

**SUELO**

**ARTÍCULO ORIGINAL**



<https://eqrcode.co/a/PYf0Vz>

# Comportamiento geoespacial de algunas propiedades del suelo en el cultivo de la caña de azúcar

## *Geospatial Behavior of Some Properties of Soil in Sugar Cane Crop*

Lic. Antonio China-Horta<sup>I</sup>, MSc. Lilibeth Rodríguez-Izquierdo<sup>II</sup>

<sup>I</sup> Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric). Boyeros, La Habana, Cuba.

<sup>II</sup> Universidad de Matanzas, Departamento Agronomía, Matanzas, Cuba.

**RESUMEN.** El objetivo del estudio fue evaluar la variabilidad espacial de algunas propiedades químicas y sus relaciones mediante técnicas geoestadísticas, en suelos cultivados con caña de azúcar. Este se realizó en áreas de la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) 28 de enero, de la provincia de Matanzas. Las muestras de suelo para el análisis agroquímico se tomaron según la metodología del Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE) del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). El análisis estadístico multivariado y las técnicas geoestadísticas permitieron identificar y cuantificar el grado y escala de variación espacial, así como, comprender las interrelaciones entre las variables pH del suelo,  $P_2O_5$  y  $K_2O$ , que inciden en el desarrollo de la caña de azúcar. El coeficiente de variación fue alto para el fósforo y medio para el pH y potasio. Los mapas de contornos representaron valores estimados de sitios no muestreados. Los resultados pueden tomarse en consideración para realizar un manejo más preciso en la planificación de la fertilización y otras enmiendas.

**Palabras clave:** geoestadística, variabilidad espacial, sistema de información geográfica.

**ABSTRACT.** The objective of this study was to evaluate the spatial variability of some chemical attributes and their relationships using multivariate analysis and geostatistics techniques, in soils cultivated with sugar cane. The study was carried out in areas of the Agricultural Cooperative (APC) 28 de Enero of the Matanzas province. The samples of the soil chemical analyses were collected according to the Service of Recommendations of Fertilizers and Amendments (SERFE) of the Sugar Cane Research Institute (INICA). The multivariate statistics analysis and geostatistics techniques allowed to identify and quantify the grade and scale of space variation, as well as, to understand the interrelationship among the variables pH of the soil,  $P_2O_5$  and  $K_2O$ , that have an impact in the development of sugar cane. The variations coefficient was high for the phosphorus and middle for pH and potassium. The contour maps represented estimated values of non-sampled places. The results can take in consideration to carry out a more precise handling in the planning of the fertilization and other amendments.

**Keywords:** Geostatistics, Spatial Variability, Geographic Information System.

## INTRODUCCIÓN

La era actual está caracterizada por crisis económicas y la creciente presión por mantener la integridad medioambiental, por ello se impone la necesidad de realizar un uso adecuado y preciso de los fertilizantes en la agricultura (Meyer *et al.*, 2011). Un manejo agrícola eficiente evita rendimientos bajos e

inestables, costos de producción excesivos, degradación rápida de los suelos y contaminación del medio ambiente Aguilar *et al.* (2013); para ello es fundamental el análisis de la variabilidad espacial de las propiedades de los suelos y sus cambios temporales (Arcia, 2012; Debelis, 2017). También, resulta indispensable

<sup>1</sup> Autor para correspondencia: Antonio China-Horta, e-mail: china71@nauta.cu

**Recibido:** 20/05/2020.

**Aprobado:** 09/12/2020.

para el mapeo por zonas Yescas *et al.* (2018), como metodología de diagnóstico y de toma de decisiones (Aguilar *et al.*, 2013).

Investigaciones relacionadas con la fertilización por sitio específico y su influencia en el rendimiento del cultivo de la caña de azúcar, han demostrado que dentro de un campo cañero existe variabilidad espacial (Cabrera *et al.*, 2002). En Cuba son escasos los estudios realizados para determinar la variabilidad espacial de las propiedades químicas de los suelos, sin embargo, se ha demostrado que estas son más variables que las físicas, sobre todo cuando los suelos son sometidos a una actividad agrícola intensiva (Montero *et al.*, 2000).

