

12

Fecha de presentación: septiembre, 2020

Fecha de aceptación: octubre, 2020

Fecha de publicación: diciembre, 2020

VARIABILIDAD ESPACIAL DEL FÓSFORO ASIMILABLE EN UN SUELO FERRALSOL CULTIVADO CON CAÑA DE AZÚCAR

SPATIAL VARIABILITY OF THE ASSAILABLE PHOSPHOROUS IN A FERRALSOL SOIL WITH SUGARCANE CROP

Yasmany García López¹

E-mail: yasmany.garcia@epicamt.azcuba.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5629-4074>

Yavay Sánchez Estenoz¹

E-mail: yavay.sanchez@epicamt.azcuba.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5968-0408>

Miriam Bárbara Orozco Bravo¹

E-mail: miriam.orozco@epicamt.azcuba.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8229-5011>

Emilio Antonio Fernández Vázquez¹

E-mail: emilio.fernandez@epicamt.azcuba.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8492-3619>

¹ Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana. Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

García López, Y., Sánchez Estenoz, Y., Orozco Bravo, M. B., Fernández Vázquez, E. A. (2020). Variabilidad espacial del fósforo asimilable en un suelo ferralsol cultivado con caña de azúcar. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(3), 77-82.

RESUMEN

Las caracterizaciones espacio-temporales de propiedades del suelo en un agroecosistema, son cruciales para el monitoreo de las funciones de este recurso y el entendimiento de los principales procesos influyentes. Para conocer la variabilidad espacial del fósforo asimilable, determinado en H₂SO₄ 0.1N, se realizó un estudio ubicado entre las coordenadas 22° 25' 42" N a 22° 29' 39" N y 80° 57' 22" O a 80° 52' 43" O sobre un suelo Ferralsol. Se muestrearon 74 campos de caña de azúcar, para un área de 1261,4 ha y 241 muestras. Cada muestra se formó a partir de 30 sub-muestras tomadas a la profundidad de 0 a 20 cm. Se realizó una transformación logarítmica para obtener ajuste de los datos a una distribución normal. Se ajustó un modelo exponencial al semivariograma experimental y la interpolación se realizó por el método de kriging ordinario. La distancia máxima encontrada a partir de la cual las muestras son espacialmente independientes fue de 223,3 m para los parámetros considerados en este trabajo.

Palabras clave:

Agroecosistema, geoestadística, mapa de nutriente.

ABSTRACT

The soil properties spatio-temporal characterizations at an agroecosystem, are crucial for monitoring the functions of this resource and understanding the main influencing processes. In order to know the spatial variability of the assailable phosphorus determined in H₂SO₄ 0.1N, was carried out a study located between the coordinates 22° 25' 42" N to 22° 29' 39" N and 80° 57' 22" W to 80° 52' 43" W, on a Ferralsol soil. It was sampled 74 sugarcane fields, for an area of 1261.4 ha and 241 samples. Each sample was formed from 30 sub-samples taken at depth from 0 to 20 cm. It was performed a logarithmic transformation to obtain the data at a normal distribution. An exponential model was fitted to the experimental semivariogram and the interpolation was performed by the ordinary kriging method. The maximum distance found, from which the samples are spatially independent was 223, 3 m for the considered parameter on this work.

Keywords:

Agroecosystem, geostatistics, nutrient map.

INTRODUCCIÓN

La habilidad para entender el recurso suelo depende de la escala en que se observa y se modelen sus características y procesos (Paterson, Minasny y McBratney, 2018, p. 60). Mantener la infraestructura ecológica del suelo; reforzar sus propiedades en general es un requisito para una intensificación sostenible.

Este bien es un importante almacén de elementos liberados al ambiente como resultado de acciones antrópicas. Los mapas de distribuciones geoquímicas de diferentes elementos, pueden revelar relaciones espaciales y contribuir a propuestas de valoraciones de riesgos como base para los procesos de toma de decisiones. Para tomar medidas eficaces para mejorar los servicios ecosistémicos del suelo, sus propiedades y procesos que sostienen cada servicio necesita ser investigado en detalle (Su, et al., 2018).

