

Primeros aportes en la predicción de propiedades edáficas usando imágenes satelitales.

Mario Castiglioni¹, Aimé Espínola², Lucas Gusmerotti², Sofia Havrylenko², Emilio Spinazzola¹.

1 Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453 (CABA), castigli@agro.uba.ar.

2 Instituto de Clima y Agua, INTA, Hurlingham (Buenos Aires), espindola.aime@inta.gob.ar.

Resumen. El análisis de imágenes multiespectrales derivadas de diferentes sensores remotos facilita en gran medida el monitoreo de los sistemas productivos agrícolas. La evaluación de diversos indicadores derivados de ellas, permite observar daños y situaciones que pueden afectar el desarrollo de los cultivos. Por otra parte, el uso más intensificado del suelo durante el año, es una práctica cada vez más utilizada ya que favorece el nivel de materia orgánica del suelo y contribuye a mejorar sus propiedades físico-químicas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar, a partir del uso de imágenes satelitales, la incidencia que tiene sobre distintas propiedades edáficas la proporción de tiempo que el suelo es ocupado con cultivos en desarrollo. La aplicación de esta metodología permitió predecir el comportamiento de distintos atributos de calidad del suelo. Dada la mayor resolución espacial brindada por las imágenes Landsat, la proporción de tiempo ocupada por cultivos en desarrollo, estimada mediante el uso de dicho sensor, se vinculó de manera más ajustada con aquellas propiedades ligadas al carbono lábil y a la calidad de la estructura.

Palabras Clave: imágenes multiespectrales, atributos edáficos, efecto de los cultivos.

1. Introducción

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 [1]. 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 generan diferentes sustancias cementantes que proporcionan una mayor estabilidad en la estructura del suelo y un incremento en el almacenaje del carbono orgánico edáfico [2]. Contrariamente, cuando la producción agrícola es menos intensificada y menos diversa, declina la calidad edáfica aún bajo sistemas de labranza con poca o ninguna remoción del suelo [3].

El Índice de Intensificación en la Secuencia de Cultivos (ISI), que resulta de la relación entre el número de meses en que los cultivos en desarrollo ocupan el suelo respecto al número total de meses de los años considerados, ha demostrado ser un parámetro que se vincula significativamente con el comportamiento de algunas propiedades edáficas [4], debido a la influencia favorable que tienen las raíces en crecimiento sobre la biología del suelo. No obstante, su determinación se ve limitada cuando no se dispone de información histórica sobre la sucesión de cultivos implementada en un determinado sitio.

Por su parte, 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 [5]. 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, permitiría 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/o cultivos y pasturas, que influye sobre el comportamiento de determinadas propiedades edáficas.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar en lotes de productores agropecuarios ubicados en una microcuenca localizada en el partido de Rojas (Provincia de Buenos Aires), la incidencia que tiene sobre distintas propiedades edáficas, la proporción del tiempo que es ocupado con cultivos en desarrollo, estimada a partir de imágenes satelitales.

2 Materiales y métodos

El área de estudio corresponde una microcuenca de 1495 ha, que se extiende entre los 34° 19' y 34° 14' LS y 60° 42' y 60° 37' LO, ubicada a 7 km al sureste de la localidad de Rojas, Provincia de Buenos Aires (Figura 1). La serie de suelos dominante es Rojas, clasificada como un Argiudol típico con textura limosa (arcilla: 22,9 %; arena: 27,7 %; limo: 49,4 %) [6]. En los últimos 30 años, la actividad predominante dentro de la microcuenca ha sido la agricultura continua, teniendo mayor relevancia la producción de cultivos de verano (soja y maíz) bajo siembra directa. No obstante, existen lotes bajo producción ganadera, ubicados en los sectores lindantes al curso de agua.