A partir de la década de los 90, se desarrollaron técnicas novedosas para el levantamiento y mapeo de suelos, basadas en un modelo continuo de variación espacial (Vargas *et al.*, 2015). También comenzaron a emplearse modelos geoestadísticos según Matheron (1969), que combinados con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten predecir las propiedades de los suelos en lugares no muestreados (Debelis, 2017). El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la variabilidad espacial de algunas propiedades químicas y sus relaciones a partir de técnicas geoestadísticas, en suelos cultivados con caña de azúcar.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en 1 25,62 hectáreas plantadas con caña de azúcar comercial de la CPA 28 de enero, pertenecientes a la Unidad Empresarial de Base (UEB) Jesús Rabí. Estas áreas se localizan en el municipio de Calimete, provincia de Matanzas entre las coordenadas geográficas 22°28'25.91"N; 80°53'43.31"W (Proyección Cónica Conforme de Lambert, con origen Cuba Norte), a una altitud de 35 m respecto al nivel medio del mar. El clima es tropical húmedo, con promedios anuales de precipitación entre 1 400 y 1 600 mm y una temperatura media anual de 24,5 °C, según datos de la Estación Meteorológica de Gispert del municipio de Colón, de la referida provincia. El tipo de suelo predominante es Ferralítico rojo según el Instituto de Suelos (1975) (Figura 1) caracterizado por un perfil bien desarrollado tipo ABC, con predominio de arcilla 1:1; productivos y fáciles de laborar, con un drenaje de bueno a moderado. El relieve predominante es llano y la pendiente no supera el 2%. El 32% del área se encuentra bajo riego y el 100% de la cosecha es mecanizada.

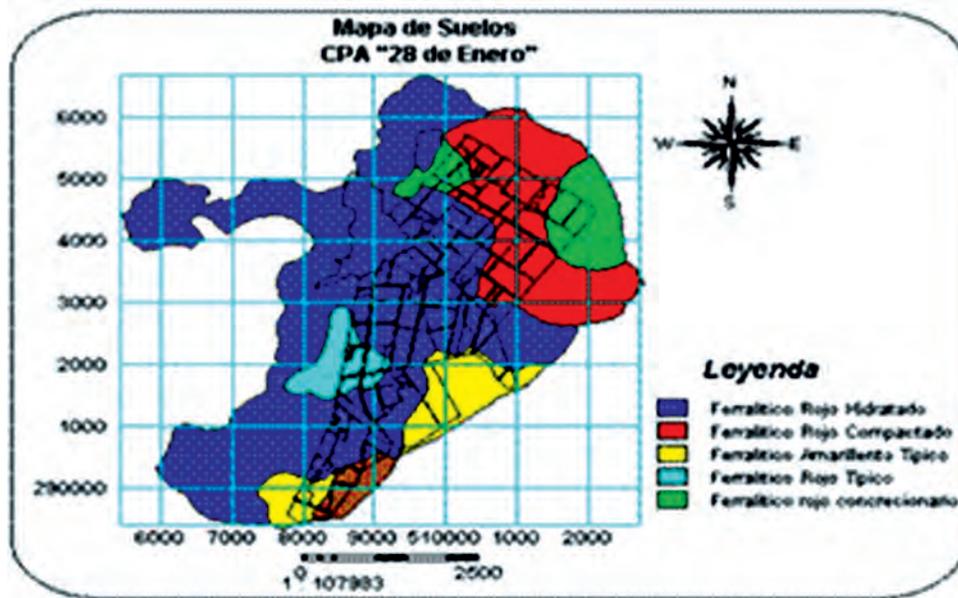


FIGURA 1. Mapa de suelos con la estructura de las áreas cañeras de la CPA 28 de enero.

Se utilizó el catastro especializado cañero a escala 1:10 000 para vectorizar las áreas de caña como Unidad Mínima de Manejo (UMM) (campo cañero) y el Mapa Nacional de los Suelos a escala 1:25 000 (Ministerio de la Agricultura de Cuba [MINAG], 1990), para vectorizar los contornos de suelo y mediante la superposición de mapas quedó conformada la base de datos espacial.

Se creó una base de datos de atributos, con la información correspondiente a la campaña 2013-2014, la Base de Datos Agrícola (BDA) y los resultados analíticos de las 63 muestras tomadas. Se utilizó para el muestreo agroquímico del suelo la metodología propuesta por el Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas SERFE (1997) del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), que propone la

toma de muestras exclusivamente antes de la plantación cuando el terreno está listo para surcar. El muestreo se realizó por UMM independientemente de su superficie. Para alcanzar mayor representatividad de la fertilidad del suelo, en cada campo, con el empleo de barrena agroquímica, se tomaron 30 sub-muestras por la diagonal en los primeros 20 cm de profundidad, y así conformar una muestra compuesta (1 kg aproximadamente). Los análisis se realizaron en el Laboratorio de suelo, tejido vegetal y agua de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) de Jovellanos, Matanzas.