El fósforo es un elemento esencial y sus niveles en el suelo se deben mantener o mejorar para el crecimiento de los cultivos (Khan, et al., 2018). Aumentar los conocimientos sobre las distribuciones espaciales de las diferentes propiedades químicas como el fósforo asimilable, es vital para los manejos de tierras y el mantenimiento o aumento de los niveles de producción, así como proveer aspectos importantes para la conservación del suelo y la modelación ambiental (Guan, et al., 2017; Bhunia, et al., 2018). La caracterización espacial requiere de numerosos datos de campos que pueden ser colectados métodos directos o indirectos (Bogunovic, et al., 2017). El análisis espacial permite la elaboración de mapas de variabilidad del suelo. Los mapas resultantes proveen sugerencias para las prácticas de recuperación de la calidad del suelo que deben ser acogidas para alcanzar sostenibilidad en la agricultura (Bogunovic, et al., 2018).

Las bibliografías reportan diferentes distancias a la cual las muestras de suelo están correlacionadas; en función de la forma en que son colectadas, el área que estas representan y los tipos de suelo. El objetivo de este trabajo estuvo dirigido a evaluar la variabilidad espacial de fósforo asimilable en un suelo Ferralsol bajo el cultivo de la caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el año 2015 y se localizó en un agroecosistema de cultivo de caña de azúcar, ubicado entre las coordenadas 22° 25' 42" N a 22° 29' 39" N y 80° 57' 22" O a 80° 52' 43" O sobre un suelo Ferralsol del municipio de Calimete (Matanzas, Cuba). Basado en informaciones de la Estación Meteorológica de Colón, ubicada a 22° 41' 04" N y 80° 55' 30" W, los valores medios de temperatura más altos se registran en la temporada lluviosa y época de verano, con cifras que oscilan entre 25 °C y 27 °C, en los meses de julio y agosto. Las precipitaciones entre los años de 2008 a 2017 han estado comprendidas en un promedio anual de 1539 mm, donde el período lluvioso es de mayo a octubre, en el cual cae 85% de las precipitaciones totales anuales. Un período de pocas precipitaciones se establece en los meses de noviembre a abril, donde se registra 15% de las lluvias anuales.

Para la colecta de muestras de suelo se muestrearon 74 campos (Unidad Mínima de Manejo) bajo este cultivo, para un área total de 1261,4 ha, de ellas bajo riego 38 % (figura

1) y el total de muestras fue 241. Del área evaluada, 62, 5 % está estructurada en UMM de más de 20 ha. La máxima dimensión fue de 38,22 ha y la mínima de 1,92 ha. Las dosis de fertilizantes recomendada para el año anterior al muestreo de suelo oscilaron entre 25 y 80 kg*ha⁻¹. Cada muestra se formó a partir de 25 sub-muestras tomadas a la profundidad de 0 a 20 cm, con el uso de barrena agroquímica y en forma diagonal para cada UMM; posterior a la cosecha de cada campo en el 2015.

En las áreas establecidas de una o más cosechas (93.3 % del área), las 25 sub-muestras se tomaron de forma alterna en el surco y entre surco. El muestreo se ajustó para áreas menores o iguales a 5 ha. En el caso en que las dimensiones de las UMM sobrepasaban las 5 ha, se incrementó el número de muestras tomadas, dividiendo el área hasta obtener las extensiones especificadas y aplicar el muestreo descrito. También se georreferenció el centro de cada UMM o área dividida.