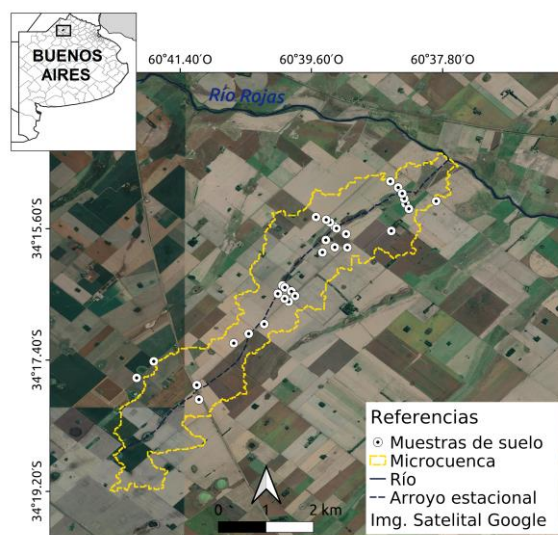


Fig. 1. Área de estudio en el Partido de Rojas, Buenos Aires.

Dentro de dicha área, en agosto de 2019 se obtuvieron 25 muestras de suelo superficial (0 a 10 cm), correspondientes a distintos lotes de productores [7]. Sobre cada una se determinó: pH [8], densidad aparente (Dap) (método del cilindro) [9], carbono orgánico total (COT) (método de Walkley y Black) [8] y particulado (COP) [10], estabilidad estructural (humedecimiento rápido (HR), lento (HL), disgregación mecánica (DM) y su promedio (ME) [11]) y el contenido de agua a capacidad de campo (CC) y en el punto de marchitez permanente (PMP) [12].

Asimismo, para los 25 lotes se estimó mediante dos métodos distintos, la proporción de meses ocupados con cultivos o pasturas en desarrollo, respecto al total de meses correspondientes a distintas ventanas temporales previas al muestreo de suelos (ISI). Con el primer método, dicha relación fue cuantificada a partir de la identificación de los cultivos y/o pasturas que ocuparon los lotes durante el período 2007-2019. Para cumplir con dicho propósito, se realizó una clasificación supervisada (CS) del uso del suelo para las cuatro estaciones climáticas del año, extrayendo el valor de píxel clasificado que coincidía espacialmente con el sitio muestreado a campo. Se utilizó el algoritmo Random Forest de la herramienta de procesamiento en la nube Google Earth Engine (GEE) sobre imágenes Landsat 5 y 8 [7].

En el segundo método propuesto para la estimación del ISI, se obtuvieron los valores de NDVI de los sitios de muestreo para cada paso del satélite, empleando también GEE y su catálogo de imágenes Landsat 5 y 8 (Surface Reflectance Tier 1) para el período 2007 a 2019. A partir de los valores de la banda *pixel_qa* se eliminaron aquellas fechas que presentaban nubes o sombra de nubes. Además, para explorar esta metodología con imágenes de diferente resolución espacial y temporal, se utilizaron también datos de NDVI de la versión 6.1 de los productos MOD13Q1 y MYD13Q1 del sensor Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS) de las plataformas Terra y Aqua, respectivamente, para el período 2001 a 2019. Para el desarrollo de esta metodología se tuvieron en cuenta tres valores umbral de NDVI (0,3; 0,4 y 0,5) que permitieron cuantificar el número total de visitas de cada satélite en los que se consideró efectiva la incidencia de los cultivos y/o pasturas sobre las propiedades del suelo. De esta manera, se estimó que en los períodos del año con valores iguales o inferiores a dichos umbrales, no habría efectos de la vegetación sobre las distintas variables edáficas, ya que a partir del análisis de las imágenes se corroboró que estos valores de NDVI correspondían a etapas sin cultivo y/o con malezas. Al mismo tiempo, se consideraron distintos períodos de tiempo de análisis: con las imágenes MODIS se contemplaron los 18, 10 y 5 años previos al muestreo de suelo, mientras que para las Landsat se tuvieron en cuenta los 13 y 5 años previos.

