



CARTOGRAFÍA DIGITAL DE SUELOS A ESCALA DE PREDIO

Tenti Vuegen, L.M.^{1,2,*}, J. Irigoien^{1,2}, E. Montes Galbán^{1,3}, F. Trabichet^{1,3}, L.M. Bulos¹, V. Wagner¹, M. Petrask^{1,3}, J. de los Angeles Ramirez¹, V.E. Bonvecchi¹

¹ Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján, Argentina;

² Instituto de Suelos (CIRN). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina;

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. leonardotenti@gmail.com

RESUMEN

La Cartografía Digital de Suelos (CDS) usando el entorno y lenguaje de programación R constituye una metodología de trabajo impulsada desde la FAO para realizar predicciones de propiedades del suelo a escala nacional. Esta realiza predicciones a partir de la interrelación entre las propiedades del suelo y datos ambientales mediante el uso de diferentes modelos geoestadísticos. En este trabajo empleamos el algoritmo de aprendizaje automático Quantile Regression Forests. El objetivo de esta contribución es probar esta metodología a escala de predio en el Campo Experimental de la UNLu. Las propiedades mapeadas fueron pH y carbono orgánico total (COT). Para ello se muestrearon 150 sitios a dos profundidades, de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm y se emplearon como predictores covariables ambientales derivados del Modelo Digital del Terreno externo del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de 5 metros de resolución espacial. Las predicciones de pH mostraron un R^2 ajustado de 43% de 0 a 10 cm y de 54% de 0 a 20 cm, a diferencia de las de COT que estuvieron por debajo del 10%. Los resultados muestran que la CDS resultó una metodología válida que puede aplicarse a escala de predio con una densidad de observaciones de 2 por ha. y predictores de 5 metros de resolución espacial.

Palabras clave: cartografía digital de suelos, predicciones, campo experimental de la Universidad Nacional de Luján.

INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto "Infraestructura de Datos Espaciales del campo de la Universidad Nacional de Luján como herramienta de apoyo para la toma de decisiones" (RESREC-LUJ 213/19) nos propusimos la elaboración de mapas de propiedades del suelo del Campo Experimental empleando técnicas de Cartografía Digital de Suelos (CDS). Generar una infraestructura de datos espaciales (IDE) para consulta pública y sistematizar en un SIG la información geoambiental del campo experimental de la UNLu son los principales objetivos del proyecto.

La CDS se ha convertido en una subdisciplina de la Ciencia del Suelo a partir de su desarrollo desde la década de 1990 (Minasny y McBratney, 2015), que realiza predicciones de clases o propiedades del suelo basadas en mediciones de laboratorio de datos de campo y datos ambientales a través de modelos empíricos (Figura 1).



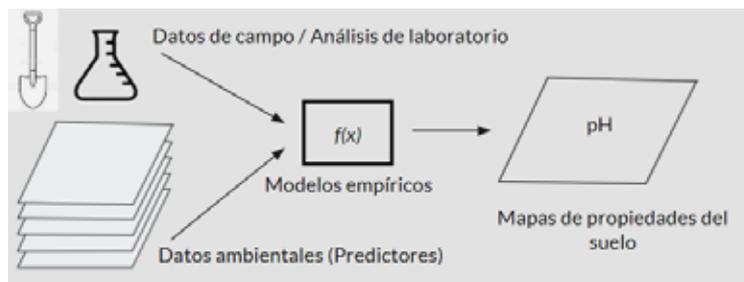


Figura 1: Cartografía Digital de Suelos.

En los últimos años se viene empleando CDS para la elaboración de mapas nacionales, como el de suelos afectados por sales (Rodríguez *et al.*, 2020), secuestro de carbono (Frolla *et al.*, 2021), predicción de stock de carbono orgánico del suelo (Olmedo *et al.*, 2021), suelos negros (Tenti Vuegen *et al.*, 2022) y los mapas digitales de textura de suelos (Schulz *et al.*, 2022).