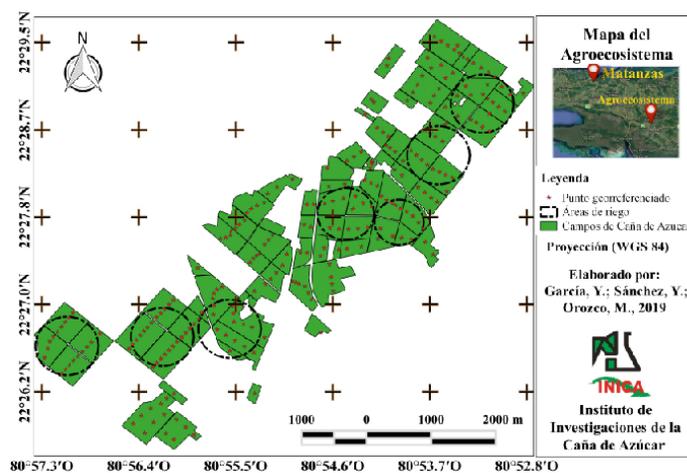


Figura 1. Mapa del área de estudio.

El análisis químico de las muestras colectadas se realizó en el Laboratorio de suelo, agua y tejido vegetal de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar "Antonio Mesa Hernández" de Jovellanos, Matanzas. El indicador que se presenta en este trabajo es el fósforo asimilable determinado en una extracción de H₂SO₄ a 0,1 N; el cual es utilizado en las recomendaciones de fertilizantes para la caña de azúcar en Cuba (Pérez, et al., 2015).

El gráfico Q-Q se creó para analizar la distribución de los datos. El método de *Lilliefors* y los coeficientes de asimetría y kurtosis evalúan la normalidad, lo que tiene importantes implicaciones en el desarrollo de los métodos de interpolación. Para ajustar los datos a una distribución normal se utilizó una transformación logarítmica de los mismos. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software R (versión 3.5) y el mapa con el software QGIS (versión 2.6.1).

El análisis geo-estadístico fue empleado para describir la variación espacial del fósforo asimilable en el área de estudio. Se determinó con la modelación del semivariograma experimental (ec.1).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(xi) - Z(xi + h)]^2 \quad (1)$$

Donde: $\gamma(h)$ es la semivarianza para todas las muestras localizadas en el intervalo de distancia; h .

$N(h)$, es el número total de pares de muestras separados el intervalo de distancia; h .

$Z(x_i)$ es el valor de la muestra en una localización; x_i . $Z(x_i+h)$ es el valor de la muestra a la distancia de intervalo h desde x_i .

El ajuste a una función permite extraer una serie de parámetros que son los que van a ser usados para la interpolación geoestadística (*kriging*) y que definen el grado y escala de variación espacial. Estos parámetros son el rango (A), el *nugget* (C_0), el *sill* (C_0+C). El rango (A) es la distancia a la que la semivarianza deja de aumentar, por tanto, indica a partir de dónde las muestras son espacialmente independientes unas de otras y representa el tamaño de mancha de la variable.

El *nugget* (C_0) es la varianza no explicada por el modelo y se calcula como la intercepción con el eje Y. La máxima semivarianza encontrada entre pares de puntos se conoce como *sill* y debe coincidir con la varianza de la población. Para el ajuste se utilizó el modelo Exponencial (ec.2); pues está entre los más empleados (Gallardo, 2006) y presentó el menor valor en la suma de cuadrados del error (SCE).

$$\gamma(h) = S \left[1 - \exp(-3h/a) \right] \quad \text{para } h \geq 0$$

$$\gamma(h) = S \left[1 - \exp(-3h/a) \right] \quad \text{para } h \geq 0 \quad (2)$$

Donde: $\gamma(h)$ es la semivarianza en el intervalo de distancia h ; a es el rango (A). Este modelo tiene un comportamiento lineal a distancias de separación pequeñas cerca del origen, pero se va aplanando a mayores distancias y alcanza el *sill* en a .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mapa de los datos (Figura 2) da una primera idea de la distribución de los valores en la zona de estudio. Así se puede distinguir valores muy altos (mayores a 130 ppm) y valores bajo (menores a 12 ppm)

