

## PREDICCIÓN ESPACIAL DE LÁMINA DE AGUA APROVECHABLE EN UN ANDISOL MEDIANTE GEOESTADÍSTICA FUNCIONAL

DIEGO L CORTÉS-D<sup>(1)</sup>, JESÚS H CAMACHO-TAMAYO<sup>(2)</sup>, RAMÓN GIRALDO H<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Ingeniero Agrícola, M.Sc. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología, Cr 30 48 51, Bogotá, Colombia. Tel: (57-1) 3204443698, E-mail: dlcortesd@unal.edu.co

<sup>(2)</sup> Ingeniero Agrícola, M.Sc., Ph.D. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería civil y agrícola, Universidad Nacional de Colombia.

<sup>(3)</sup> Ph.D en Estadística, Facultad de Ciencias, Departamento de estadística, Universidad Nacional de Colombia.

Apresentado no  
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015  
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

### RESUMO:

El suelo es un sistema que almacena y transfiere aire, agua, nutrientes y calor a microorganismos y plantas. Su capacidad de almacenamiento de agua es estudiada mediante el análisis de la curva de retención de agua (CRA) que establece la relación entre el contenido de agua del suelo y la fuerza con que es retenida. En este trabajo se seleccionó un área experimental con tipo de suelo Andisol, en la cual se estableció una grilla regular de 75 sitios, en donde se obtuvieron curvas de retención de agua a dos profundidades. Las curvas fueron sometidas a análisis geoestadístico funcional (GF), su aplicabilidad fue evaluada mediante la obtención de la lámina de agua aprovechable (LAA) y su posterior análisis espacial por los métodos tradicionales en el que los resultados fueron comparados con los datos experimentales. Los resultados de validación cruzada mostraron que el uso de GF tiene buen ajuste, dado que la correlación entre, los valores de LAA obtenida con los datos observados y la obtenida con las predicciones, fue alta con un  $R^2$  de 99%.

**PALAVRAS-CHAVE:** agua aprovechable, variabilidad espacial, datos funcionales, Kriging funcional

## SPATIAL PREDICTION OF AVAILABLE WATER CONTENT AN ANDISOL USING FUNCTIONAL GEOSTATISTIC

### ABSTRACT:

Soil is a system that stores and transfers air, water, nutrients and heat to microorganisms and plants. Its water storage capacity is studied by analyzing the water retention curve (WRC) that establishes the relationship between soil water content and strength with is retained. In this work an experimental area Andisol type, in which a regular grid of 75 sites was established, where water retention curves were obtained at two depths was selected. The curves were subjected to functional geostatistic analysis (FG), its applicability was evaluated by obtaining the available water content (AWC) and subsequent spatial analysis by traditional methods in which the results were compared with experimental data. Cross validation results showed that the use of GF has good fit, since the correlation between values obtained with AWC observed data and the predictions obtained was high with an  $R^2$  of 99%.

**KEYWORDS:** available water, functional data, functional Kriging, spatial variability

### INTRODUÇÃO

El estudio de la curva de retención de agua (CRA) del suelo establece la relación entre el contenido agua y la fuerza con que el agua es retenida. Los niveles críticos de contenido de agua en el suelo, usualmente estudiados son capacidad de campo (CC), que se logra después de que el suelo ha perdido agua de forma gravitacional, y punto de marchitez permanente (PMP), que se obtiene una vez que el agua es utilizada por las plantas y éstas no son capaces de absorberla.

En la actualidad se han realizado trabajos que dan a conocer diferentes opciones de análisis espacial, mediante las cuales, es posible realizar predicciones espaciales cuando para cada sitio de observación tiene una curva y no un dato. Éstas metodologías se conocen con el nombre de geoestadística funcional (Giraldo et al., 2010). Su aplicación requiere, como fase previa, la implementación de técnicas de suavizado para convertir los datos de cada sitio en funciones. Mediante el análisis de GF es posible realizar la interpolación espacial de curvas.

En este trabajo se aplica GF a CRA obteniendo valores de lámina de agua aprovechable, con el objetivo de evaluar su capacidad predictiva y su potencial como herramienta para la descripción de la variabilidad espacial de este tipo de datos. Para este fin, se llevó a cabo un análisis de validación cruzada (predicción en sitios donde ya hay información), para estimar errores de predicción y compararlos con los obtenidos con métodos clásicos de predicción univariada, tradicionalmente usados para el análisis espacial.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

El área de estudio está ubicada en el municipio de Mosquera (Cundinamarca) en las coordenadas geográficas 4° 42' N, 74° 12' y una altitud de 2543 m. El suelo es un Andisol con horizonte Ap espeso y oscuro, originado de sedimentos lacustres, con aspersiones de cenizas volcánicas y aportes de arcillas aluviales. La unidad experimental fue de 3,1 ha destinado a la ganadería. El muestreo se realizó a dos profundidades, de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm, en una grilla regular de 75 sitios. Se determinó la CRA del suelo en cada sitio y en cada profundidad, mediante equipo de membranas y ollas de presión, aplicando presiones de 0,1; 0,3; 0,5; 1; 3; 5; 10 y 15 bar.