El objetivo del trabajo que se presenta fue generar predicciones de propiedades del suelo empleando la metodología de la CDS pero en este caso a una escala de predio. Por lo tanto el desafío y principal aporte de esta contribución fue probar esta metodología para la generación de mapas de propiedades de suelos a una escala grande o de detalle. Para realizar predicciones a esta escala, fue necesario aumentar el detalle de los dos conjuntos de datos con los que se trabaja en CDS a escala nacional: la densidad de datos de campo y los predictores (datos ambientales).

MATERIALES Y MÉTODOS

El Campo Experimental de la Universidad Nacional de Luján se localiza al sur-este de la ciudad homónima (-34° 35' 24", -59° 4' 48"), en la Provincia de Buenos Aires, y presenta una superficie de 242 ha. (Figura 2). Se encuentra en la subregión geomorfológica de la Pampa Ondulada en la cuenca media del río Luján. El campo experimental de la UNLu es gestionado a través del Centro de Investigación, Docencia y Extensión en Producción Agropecuaria (CIDEPA). En el mismo se desarrollan actividades de producción, investigación, docencia y extensión. Cada una de estas actividades demanda información geolocalizada del predio que en la actualidad no está sistematizada, actualizada ni es de libre acceso a los diferentes usuarios.



Figura 2: Ubicación área de estudio

El diseño de muestreo de los sitios se realizó a partir de los centroides de una grilla regular de 140m x 140m. Se tomaron 150 muestras, lo que representa una muestra cada 1,6 ha. (Figura 3). Sin embargo la cantidad de datos de esas muestras utilizadas en el modelado de las predicciones variaron según la propiedad debido a que en la actualidad continúa el trabajo de análisis de laboratorio, por lo que se realizaron las predicciones con una muestra cada 2 ha. aproximadamente. Estas se tomaron a dos profundidades, de 0-10 cm y de 10-20 cm. Se determinó para ambas profundidades: pH actual (relación suelo:agua 1:2,5), por el método potenciométrico y carbono orgánico (COT) por el método de Walkley y Black (Jackson, 1976).



Figura 3: Sitios muestreados y potreros del campo experimental de la UNLu

Se utilizaron como covariables ambientales (predictores) parámetros del terreno obtenidos a partir del procesamiento del Modelo Digital del Terreno (MDT) del IGN, determinado por la empresa CONSULAR S.A. a partir de un relevamiento aéreo requerido por la Dirección Nacional de Preinversión Municipal (DINAPREM). Presenta una resolución espacial de 5 metros y se encuentra disponible para la cuenca del río Luján. Al MDT se le aplicó primero un filtro de pendiente y luego uno de paso bajo de 4x4m (Figura 4). Estos parámetros se generaron con el módulo Análisis Básico del Terreno de SAGA-GIS. En total se utilizaron 8 predictores: el MDT, seis parámetros del terreno derivados del mismo (Figura 5) y la digitalización de los potreros del Campo Experimental que se puede observar en las Figura 3.