Se determinó el pH en KCl por el método potenciométrico y el contenido de fósforo (mg  $P_2O_5$ /100 g de suelo) y potasio (mg  $K_2O$ /100 g de suelo) asimilables con el método de Oniani (extracción con  $H_2SO_4$  0,1 N) por colorimetría y fotometría de

llamas, respectivamente. Los resultados analíticos generaron una base de datos digital de atributos que fue asociada a la base de datos espacial a través de identificadores comunes, mediante el SIG ILWIS ver. 3.4 (Integrated Land and Water Information System, ITC, ILWIS System).

Para el análisis descriptivo de los datos se utilizó el software STATGRAPHICS 5.5 que permitió el cálculo de la media, mediana, mínimos, máximos, desviación estándar y coeficiente de variación. Los semivariogramas se calcularon con el uso de módulos geoestadísticos del SIG a partir de la varianza de pares de puntos a diferentes distancias, con ajuste manual de los modelos al semivariograma empírico. Por medio de estos, se determinó la existencia de estructura espacial para las variables del suelo a través de la identificación de dependencia espacial, alcance, distancia y tamaño óptimos del área a muestrear.

El análisis geoestadístico se efectuó en tres etapas: análisis exploratorio de los datos, análisis estructural con ajuste de modelos teóricos y predicciones o estimaciones de las variables en los puntos no muestreados (Moral, 2004). Una vez conocido

el modelo teórico y el valor de los parámetros del semivariograma, se aplicó el método de interpolación Kriging ordinario, para obtener los mapas de contornos con las predicciones de distribución de los valores de las variables en el área de estudio, mediante los módulos geoestadísticos del SIG.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico descriptivo de las 63 muestras de suelo se observa en la Tabla 1. Las variables en estudio mostraron gran dispersión. Según Xavier y Déleg (2018), valores en el coeficiente de variación inferiores al 12% indican baja variabilidad, media entre 12 y 60% y alta si superan el 60%.

Los valores de la media y mediana fueron apreciablemente próximos, lo cual refiere que los datos no presentan una asimetría acentuada, pues cuando los valores de la media y mediana se asemejan, estos se aproximan a la distribución normal Mestas *et al.* (2018); lo que indica que son adecuados para el uso de la geoestadística.

**TABLA 1. Estadísticos calculados para las variables de suelo**

Descriptores estadísticos	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100 g de suelo)	K <sub>2</sub> O (mg/100 g de suelo)
Media	5,34	4,70	18,51
Mediana	5,05	2,34	18,15
Desviación estándar	0,99	5,18	9,61
Mínimo	4,0	0,73	2,18
Máximo	7,3	20,8	56,02
Coeficiente de variación (%)	18,68	110,27	51,91

El pH presentó un valor medio en el coeficiente de variación que coincide con los resultados reportados por Guachamin (2019). El fósforo (P) presentó un alto coeficiente de variación, mientras que el potasio (K) mostró valores medios; en investigaciones similares se obtuvieron coeficientes de variación entre 50-70% del K cambiante, con inestabilidad en el espacio (Fernández, 2017).

Los resultados confirman que las variables analizadas difieren no solo de un campo a otro, sino también dentro de un mismo campo. Los valores altos del coeficiente de variación de P y K pueden atribuirse a una marcada variabilidad del suelo Palma *et al.* (2005); Xavier y Déleg (2018), pues como muestra la Figura 1, en la CPA existen varios subtipos. Esto indica la necesidad de desarrollar estudios diferenciados de suelo para su manejo según sus propiedades (Hernández *et al.*, 2013; García *et al.*, 2018). Los cultivos de forma general y en particular la caña de azúcar, transforman las propiedades químicas y físicas del suelo Arcia (2012); por ello, el SERFE recomienda en la fertilización química, las dosis adecuadas y aplicaciones oportunas, a las necesidades específicas del cultivo de acuerdo al tipo de suelo Mas *et al.* (2016), lo que permite un mayor aprovechamiento del potencial agroecológico que posee la unidad productiva.