Para estudiar el grado de vinculación entre las propiedades edáficas con las tres formas de cálculo del ISI propuestas, se hicieron análisis de correlación y regresión lineal simple [13].

3 Resultados

En la Tabla 1 se observan los coeficientes de correlación mayores y más significativos, obtenidos entre las distintas propiedades edáficas con el ISI, cuantificado este último parámetro mediante el uso de imágenes Landsat (Landsat513), MODIS

(MODIS45) y por la identificación de los cultivos y/o pasturas presentes en los distintos lotes al usar una clasificación supervisada (CS). Como se observa en la misma, la mayoría de los atributos del suelo analizados se vincularon significativamente con las distintas formas de cuantificar la proporción del tiempo ocupada por los cultivos en desarrollo. Con el uso de las imágenes Landsat, estos coeficientes fueron superiores cuando se consideró un período previo al muestreo de suelos de 13 años y al utilizar un valor umbral de NDVI de 0,5 (Landsat513), mientras que con las provistas por MODIS los mejores coeficientes de correlación surgieron con un intervalo de tiempo previo de 5 años y un valor umbral de NDVI de 0,4 (MODIS45). Los resultados del análisis de correlación utilizando otras combinaciones de tiempo previo y valores de NDVI umbral, también fueron significativos pero menores a los detallados en la Tabla 1.

El ISI surgido con las imágenes Landsat se vinculó mejor con aquellas propiedades como el pH, las ligadas al carbono y a la estabilidad estructural del suelo, respecto a lo ocurrido con el ISI obtenido a partir de CS o con el resultante del uso de las imágenes MODIS. Este mejor comportamiento en los coeficientes de correlación, se debería a la mayor resolución espacial de las imágenes Landsat con respecto a las aportadas por MODIS. Sin embargo, el ISI surgido de las imágenes provistas por este último sensor, presentaron los mejores coeficientes de correlación con aquellas variables asociadas a la porosidad (Dap) y distribución de poros (CC y PMP). A su vez, el grado de asociación logrado entre las distintas propiedades edáficas y el ISI surgido de CS, fue en general intermedio o menor que en los restantes casos.

Tabla 1. Coeficientes de correlación entre las distintas variables edáficas superficiales y las distintas formas de cuantificar el ISI.

Variables edáficas	CS	Landsat513	MODIS45
Dap	ns	-0,48*	-0,58*
pH	0,85**	0,88**	0,70**
CO	0,74**	0,74**	0,60**
COP	0,85**	0,89**	0,76**
CC	0,67**	0,63**	0,72**
PMP	0,44*	0,46*	0,70**
HR	0,79**	0,94**	0,81**
HL	0,66**	0,68**	0,49*
DM	0,57**	0,46*	ns
ME	0,82**	0,85**	0,66**

Dap: densidad aparente; CO: carbono orgánico total; COP: carbono orgánico particulado; CC: contenido de agua a capacidad de campo; PMP: contenido de agua en el punto de marchitez permanente; HR: humedecimiento rápido; HL: humedecimiento lento; DM: disgregación mecánica; ME: estabilidad estructural promedio; CS: ISI calculado a partir de la identificación de cultivos y/o pasturas mediante una clasificación supervisada; Landsat513: ISI calculado con imágenes Landsat de los 13 años previos al muestreo y valor NDVI umbral de 0,5; MODIS45: ISI calculado con imágenes MODIS de los 5 años previos al muestreo y valor NDVI umbral de 0,4. Ns: no significativo; *($p < 0,05$); **($p < 0,01$).

La Figura 2 muestra los gráficos de dispersión en los cuales se puede observar el ajuste significativo entre el ISI generado por los distintos procedimientos y algunas variables del suelo como el COP y la estabilidad estructural (ME y HR). En todos los casos, mejoró el coeficiente de determinación (R^2) cuando se utilizaron imágenes del satélite Landsat en lugar de MODIS.