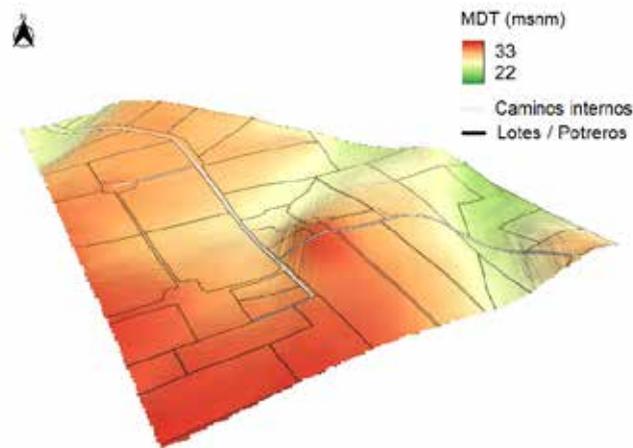


Figura 4. Vista 3D con escala (exageración) vertical 30 del MDT filtrado

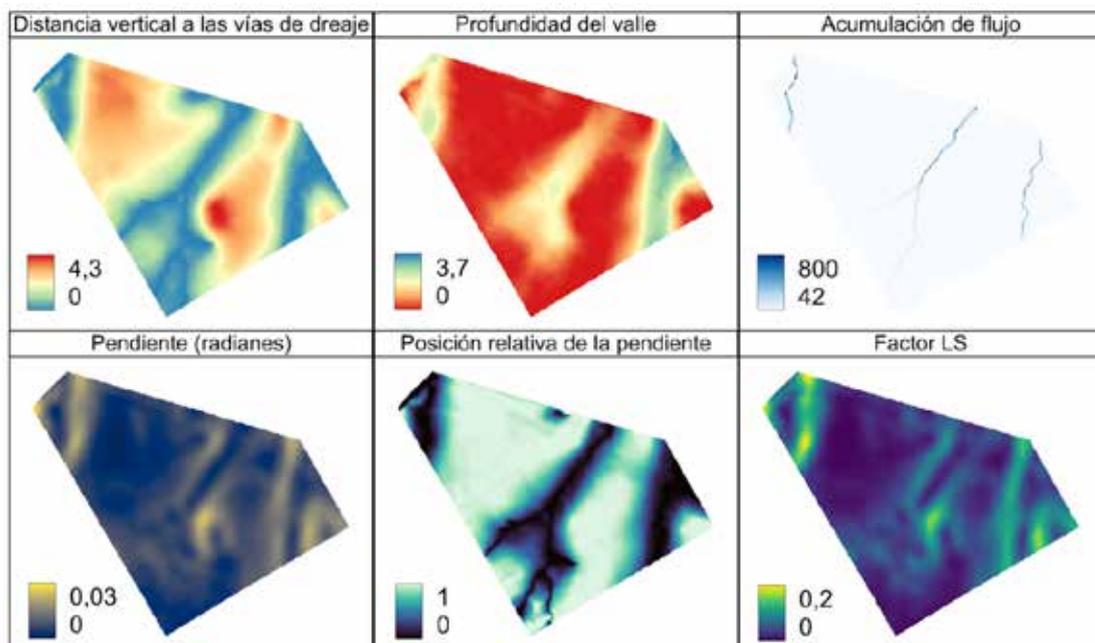


Figura 5. Parámetros del terreno derivados del MDT

Las predicciones fueron realizadas con el algoritmo de aprendizaje automático Quantile Regression Forest, una variante de Random Forest que ha demostrado ser consistente para realizar predicciones (Meinshausen, 2006). La evaluación del modelo se realizó a partir de una validación cruzada de 10 grupos (9 grupos se emplean para entrenar el modelo y 1 grupo se emplea para su validación) con 10 repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La modelización de las propiedades a predecir evidenció los mejores ajustes con el pH (R^2 ajustado = 0.43 entre 0-10 cm y R^2 ajustado = 0.54 entre 10-20 cm). Los errores en los modelos de pH de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm fueron: RMSE = 0.16 y 0.31 y el MAE de 0.12 y 0.15 respectivamente. Los predictores que tuvieron mayor peso en las predicciones de pH fueron el Modelo Digital del Terreno, el apotreramiento y la profundidad del valle.

La predicción de pH muestra los valores más altos asociados a la vaguada (mayores a 7 de 0 a 10 cm y a 8 de 10 a 20 cm). Entre 0 y 10 cm se observan valores relativamente más altos en la loma plana, donde se encuentran los potreros 13, 14 y 15, así como en la loma del tambo, correspondiente al potrero 1. De 10 a

20 cm, además de valores relativamente más altos en todo el campo experimental el pH aumenta a valores cercanos a 7 en la loma donde se encuentra ubicado el tambo (Figura 6).

