Vangeli, S. 2019. El avance de la agricultura en tierras con características hidrohalmórficas bajo uso de pastizal. Su efecto sobre algunas propiedades edáficas. Tesis d Maestría. Escuela para graduados (FAUBA).
- Warrick, A.W., D.R.Nielsen. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.), *Application of Soil Physics*. Academic Press, New York, 319–344.