En los modelos teóricos para los semivariogramas (Figura 2), el modelo esférico omnidireccional mostró un mejor ajuste,

lo que refiere que las variables tienen un comportamiento isotrópico. Este método se basa en el hecho, de que los datos se correlacionan espacialmente, es decir, un dato se relaciona con otros cercanos, pero a medida que estos se alejan, la dependencia espacial disminuye (Cressie, 1991). Esta técnica permite cuantificar la variación de propiedades en distintas direcciones del espacio (Gallardo, 2006). Se han obtenido modelos teóricos de semivariogramas adecuados para los atributos químicos del suelo (Camacho *et al.*, 2008). En los semivariogramas experimentales, la semivarianza aumentó con el incremento de la distancia entre sitios, hasta el rango en el cual se estabiliza, lo que es un principio natural en las propiedades del suelo estudiadas (Silva *et al.*, 2011).

El pH presentó una estructura espacial hasta 750 m, a partir de esta distancia, la curva descrita tiende a ser constante; por encima de este valor, no existe dependencia espacial o correlación entre los datos. Esta distancia crítica en Geoestadística se conoce como rango de longitud de influencia o de correlación de la información, y es una medida de variabilidad espacial: un rango alto, indica datos homogéneos, mientras que un rango pequeño, expresa alta variabilidad espacial (Silva *et al.*, 2011). de muestreo con un espaciado menor que 750 m. Además, existe un residuo (Nugget) de 0,35 que, aunque es bajo, representa la varianza no explicada por el modelo y puede atribuirse a errores de muestreo o a variabilidad en pequeña escala.

El P presentó dependencia espacial entre los datos, caracterizada por un valor de residuo igual a cero, una meseta (Sill) de 1,04 y un alcance o rango de longitud de 898 m. El K mostró un alcance a mayor distancia (2000 m), la meseta fue 86,5, sin

embargo, el residuo resultó alto (20,0). Como se observa, las variables presentan un amplio rango de dependencia espacial que va desde 750 m hasta 2000 m, por lo tanto, se estiman diferentes zonas de influencia, dependiendo de la variable analizada.