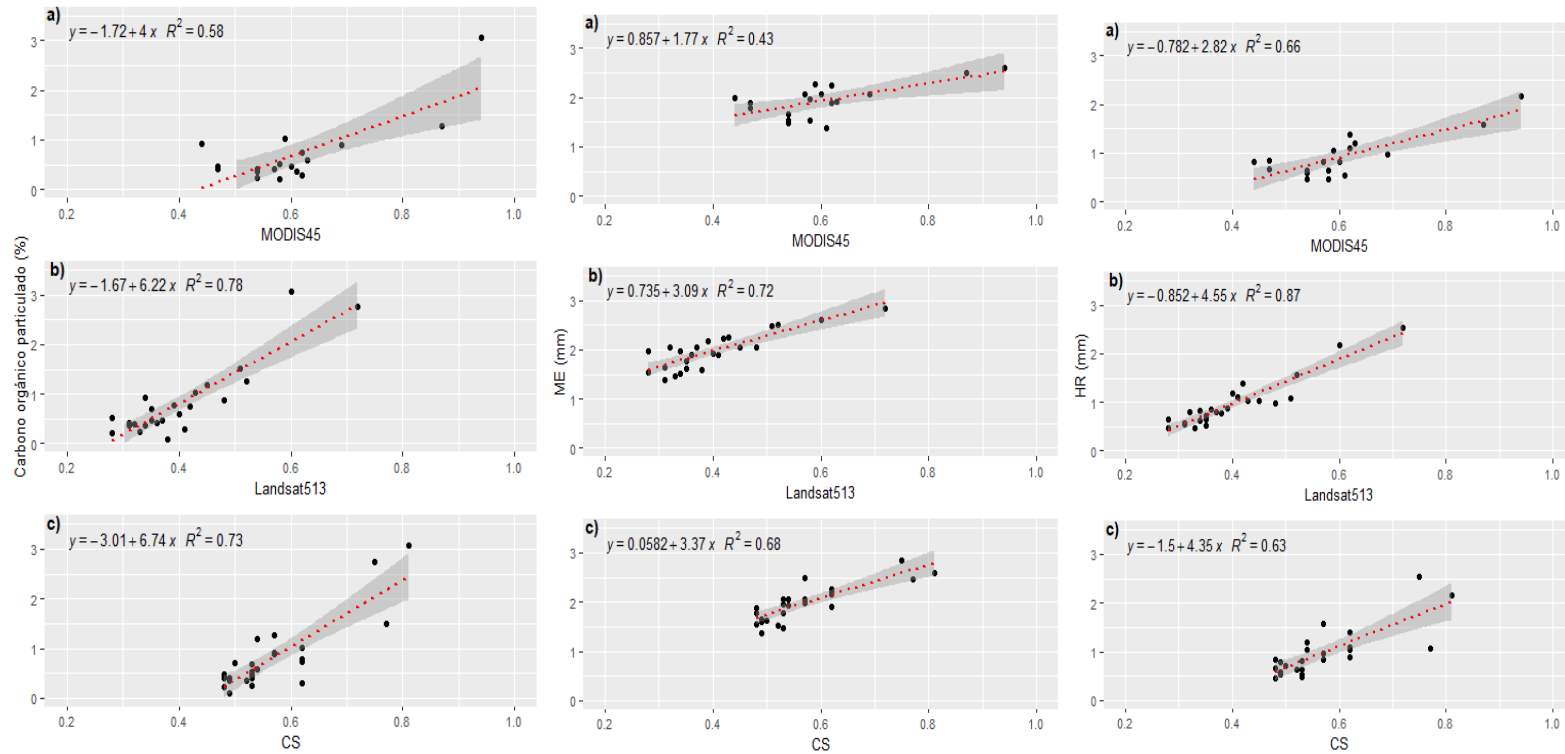


Fig. 2. Gráficos de dispersión con sus respectivas medidas de ajuste ($p < 0,05$) del contenido de carbono orgánico particulado, diámetro medio ponderado de agregados estables promedio (ME) y el correspondiente al pretratamiento de humedecimiento rápido (HR), respecto al ISI estimado de acuerdo con: a) imágenes MODIS de los 5 años previos al muestreo y valor NDVI umbral de 0,4 (MODIS45); b) al calculado con imágenes Landsat de los 13 años previos al muestreo, con valor NDVI umbral de 0,5 (Landsat513) y c) mediante la identificación de los cultivos presentes por medio de una clasificación supervisada (CS).