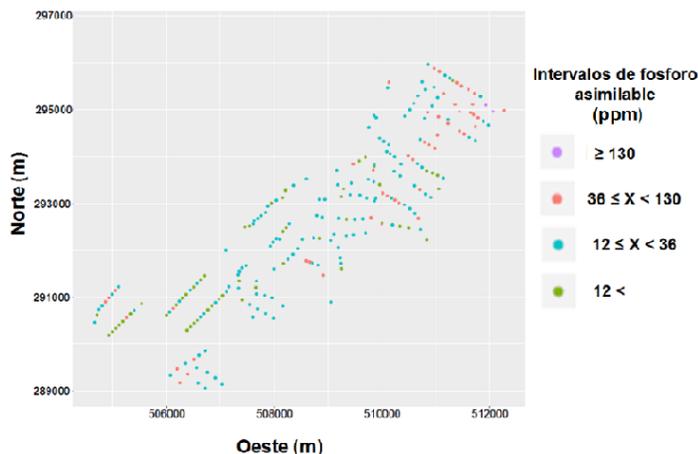


Figura 2. Mapa de los datos de fósforo asimilable a la profundidad de 0 a 20 cm, determinado en H2SO4 0.1 N.

Los datos mostraron una dispersión con respecto a la media con un coeficiente de variación de 87,4 % (tabla 1). Esto corresponde con la heterogeneidad del suelo, además han sido muestreados diferentes campos de caña de azúcar, cada uno ha estado sometido al monocultivo de la caña de azúcar y a manejos de fertilización acorde a sus propiedades químicas. Según Piotrowska-Długosz, et al. (2019), aunque los suelos presenten el mismo origen, estos difieren en sus propiedades físicas y químicas. El paisaje y los manejos pueden generar cantidades desiguales de nutrientes en el suelo dentro de los campos de cultivo (Logsdon & Cole, 2018).

Tabla 1. Descripción estadística.

Variable	Fósforo asimilable (ppm)
Cantidad de muestras de suelos	241
Media	20
Desviación estándar	23,4
Coefficiente de variación	87,4

Al realizar la prueba de *Lilliefors* (tabla 2), se comprobó que los datos originales no se ajustan a una distribución normal. Con la transformación logarítmica se consiguió mejor ajuste a la curva normal teoría; por lo que los datos transformados fueron la base para el análisis espacial. Lo que coincide con Vasu, et al. (2017), para diferentes propiedades del suelo incluido el fósforo disponible.

Tabla 2. Prueba de normalidad de *Lilliefors*.

Variable	Cantidad de muestras	Asimetría	Kurtosis	Lilliefors	Sig.
Fósforo asimilable (ppm)	241	3,2	16,4	0,17	2.2 e ⁻¹⁶
Transformada de los datos [Log (P ₂ O ₅ +1)]	241	-0,1	0,6	0,04	0.35

En la figura 3 (a) se observa el histograma de frecuencia de la variable original con un comportamiento asimétrico que corresponde con su falta de ajuste a una distribución normal. Mientras que en la figura 3 (b) se observa el histograma de frecuencia de la variable, fósforo asimilable posterior a la transformación logarítmica, realizada para obtener ajuste de los datos a una distribución normal.