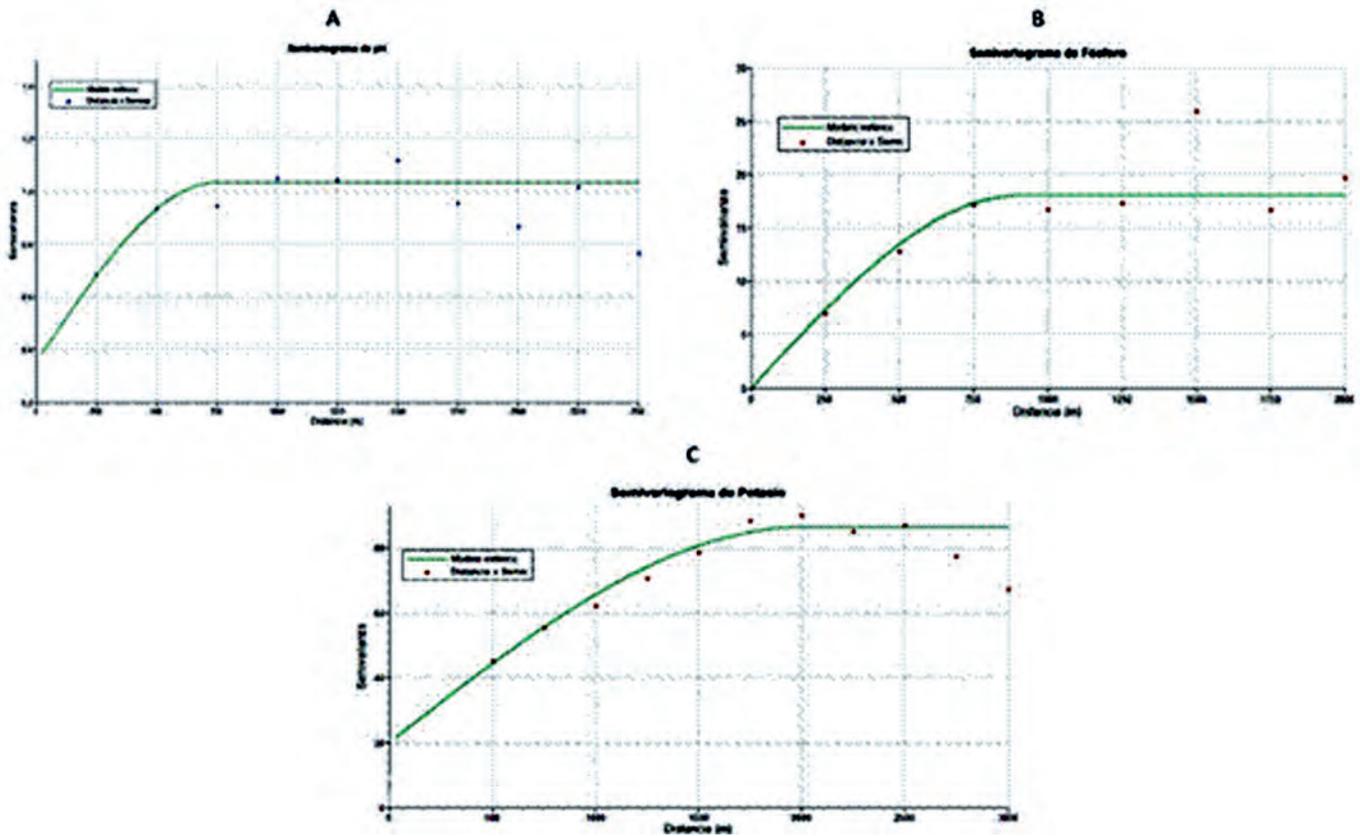


FIGURA 1. Curvas de semivariograma para las variables analizadas: pH (A), fósforo (B), potasio (C).

Los histogramas de frecuencia mostraron una distribución asimétrica. Los valores de pH con mayor frecuencia están en el rango de 4,3 a 5,5 lo cual indica predominio de suelos ácidos (SERFE, 1997). El pH óptimo para el desarrollo de la caña de azúcar es de 6,5 (ligeramente ácido) aunque tolera suelos alcalinos Meyer *et al.* (2011); con un pH próximo a 4,5, la acidez del suelo limita la producción, principalmente por la presencia de aluminio intercambiable y de algunos micronutrientes como hierro y manganeso que pueden ocasionar toxicidad y muerte de la planta (Fernández *et al.*, 2012), lo que hace necesario realizar un programa de encalado según (Palma *et al.*, 2005).

El P presenta un rango de frecuencia entre 0,63 y 5,0 mg de  $P_2O_5$  / 100 g de suelo. Estos valores se inclinan hacia niveles críticos de fósforo SERFE (1997), por tanto, existe la necesidad de realizar aplicaciones de fertilizantes fosfóricos, que son fundamentales para el crecimiento y rendimiento del cultivo. Por su parte, el K presenta un rango amplio que abarca entre 8,0 y 25,0 mg de  $K_2O$  / 100 g de suelo, también caracterizado como bajo contenido de potasio asimilable del suelo.

La Figura 2 representa los mapas de contornos generados a partir de la interpolación de las variables químicas, que mues-

tran la alta variabilidad espacial existente en la CPA.

La técnica de interpolación, es una herramienta útil para la construcción de mapas que permite comprender la variabilidad de las propiedades del suelo en un área específica, así como, profundizar en el diagnóstico y recomendación de fertilizantes y enmiendas Fernández (2017); Garbanzo *et al.* (2017); Arciniegas y Gómez (2018); Yescas *et al.* (2018), coincide en que este método resulta conveniente para estimar la distribución espacial de las variables en las áreas no muestreadas.

En todos los casos, se observa una tendencia a valores bajos (rojo-amarillo), sin embargo, existen zonas bien definidas con tendencia de valores medios (azul claro) a altos (azul oscuro). Los mapas acotados muestran una relación entre las diferentes variables evaluadas, así como, la variabilidad que existe en el terreno.

Una vista ampliada de dos áreas cañeras en el mapa de contorno (Figura 3), muestra en detalles la variabilidad espacial de los nutrientes dentro de estas.

Si se tiene en cuenta que en cada UMM se aplica una dosis única de fertilizantes derivada de los resultados analíticos de una muestra de suelo compuesta, podemos afirmar que solo un por ciento del área recibe la dosis adecuada, pues la interpolación refleja un contenido variable de nutrientes en el espacio.