Se empleó Kriging funcional (Giraldo, 2009) que consistió en retirar la curva de cada sitio y con las restantes 74, predecir la curva retirada, (predicción en un sitio no visitado) obteniéndose así, para cada sitio, una curva “observada” y una curva predicha por Kriging funcional, con el fin de llevar a cabo un análisis de validación cruzada. Considerando las curvas observadas y las curvas obtenidas mediante la predicción funcional, se determinó para cada sitio la lámina de agua aprovechable LAA del suelo en estudio, que está definida como la diferencia entre los puntos de CC y PMP, cuyo contenido de agua se da a presiones de 0,3 y 15 bar respectivamente.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Se evaluó el comportamiento general del suelo, en términos de retención de agua, en la zona de estudio mediante la obtención de la CRA media a cada profundidad (Figura 1), se encontró que el suelo estudiado presenta CRA aplanadas y de comportamientos similares en cada profundidad estudiada, con reducida diferencia entre CC y PMP, lo que representa una mayor presencia de microporos que evidencia compactación en suelo (Gómez-Rodríguez 2011). Las curvas obtenidas son comunes de suelos francos, según lo encontrado por Jara & Valenzuela (1998), en donde los valores de CC y PMP son de 0,30 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> y 0,26 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> en ambas profundidades, valores cercanos a los reportados por Montenegro & Malagón (1990) y Gómez-Rodríguez et al., (2013).

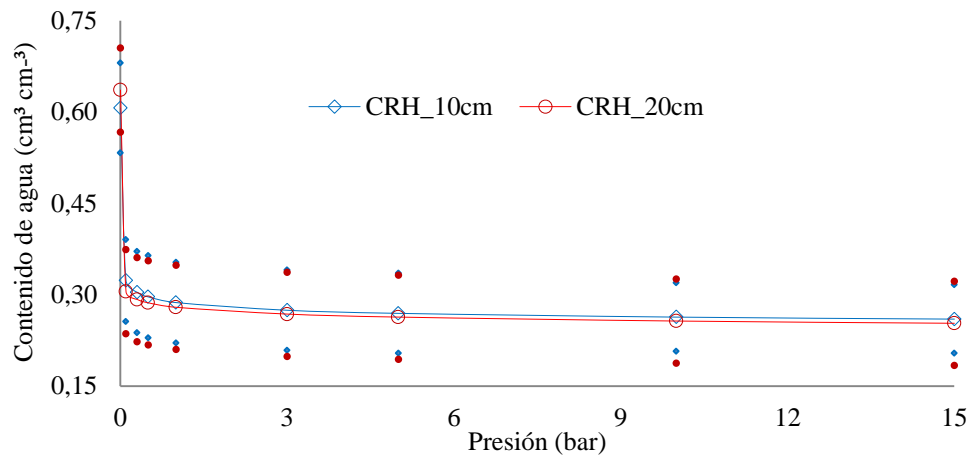


Figura 1: Curva media de retenção de agua.

Se determinó, con los datos observados y con los datos de las curvas predichas en cada sitio, el valor de la lámina de agua aprovechable LAA, a partir de la diferencia entre los contenidos de agua en CC y en PMP. De esta forma se obtuvo un indicador numérico del comportamiento del ajuste, mediante regresión lineal simple para comparar los valores observados de cada sitio con los valores predichos. Las regresiones obtenidas se muestran en la Figura 2. Es evidente que hay una alta correlación entre las observaciones y las predicciones, más del 99% de los datos observados, son explicados por el predictor propuesto.

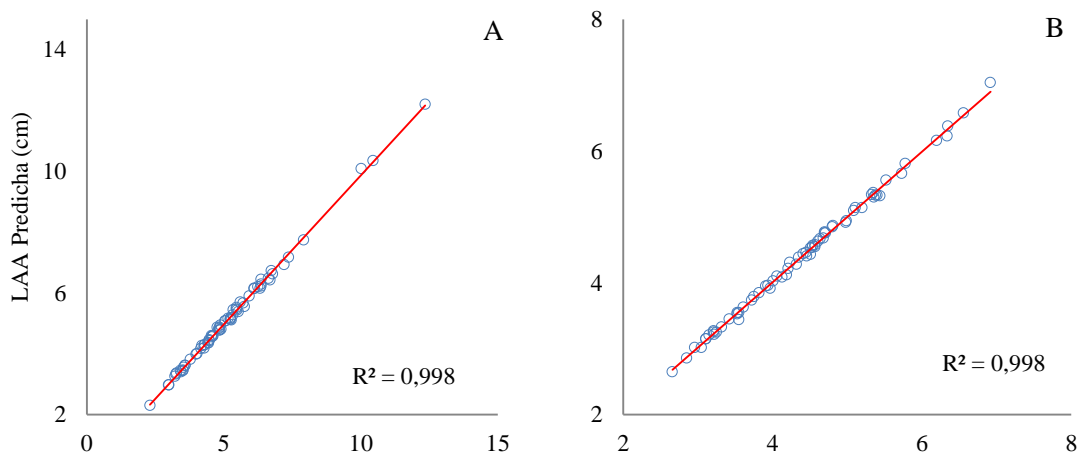


Figura 2: Validación cruzada lámina de agua aprovechable. (a) 10 cm; (b) 20 cm.