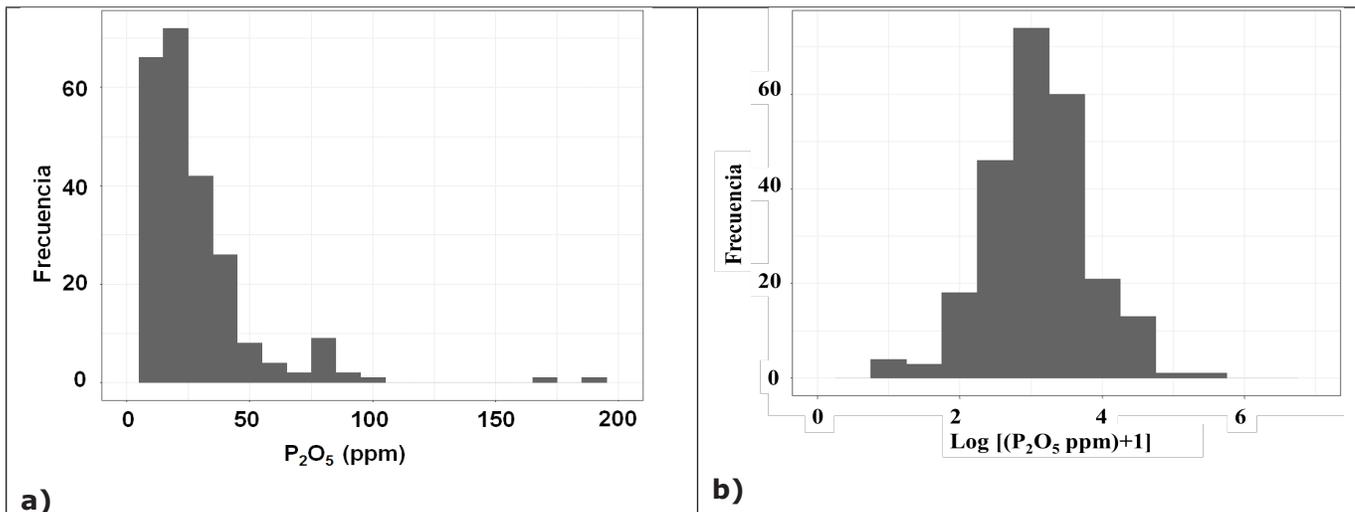


Figura 3. Histogramas de frecuencias de la variable original (a) y transformada (b).

Análisis estructural

En la figura 4 se presenta el semi-variograma *cloud*, donde se observan todo los pares que se forman a partir de los datos obtenidos. Este grafico es una primera aproximacion visual de como se comportan los datos para cada distancia.

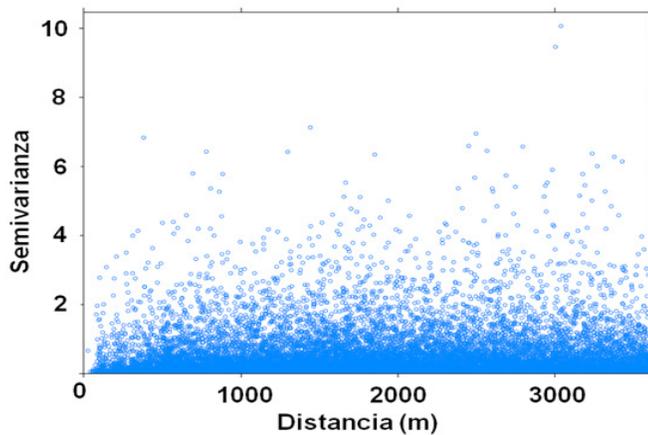


Figura 4. Semi-variograma *cloud* confeccionado a partir de los datos.

En la figura 5 se muestra el semivariograma experimental con el modelo ajustado y en la tabla 3 aparecen los diferentes modelos probados. Se seleccionó el modelo que presentó el menor error de la suma de cuadrados. La selección del modelo exponencial para valores de fósforo del suelo coincide con Sankar, et al., (2018).

Tabla 3. Suma de cuadrados del error.

Modelo	Método	(SCE)
Esférico	N_j/h_j^2	$1.5 \cdot 10^{-5}$
Esférico	OLS	0.024
Exponencial	N_j/h_j^2	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Exponencial	OLS	0.022
Gaussiano	OLS	0.024

El rango obtenido para el fósforo asimilable del suelo fue de 223.3 m (figura 5). En Fu, et al. (2010), con un modelo esférico se halló un valor de 264 m. Vasu, et al. (2017), hallaron un valor de 1160 m para este elemento. La naturaleza de los datos, es decir, la forma en que son colectados puede incidir en diferentes patrones espaciales (Gallardo, 2006); además de los manejos realizados, aspecto a considerar en el caso de áreas monocultivadas con caña de azúcar, que presenta labores como la fertilización por surcos en una dirección dentro de los límites de los campos.

