

Artículo de investigación

Análisis de la variabilidad temporal de propiedades físicas y químicas del suelo en el Espinal - Tolima

Analysis of the temporary variability of physical and chemical properties of the soil in the Espinal-Tolima

Milton Freddy Alarcón Jimenez¹, Cindy Carolina Gámez Avila¹,
Sandra Milena Lozano Triana¹, Javier Andrés Quintero Jaramillo¹

Resumen

Los cultivos de arroz y de algodón son de gran importancia para Colombia especialmente para la zona del Tolima, en la cual se tienen grandes extensiones de suelos para su cultivo. En el Centro Agropecuario La Granja, del SENA Regional Tolima ubicada en el municipio del Espinal, se cuenta con un lote que tiene una extensión de 4,89 hectáreas (ha) para el cultivo rotatorio de arroz y algodón. En este lote, se realizaron tomas de muestras de suelos disturbadas en dos años consecutivos 2016 y 2017, para determinar su variabilidad temporal. También se definió una malla de 50 metros por 50 metros (m), compuesta por 20 puntos de muestreo. Cada punto fue georreferenciado, se tomó una muestra general con el barreno a una profundidad máxima de 15 centímetros (cm). A cada punto se les determinó propiedades físicas y químicas tales como textura, densidad real, densidad aparente, porosidad, pH, carbono orgánico, materia orgánica. Se evaluó la variabilidad espacial, covarianza y correlación de Pearson de estas propiedades y se analizó su comportamiento por medio de mapas de contorno. En los resultados obtenidos se pudo evidenciar los cambios temporales producidos en el suelo por efecto del manejo agrícola, ya sea por maquinaria o por presencia de animales, afectando la compactación y el aumento de la intensidad de encharcamiento.

Palabras clave. Suelo, compactación, Impacto, Manejo Agrícola, Mapa de Contorno, Variabilidad, correlación.

1. Centro Agropecuario La Granja Senagrotic, regional Tolima. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. Correo de correspondencia: malarconj@sena.edu.co

Cómo citar. Alarcón Jiménez, M. F., Gámez Ávila, C. C., Lozano Triana, S. M., & Quintero Jaramillo, J. A. (2022). Análisis de la variabilidad temporal de propiedades físicas y químicas del suelo en el Espinal – Tolima. Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura, 9(1), 74-86.



Abstract

Rice and cotton crops are of great importance for Colombia, especially for the Tolima region, which has large expanses of land suitable for their cultivation. At the Agricultural Center La Granja, part of the SENA sectional Tolima located in the municipality of Espinal, there is a plot covering an area of 4.89 hectares (ha), that it designated for the rotational cultivation of rice and cotton. Soil samples were taken from this plot in two consecutive years (2016 - 2017) to determine temporal variability. A grid measuring 50 meters by 50 meters (m) was established, comprising 20 sampling points. Each point was georeferenced and a general sample was taken with a soil auger to a maximum depth of 15 centimeters (cm). Physical and chemical properties such as texture, real density, bulk density, porosity, pH, organic carbon, and organic matter were determined at each point. The spatial variability, covariance, and Pearson correlation of these properties were evaluated, their behavior was analyzed through contour maps. The results revealed temporal changes in the soil due to agricultural management, whether through machinery or the presence of animals, affecting compaction and increased waterlogging intensity.

Keywords. Soil, compaction, Impact, Agricultural Management, Contour map, Variability, correlation.