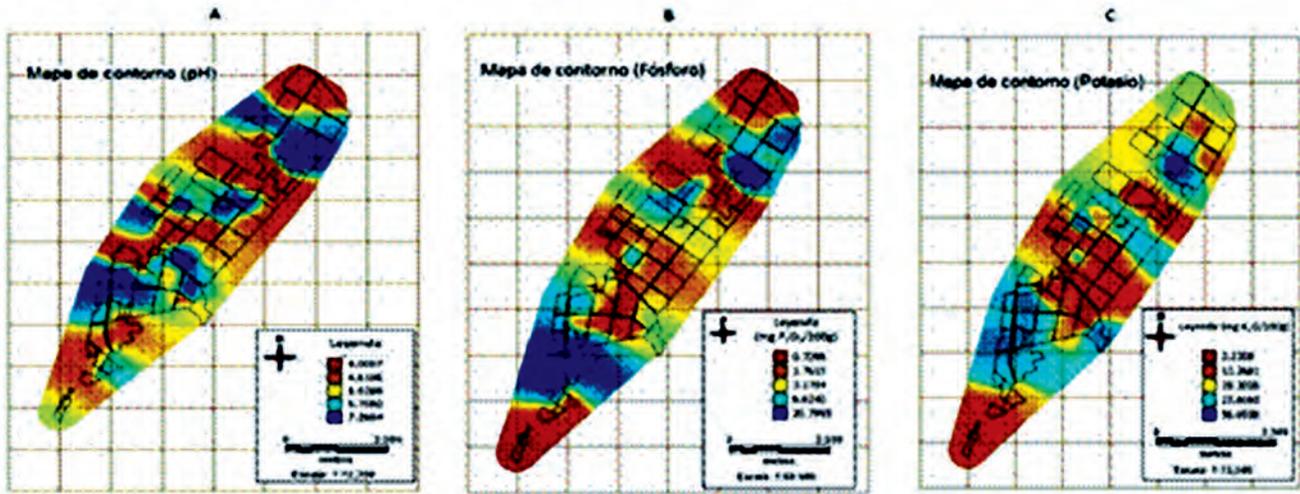


Figura 2. Mapas de contorno: pH (A), fósforo (B), potasio (C) en áreas de la CPA 28 de enero.

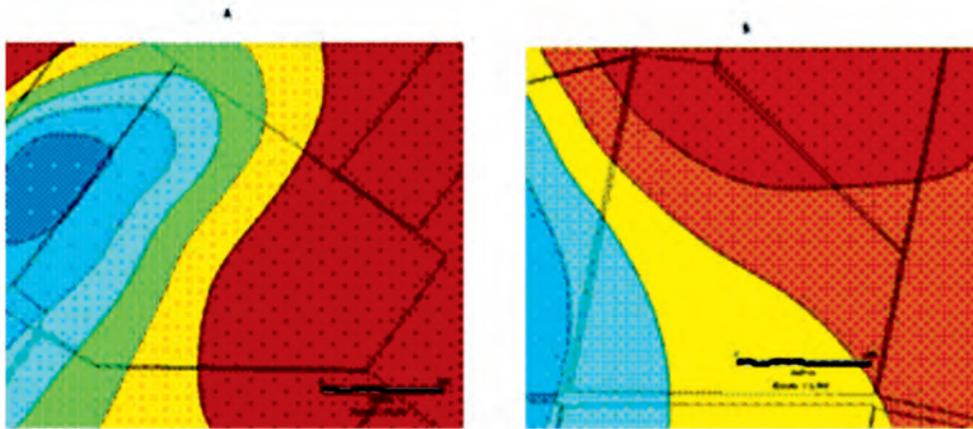


FIGURA 3. Acercamiento en los mapas de contornos de los contenidos de fósforo (A) y potasio (B) en dos campos cañeros de la CPA.

Se coincide con Silva *et al.* (2011); Fernández (2017), cuando refieren que realizar la aplicación variable de enmiendas y fertilizantes, resulta conveniente para mejorar su uso, así como para disminuir los costos de producción e impacto medioambiental, debido a que existen excesos o deficiencias en la distribución del aporte, cuando se distribuye convencionalmente una tasa uniforme de fertilizante en el terreno.