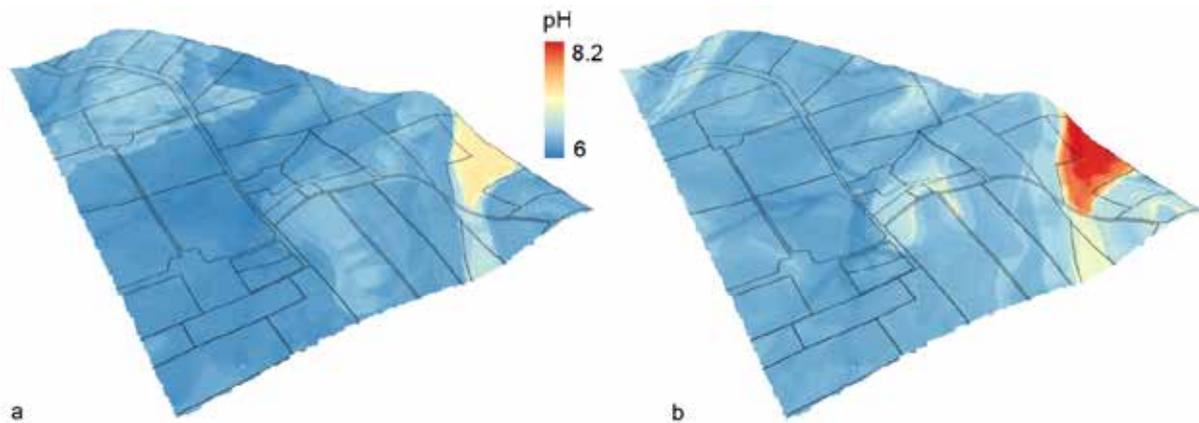


Figura 6. pH 0-10 cm (a) y pH 10-20 cm (b).

En cambio, el ajuste no fue bueno para la predicción de COT (R^2 ajustado = 0.10 entre 0-10 cm y R^2 ajustado = 0.03 entre 10-20 cm). Esto puede deberse a la baja correlación entre sus valores y los parámetros del terreno considerados en la modelización o a que estos no presentan una distribución espacial relacionada al paisaje ni al manejo de los potreros. Sin embargo los errores cuadráticos medios RMSE no son altos, siendo para la profundidad de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm de 0.46 y 0.30 respectivamente, con un error absoluto medio (MAE) de 0.38 y 0.23.

En cuanto al peso de los predictores en las predicciones de COT, al haber presentado un R^2 ajustado bajo, este se repartió entre los 8 predictores utilizados en la modelización.

Las predicciones reflejan los valores más altos COT de 0 a 10 cm (media de 2.4) que de 10 a 20 cm (media de 1.5) (Figura 7).

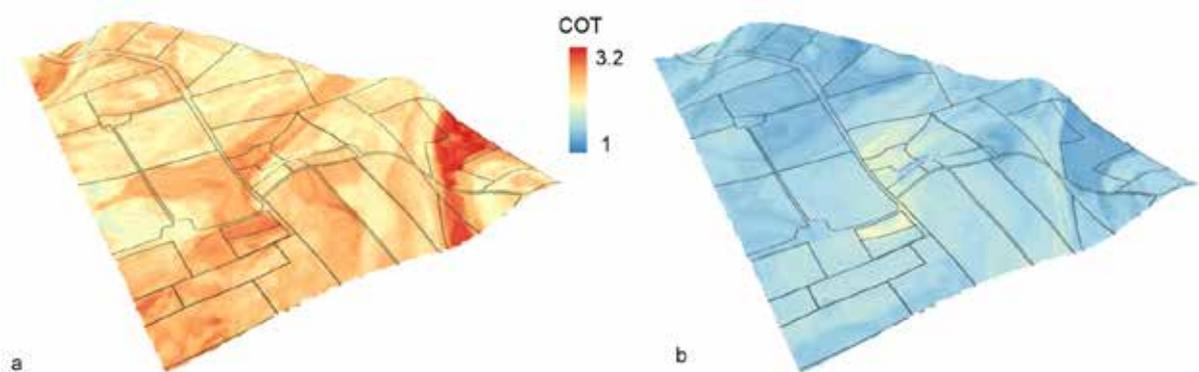


Figura 7. COT 0-10 cm (a) y COT 10-20 cm (b).