Introducción

La zona del Tolima es uno de los mayores productores de arroz en Colombia (Chica, 2016). Esto debido a su clima y a las grandes extensiones de tierra para ser cosechados. El éxito de los cultivos radica entre otras cosas, en el uso de la maquinaria agrícola, la calidad de los insumos, el manejo de los suelos y las propiedades físico-

químicas de los mismos. Dichos parámetros no son estables en el tiempo, se alteran por procesos naturales, condiciones del cultivo, variabilidad climática y por el manejo agrícola del suelo (Cantú & Becker, 2007). El conocimiento del suelo se vuelve fundamental para el agricultor, debido a que le permitirá tomar buenas decisiones con su cultivo, ya sea para mejorar la cosecha, optimizar los procesos y disminuir el consumo de

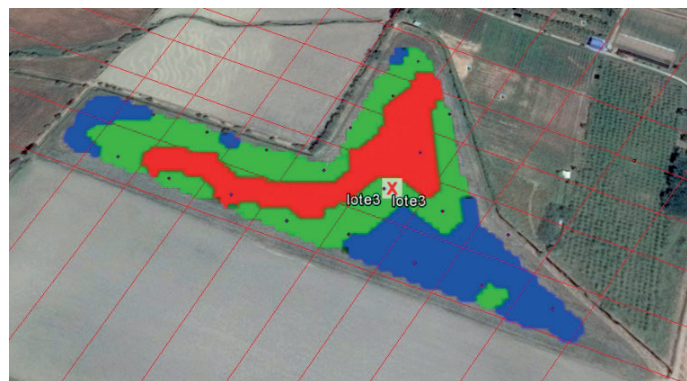
insumos agrícolas, pero sobretudo para conocer el comportamiento de los parámetros del suelo en donde se realiza la cosecha (Asencio, 2022). En los estudios de suelos se pueden analizar toda una cantidad de variables, desde las más básicas como la densidad real, densidad aparente y color, así como parámetros físicos más avanzados como la textura. En cuanto a variables químicas sin duda la más importante es el pH (Julca et al., 2006). Este parámetro de medición directa puede indicar indirectamente problemas de fertilidad, o la presencia de metales, como también es útil para definir la necesidad o no, de insumos de ajuste de pH como la cal. Existen otros análisis más especializados, por ejemplo, la determinación de la materia orgánica, el contenido de minerales como el silicio, aluminio, hierro potasio, calcio, magnesio y sodio, entre otros. Entre tanto, si cada agricultor pudiera conocer de manera exacta estos parámetros y tuvieran el conocimiento preciso de qué hacer con esta información, los costos de producción disminuirían y la calidad de las cosechas mejoraría. En el Centro Agropecuario La Granja, en el marco de la formación a aprendices se les enseña la importancia de realizar análisis de suelos, y conocer y analizar la variabilidad de parámetros de los mismos. Este trabajo se desarrolló como investigación apoyado con los programas de formación de mecanización agrícola. El objetivo fue evaluar la variabilidad de parámetros fisicoquímicos en puntos definidos y cómo esta variabilidad afecta la calidad de los suelos mediante el uso de mapas de contorno.

Materiales y métodos

La unidad experimental contó con un área de uso agrícola con cultivo de arroz. Se estableció una malla de 50 m por 50 m, compuesta por 20 puntos de muestreo. Cada punto fue georreferenciado y se tomó una muestra general con el barreno a una profundidad máxima de 15 cm (Figura 1).

Figura 1

Ubicación espacial del lote de estudio, SENA La Granja, lote 3.



Nota. Foto del SENA 2016.

En cada punto de la malla, se tomó una muestra de suelo disturbada hasta 0,15 m de profundidad mediante el barreno Eijkelkamp. También se tomaron muestras alteradas para la determinación de las propiedades físico-químicas tales como textura, densidad aparente, pH, carbono orgánico y materia orgánica. Se realizó un muestreo antes de la preparación del terreno en el año 2016 y otro después de la cosecha de arroz en el año 2017.

Las muestras de los dos muestreos fueron llevadas al Laboratorio de Suelos del Centro Agropecuario La Granja en donde se realizaron los análisis. Para la determinación de textura se utilizó el método de Bouyoucos. Para la determinación de la densidad real y la densidad aparente se utilizaron los métodos del picnómetro y del terrón parafinado, respectivamente. Con estas dos densidades se calculó la porosidad. La medición de pH se realizó con el multiparámetro Consort 50. Para hallar el carbono orgánico y la materia orgánica se trabajó con la metodología Walkley & Black (1934).