Los resultados confirman la necesidad de tomar en cada campo cañero, varios puntos de muestreos agroquímicos para obtener una mayor representatividad del comportamiento de las propiedades químicas en estos, como punto de partida para la fertilización por sitio específico requerida en la agricultura de precisión. La determinación de la variabilidad, por sus costos, siempre fue desechada de los programas rutinarios de evaluación de la fertilidad, a pesar de que las propiedades del suelo, varían de un sitio a otro (Robert y Henry, 2001). Su aplicación contribuiría al perfeccionamiento de los algoritmos del sistema de

recomendación de fertilizantes en aras de optimizar recursos, facilitar el proceso de toma de decisiones y evitar la degradación de los suelos (Mas *et al.*, 2016).

## CONCLUSIONES

- Las herramientas geoestadísticas permitieron identificar y cuantificar el grado y escala de variación espacial del pH, fósforo y potasio, su comprensión y las relaciones entre estas. Los mapas de contornos elaborados a partir de la simulación de las propiedades del suelo, resultan adecuados para estimar sus valores en los sitios no muestreados. Las variables analizadas presentaron una alta variabilidad espacial, lo cual refiere que los muestreos agroquímicos que se realizan en la actualidad son insuficientes para realizar una recomendación precisa de las dosis de fertilizantes a aplicar en el cultivo de la caña de azúcar, como punto de partida para una agricultura de precisión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, N.; OLVERA, L.A.; GALINDO, G.: "Evaluación de aptitud de tierras al cultivo de caña de azúcar en la Huasteca potosina, México, por técnicas geomáticas", *Geografía Norte Grande*, 55: 141-156, 2013.

Chinae & Rodríguez: Comportamiento geoespacial de algunas propiedades del suelo en el cultivo de la caña de azúcar