CONCLUSIONES

La elaboración de predicciones mediante Cartografía Digital de Suelos a escala de predio constituye una interesante alternativa a aquellas realizadas con geoestadística univariada o métodos de interpolación más simples (polígonos de Thiessen, ponderaciones de distancia inversa IDW, splines) o más complejos (kri-

gings). Si bien los modelos geoestadísticos univariados reconocen la autocorrelación espacial, la geoestadística multivariada que utiliza la CDS además integra el modelo factorial suelo-paisaje de Jenny, modelando la variabilidad espacial de las propiedades del suelo en función de la variabilidad del paisaje a través de las covariables ambientales. A esta escala se requieren predictores de calidad de alta resolución espacial y una importante densidad de datos de campo.

AGADECIMIENTOS

A Marcos Angelini por su generosidad para compartir sus conocimientos en la temática y por haber desarrollado el script empleado en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Franco Daniel Frolla, Marcos Esteban Angelini, Marcelo Javier Beltrán, Guillermo Ezequiel Peralta, Luciano Elias Di Paolo, Darío Martín Rodríguez, Guillermo Andrés Schulz, Carla Pascale Medina. Prediction stock of soil organic carbon in Argentina. Argentina: Soil Organic Carbon Sequestration Potential National Map. National Report. Version 1.0. Year: 2021. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/GSOCseq/Argentina_SOC_SequestrationPotentialNationalMap.pdf
- Jackson, ML. 1976. Análisis Químico de Suelos. Pp 662. Ed. Omega, Barcelona.
- Meinshausen, N. 2006. "Quantile Regression Forests", Journal of Machine Learning Research.
- Minasny, B., McBratney A.B. 2015. Digital soil mapping: A brief history and some lessons.
- Olmedo, G.F.; Angelini, M.E.; Schulz, G. A.; Rodríguez, D.M.; Taboada, M.A.; Pascale, C.; Escobar, D.; Guevara, M.; Heuvelink, G.B.M.; Colazo, J.C.; Gaitán, J.J.; Aleksa, A.S.; Babelis, G.C.; Peralta, A.R.; Peralta, G.; Rojas, J.M; Sainz Rozas, H.R.; Vizgarra, L.A. 2018. Prediction stock of soil organic carbon in Argentina. <https://zenodo.org/record/6323695#.YztBmnbMJPa>
- Rodríguez, D.M.; Schulz, G.A.; Tenti Vuegen, L.M.; Angelini, M.E.; Olmedo, G.F.; Lavado, R.S. 2020. Salt-affected soils in Argentina. <https://zenodo.org/record/6323102#.YzdZGHbMJPa>
- Schulz, G.A.; Rodríguez, D.M.; Angelini, M.E.; Moretti, L.M.; Olmedo, G.F.; Tenti Vuegen, L.M.; Colazo, J.C.; Guevara, M. 2022. Digital soil texture maps of Argentina. <https://zenodo.org/record/6312654#.YzdY1XbMJPa>
- Sparks, DL.; Page AL; Helmke PA; Loeppert RH; Soltanpour PN; Tabatabai MA. 1996. CT Johnson y ME Sumner (eds). Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. ASA-SSSA Book Series. Madison WI. USA. 1390 Pp.
- Tenti Vuegen, L.M.; Rodríguez, D.M.; Moretti, L.M.; De la Fuente, J.C.; Schulz, G.A.; Angelini, M.E. 2022. Black soils in Argentina. <https://zenodo.org/record/6323558#.YzdZ6HbMJPa>