4 Conclusiones

El período de ocupación de los cultivos en desarrollo, cuantificado a partir del análisis de imágenes multiespectrales, resultó ser una metodología útil para poder predecir el comportamiento de algunos atributos de calidad del suelo. No obstante, quedan aspectos por investigar con mayor profundidad, dado que no hubo coincidencias entre los resultados surgidos de la utilización de las imágenes provistas por Landsat y MODIS, tanto en el intervalo de tiempo previo al análisis de suelo que más influiría sobre dichos atributos edáficos, como en el valor de NDVI umbral más recomendable para ser utilizado. De cualquier manera, teniendo en cuenta la mayor rapidez y sencillez que resulta de utilizar directamente el valor de NDVI para definir la proporción de tiempo ocupado por cultivos en desarrollo, hacen que esta última sea una alternativa preferible a la de identificar a los cultivos presentes.

5 Referencias

1. Andrade, J.F., Poggio, S.L., Ermácora, M., Satorre, E.H. Land use intensification in the Rolling Pampa, Argentina: Diversifying crop sequences to increase yields and resource use. *Eur J Agron* 82, 1–10. (2017).
2. Six, J., Frey, S.D., Thiet, R.K., Batten, K.M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Sci Soc Am J* 70, 555-569. (2006).
3. Sasal, M.C., Boizard, H., Andriulo, A.E., Wilson, M.G., Léonard, J. Platy structure development under no-tillage in the northern humid Pampas of Argentina and its impact on runoff. *Soil Till Res* 173, 33-41. (2017).
4. Sasal, M.C. Factores condicionantes de la evolución estructural de suelos limosos bajo siembra directa. Efecto sobre el balance de agua. Tesis Doctoral. Área Ciencias Agropecuarias. Escuela para Graduados. FAUBA. Pp 144. (2012).
5. Sellers, P.J., Berry, J.A., Collatz, G.J., Field, C.B., Hall, F.G. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. III. A reanalysis using improved leaf models and a new canopy. *Remote Sens Environ* 42,187-216. (1992).
6. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3560-2 (Rojas), 1:50000, Buenos Aires, Argentina. (1974).
7. Espíndola, A., Gusmerotti, L.A., Havrylenko, S.B., Laghi, J.D., Lisa, J.C., Castiglioni, M.G. Efecto de la intensificación en la secuencia de cultivos sobre algunas propiedades edáficas. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (2020).
8. Page, L.A., Miller, R.H., Keeney, D.R. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Second edition, *Soil Sci Soc Am* (1982).
9. Hao, X., Ball, B.C., Culley, J.L.B., Carter, M.R., Parkin, G.W. Soil density and porosity, In: Carter, M.R., Gregorich, E.G. (Eds.). *Soil Sampling and Methods of Analysis*, 2nd edition. Canadian Society of Soil Science. Taylor and Francis, LLC, Boca Raton, FL, pp. 743–759. (2008).
10. Cambardella, C.A., Elliott, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci Soc Am J* 56, 777–783. (1992).
11. Le Bissonnais, Y. L. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of soil science*, 47(4), 425-437. (1996).
12. Klute, A. Water Retention: Laboratory Methods. In A.Klute (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd. Ed. *Agronomy* 9,635-662. (1986).

13. Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Gonzalez, L.A., Tablada, E.M., Díaz, M.P., Robledo, C.W., Balzarini, M.G. Estadística para las ciencias agropecuarias. 7ma ed. 372 pp. (2009)