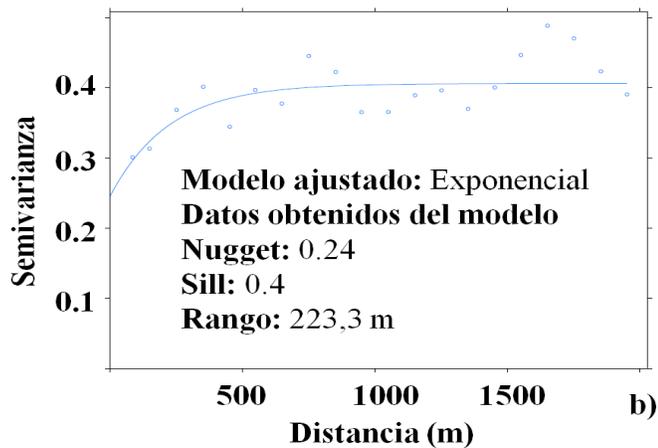


Figura 5. Semivariograma confeccionado a partir de los datos y modelo ajustado.

Se muestra (figura 6 y 7) el mapa de la interpolación por el método de kriging ordinario y la desviación estándar del método para la región evaluada. Los mapas que muestren información detallada sobre la heterogeneidad de propiedades del suelo son requeridos para planificar por sitios específicos, un adecuado manejo de nutrientes para el cultivo.

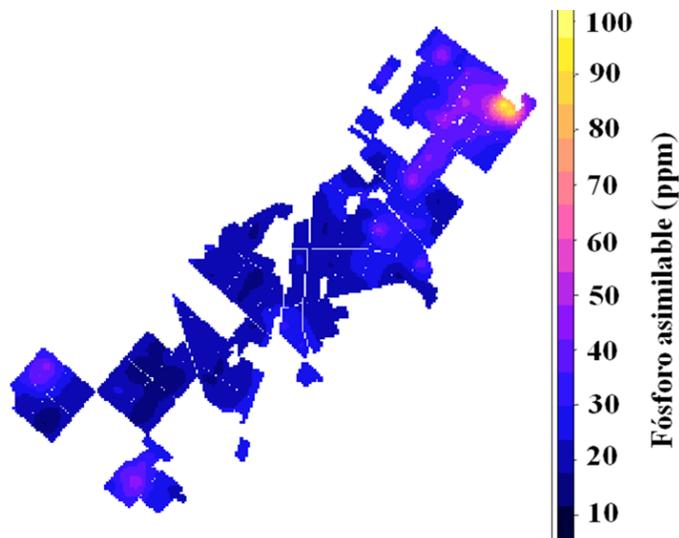


Figura 6. Interpolación por el método de kriging ordinario.

A pesar de la valiosa información que se genera en las interpolaciones para el aumentar el entendimiento del estado de las variables en los agroecosistemas, la principal limitante es el alto número de muestras requeridas para desarrollar los análisis geo-estadísticos.

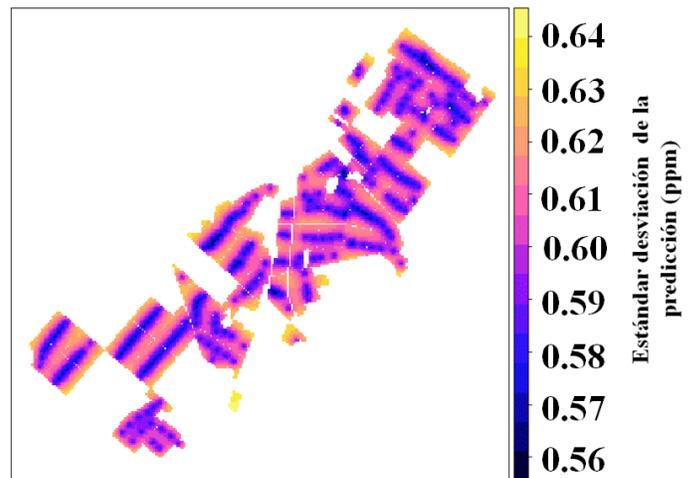


Figura 7. Desviación estándar de la predicción.