- ARCIA, J.: *Principios metodológicos para el establecimiento de sistemas agrícolas*, INICA-AZCUBA, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas), La Habana, Cuba, 136 p., 2012.
- ARCINIEGAS, E.P.; GÓMEZ, N.S.: *Variabilidad espacial de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos, con diferentes sistemas de manejo*, Universidad De Los Llanos, Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero Agrónomo), Villavicencio–Meta, 45 p., 2018.
- CABRERA, A.; RODRÍGUEZ, E.; BALMASEDA, C.; PONCE DE LEÓN, D.: “Variabilidad espacial de los rendimientos cañeros y necesidad de fertilizar por sitio específico”, *Cultivos Tropicales*, 23(1): 57-60, 2002, ISSN: 1819-4087.
- CAMACHO-TAMAYO, J.H.; LUENGAS, C.A.; LEIVA, F.R.: “Effect of agricultural intervention on the spatial variability of some soils chemical properties in the eastern plains of Colombia”, *Chilean Journal of Agricultural Research*, 68: 42-55, 2008, ISSN: 0718-5820, e-ISSN: 0718-5839.
- CRESSIE, N.: *Statistics for Spatial Data*, Ed. Wiley J., New York, USA, 1991.
- DEBELIS, S.P.: *La variabilidad espacial en tierras hidrohalomórficas*, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis (en opción al título de Máster en Ciencias Agropecuarias), Córdoba, Argentina, 128 p., 2017.
- FERNÁNDEZ, O.: *Variabilidad espacial y uso del manejo sitio específico de la fertilidad del suelo, en el cultivo de caña de azúcar, [en línea]*, Ergomix, 2017, Disponible en: <http://ergomix.com>, [Consulta: 18 de noviembre de 2018].
- GALLARDO, A.: “Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente”, *Ecosistemas*, 15(3): 48-58, 2006, ISSN: 1697-2473.
- GARBANZO, L.G.; ALEMÁN, M.B.; ALVARADO, H.A.; HENRÍQUEZ, H.C.: “Validación de modelos geoestadísticos y convencionales en la determinación de la variación espacial de la fertilidad de suelos del Pacífico Sur de Costa Rica”, *Investigaciones Geográficas*, 93(8), 2017, ISSN: 2448-7279, DOI: 10.14350/rig.54706.
- GARCÍA, D.; CÁRDENAS, J.; SILVA, A.: “Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físico-químicas y microbiológicas en un Inceptisol”, *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 2018, ISSN: 2079-3480, Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v35n1/0120-0135-rcia-35-01-00016.pdf>, [Consulta: 13 de septiembre de 2020].
- HERNÁNDEZ, A.; ASCANIO, M.O.; PÉREZ, J.M.: *Aspectos importantes en el desarrollo y estado actual de la clasificación de suelos en el mundo*, Inst. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 70 p., 2013.
- INSTITUTO DE SUELOS: *II Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*, Ed. Academia, Academia de Ciencias de Cuba ed., La Habana, Cuba, 25 p., 1975.
- MAS, R.; VILLEGAS, R.; VIDAL, L.; PINEDA, E.; BECERRA, E.; FERNÁNDEZ, I.; LUGO, I.; BATISTA, S.: “Monitoreo de la fertilidad de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en la provincia Villa Clara”, En: *XX Congreso Científico Internacional del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2016, ISBN: 978-959-7023-89-0.
- MATHERON, G.: *Curso de geoestadística. Los Cuadernos del Centro de Morfología Matemática de Fontainebleau*, Fascículo 2, trad. Alfaro M, 1969.
- MESTAS, R.M.; ROQUE, M.W.; MATSURA, E.E.; BIZARY, D.R.; PAZ, A.: “Variabilidad espacial de los atributos físico-hídricos del suelo y de la productividad del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L) irrigado bajo un sistema de siembra directa”, *Revista De Ciências Agrárias*,: 307-313, 2018, ISSN: 0871-018X.
- MEYER, J.; REIN, P.; TURNER, P.; MATHIAS, K.; MC. GREGOR, C.: *Good Management Practices. Manual for the Cane Sugar Industry (Final)*, Ed. International Finance Corporation (IFC), South África, 2011.
- MONTERO, B.; ANGARICA, E.; MARTÍN, G.; PÉREZ, E.: “Cultivo continuado de la caña de azúcar, características químicas y extracción de nutrientes en Vertisuelos Negros”, En: *XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, La Habana, Cuba, 2000.
- MORAL, F.J.: “Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales”, *Ecosistemas*, 1(11), 2004, ISSN: 1697-2473.
- PALMA, L.D.J.; SALGADO, G.S.; MARTÍNEZ, S.G.; ZAVALA, C.J.; LAGUNES, E.L.D.: “Cambios en las propiedades del suelo en plantaciones de Eucalipto de Tabasco, México”, *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(5): 163-172, 2005, ISSN: 1697-2473.
- ROBERT, T.L.; HENRY, J.L.: “El muestreo de Suelo: Los beneficios de un buen trabajo”, *Información Agronómica*, 42: 4-13, 2001.
- SERFE: *Manual de procedimiento*, Ed. Ministerio del Azúcar, Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas [SERFE ed., La Habana, Cuba, 53 p., 1997.
- SILVA, J.; NONATO DE ASSIS, R.; ROCHA, S.S.; CAMACHO, T.J.H.: “Spatial variability of an Alfisol cultivated with sugarcane”, *Cienc Investig Agrar*, 38(1): 155-164, 2011, ISSN: 0718-1620.
- VARGAS, S.R.; SERRATO, C.F.; TORRENTE, T.A.: “Variabilidad espacial de las propiedades físicas de un suelo Fluventic Ustropepts en la cuenca baja del río Las Ceibas – Huila”, *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), 2015, Disponible en: <https://www.journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/viewFile/713/1364>, [Consulta: 13 de septiembre de 2020].
- XAVIER, R.; DÉLEG, P.: *Determinación de la variabilidad espacial de las características físicas del suelo en la parcela Experimental Irquis, [en línea]*, 2018, Disponible en: <http://dspace.ucuena.edu.ec/bitstream/123456789/30227/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>, [Consulta: 6 de septiembre de 2020].
- YESCAS, C.P.; ÁLVAREZ, R.V.; SEGURA, C.M.A.; GARCÍA, C.M.; HERNÁNDEZ, H.V.; GONZÁLEZ, C.G.: “Variabilidad Espacial del Carbono Orgánico e Inorgánico del Suelo en la Comarca Lagunera, México”, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(3): 591-610, 2018

Antonio Chinae-Horta, Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric). Carretera de Fontanar km 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: [chinae71@nauta.cu](mailto:chinae71@nauta.cu) ID ORCID: 0000-0001-5740-9585.

Lilibeth Rodríguez-Izquierdo, Universidad de Matanzas, Departamento Agronomía. Carretera Varadero Km 3½, Matanzas, Cuba, e-mail: [lilibeth.rodriguez@umcc.cu](mailto:lilibeth.rodriguez@umcc.cu). ID ORCID: 0000-0001-9853-2918.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.