Los mapas muestran que existe alta variabilidad espacial del suelo en términos de las propiedades estudiadas (Figura 3). Se observa que los mapas elaborados a partir de los valores determinados mediante Kriging funcional, son coherentes y conservan una distribución espacial cercana a la de los datos observados, evidenciado por las mínimas diferencias presentes en cada caso.

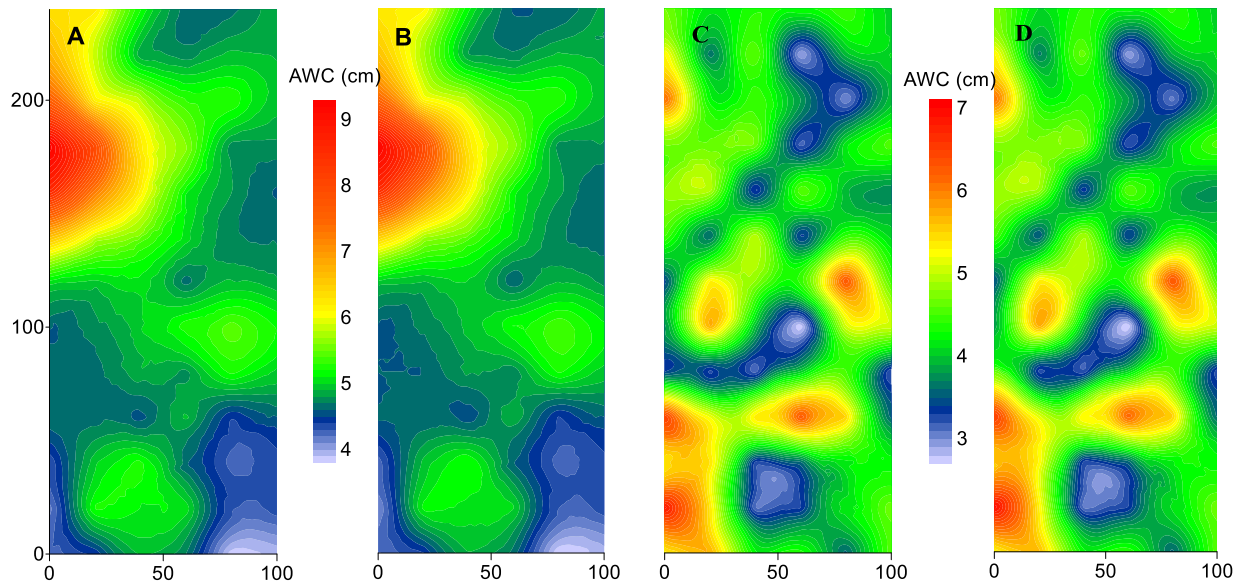


Figura 3: Mapas de distribución de lámina de agua aprovechable en Andisol A LAA observada a 10 cm; B LAA predicha a 10 cm; C LAA observada a 20 cm; D LAA predicha a 20 cm.

## CONCLUSÕES

En general las zonas de estudio presentan altos niveles de compactación y mayor presencia de microporos, esto se infiere dado el patrón de las curvas de retención de agua en el suelo por su comportamiento y forma aplanada, con una reducida diferencia entre CC y PMP.

Los resultados de validación cruzada mostraron que el uso de GF tiene buen ajuste, dado que la correlación entre, los valores de LAA obtenida con los datos observados y la obtenida con las predicciones, fue alta con un  $R^2$  de 99%, en las 2 profundidades estudiadas.

Los mapas de LAA elaborados a partir de las predicciones conservan una distribución cercana a la de los datos observados, además permiten observar el buen ajuste que se da como repuesta de la aplicación de la geostatística funcional, pues son pocas las diferencias marcadas entre los mapas.

## REFERÊNCIAS

- Giraldo, R. 2009. Geostatistical analysis of functional data. Barcelona. PhD Thesis submitted to Universitat Politècnica de Catalunya
- Giraldo, R., Delicado, P. & Mateu, J. 2010. Continuous time-varying Kriging for spatial prediction of functional data: an environmental application. Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics. 15, 66–82.
- Gómez-Rodríguez, K. 2011. Incidencia de la compactación ocasionada por el tractor en las propiedades físicas en un Andisol. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Gómez-Rodríguez, K., Camacho-Tamayo, J.H. & Vélez-Sánchez, J.E. 2013. Changes in water availability in the soil due to tractor traffic. Eng. Agric. 33, 1156-1164.
- Jara J. & Valenzuela A. 1998. El agua en el suelo. Universidad de la Concepción, Chile.
- Montenegro H. & Malagón D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.