CONCLUSIONES

Se ajustó un modelo exponencial a los datos del semivariograma experimental con un error de la suma de cuadrados de $1,4 \times 10^{-5}$.

Se determinó una distancia máxima de 223,3 m a la cual dos muestras de suelo están correlacionadas para los parámetros considerados en este trabajo.

La determinación de la variabilidad espacial del fósforo asimilable del suelo, dentro de los campos de caña de azúcar, es importante para la planificación por sitios específicos de un adecuado manejo de nutrientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhunja, G. S., Kumar, P., & Chattopadhyay, R. (2018). Assessment of spatial variability of soil properties using geostatistical approach of lateritic soil (West Bengal, India). *Annals of Agrarian Science*, *16*, 436–443.
- Bogunovic, I., Trevisani, S., Pereira, P., & Vukadinovic, V. (2018). Mapping soil organic matter in the Baranja region (Croatia): Geological and anthropic forcing parameters. *Science of the Total Environment*, *643*, 335–345.
- Bogunovic, I., Trevisani, S., Seput, M., Juzbasic, D., & Durdevic, B. (2017). Short-range and regional spatial variability of soil chemical properties in an agro-ecosystem in eastern Croatia. *Catena*, *154*, 50–62.
- Dominati, E., Mackay, A., Greenb, S., y Pattersonc, M. (2014). A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: A case study of pastoral agriculture in New Zealand. *Ecological Economics*, *100*, 119–129.
- Fu, W., Tunney, H., & Zhang, C. (2010). Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. *Soil & Tillage Research*, *106*, 185–193.
- Gallardo, A. (2006). Geostadística. *Ecosistemas*, *15* (3), 48–58.

- Guan, F., Xia, M., Tang, X., y Fan, S. (2017). Spatial variability of soil nitrogen, phosphorus and potassium contents in Moso bamboo forests in Yong'an City, China. *Catena*, **150**, 161–172.
- Khan, A., Lu, G., Ayaz, M., Zhang, H., Wang, R., Lv, F.,..., & Zhang, S. (2018). Phosphorus efficiency, soil phosphorus dynamics and critical phosphorus level under long-term fertilization for single and double cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **256**, 1–11.
- Logsdon, S. D., & Cole, K. J. (2018). Soil nutrient variability and groundwater nitrate-N in agricultural fields. *Science of the Total Environment*, **627**, 39–45.
- Paterson, S., Minasny, B., & McBratney, A. (2018). Spatial variability of Australian soil texture: A multiscale analysis. *Geoderma*, **309**, 60–74.
- Pérez, H., Santana, I., & Rodríguez, I., (2015). *Manejo Sostenible de Tierras en la Producción de Caña de Azúcar*. Ediciones UTMACH.
- Piotrowska-Długosz, A., Breza-Boruta, B., & Długosz, J. (2019). Spatial and temporal variability of the soil microbiological properties in two soils with a different pedogenesis cropped to winter rape (*Brassica napus* L.). *Geoderma*, **340**, 313–324.
- Su, C., Liu, H., & Wang, S. (2018). A process-based framework for soil ecosystem services study and management. *Science of the Total Environment* **627**, 282–289.
- Vasu, D., Singh, S.K., Sahu, N., Tiwary, P., Chandran, P., Duraisami, V.P... Kalaiselvi, B. (2017). Assessment of spatial variability of soil properties using geospatial techniques for farm level nutrient management. *Soil & Tillage Research*, **169**, 25–34.