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos, se realizó el análisis estadístico descriptivo con el programa SPSS V.20 para determinar la media, mediana, límite máximo, límite mínimo, coeficiente de variación (CV), asimetría y curtosis. De esta manera se verificó tanto empírica como numéricamente el ajuste a la normalidad para cada variable, para mejores predicciones cuando se asocia a técnicas geoestadísticas (Diggle & Ribeiro, 2000). En cuanto al análisis del CV se consideró el criterio de Warrick & Nielsen (1980), autores que definen variabilidad baja para CV menores de 12%, variabilidad media entre 12 y 60% y variabilidad alta para CV mayores a 60%.

Resultados

Tabla 1

Propiedades físicas.

Variables	% Ar	% Arc	% L	DR	DA	PT	pH	CO (%)	MO (%)
Media	61.6	16.96	21.45	2.54	1.95	23.26	6.89	0.62	1.06
	64.44	11.48	24.09	2.49	1.82	27.13	7.02	0.95	2.02
Mediana	60	13.4	24	2.53	1.89	24.39	6.9	0.59	1.01
	63.00	11.70	25.50	2.49	1.85	26.55	7.01	0.85	1.45
Desv. típ.	10	8.83	12.69	0.18	0.25	10.47	0.35	0.24	0.41
	8.91	3.88	7.45	0.20	0.12	7.59	0.32	0.32	1.43
CV	16.24	52.06	59.19	7.24	12.65	45.01	5.11	38.56	38.51
	13.82	33.80	30.94	8.02	6.54	28.00	4.58	33.95	70.61
Asimetría	1.35	1.54	-0.35	0.48	1.04	-0.54	-0.11	0.75	0.75
	.53	-1.21	-.32	.12	-.32	.36	-.15	.38	2.28
Curtosis	3.48	1.61	-1.17	0.65	0.47	-0.11	-1.82	0.16	0.18
	-.30	2.88	-.93	1.08	-.50	-.85	-.93	-1.19	5.50
Mínimo	45.9	5.2	2	2.22	1.6	1.74	6.42	0.26	0.44
	52.00	0.10	9.00	2.05	1.56	16.00	6.41	0.52	0.89
Máximo	91.9	39.6	40.6	2.94	2.51	40.2	7.3	1.17	2.01
	83.00	18.00	35.00	2.94	2.01	41.07	7.52	1.56	6.66

Nota. Textura; Densidad Real, Dr (g Cm-3); Densidad Aparente, Da (g Cm-3); Porosidad Total, PT (%) y químicas: (pH); MO (%) y CO (%) de 0 a 15 cm del lote 3. Años 2016/2017.

La Densidad aparente (DA) se ha definido como un parámetro que da indicios de la presencia de zonas endurecidas y compactadas ya que la reducción del espacio poroso presente en el suelo acarrea un aumento en la Da (Hernanz et al., 2000; Ramírez et al., 2008; Júnior et al., 2006). En general la porosidad varía dentro de los siguientes límites: < 30 Muy baja; 30 – 40 Baja; 40 – 55 Media; > 55 Alta, en este suelo la porosidad presenta un valor promedio de 23.26 %, indicando valores muy bajos. Cruz et al., (2010) indica que las propiedades que más afectan la porosidad del suelo son la Da y Dr.

Análisis de variabilidad espacial

Los resultados muestran variedad en los modelos, excepto para el contenido de pH que presentó un efecto pepita puro (EPP) en el segundo muestreo indicando carencia de correlación espacial entre las observaciones de una variable (Giraldo, 2002). Para las demás propiedades predomina el modelo gaussiano se presenta paridad entre modelos con valores de R² medio de 0.79 y 0.89, respectivamente. En cuanto al grado de dependencia espacial (GDE), se observó que en la mayoría de los atributos estudiados se obtuvo valores superiores al 0.84 y 0.95 para las observaciones, los resultados de la interpolación se obtuvieron mediante Kriging ordinario.

Tabla 2
Parámetros semivariogramas obtenidos de las variables de las propiedades físicas y químicas del suelo.

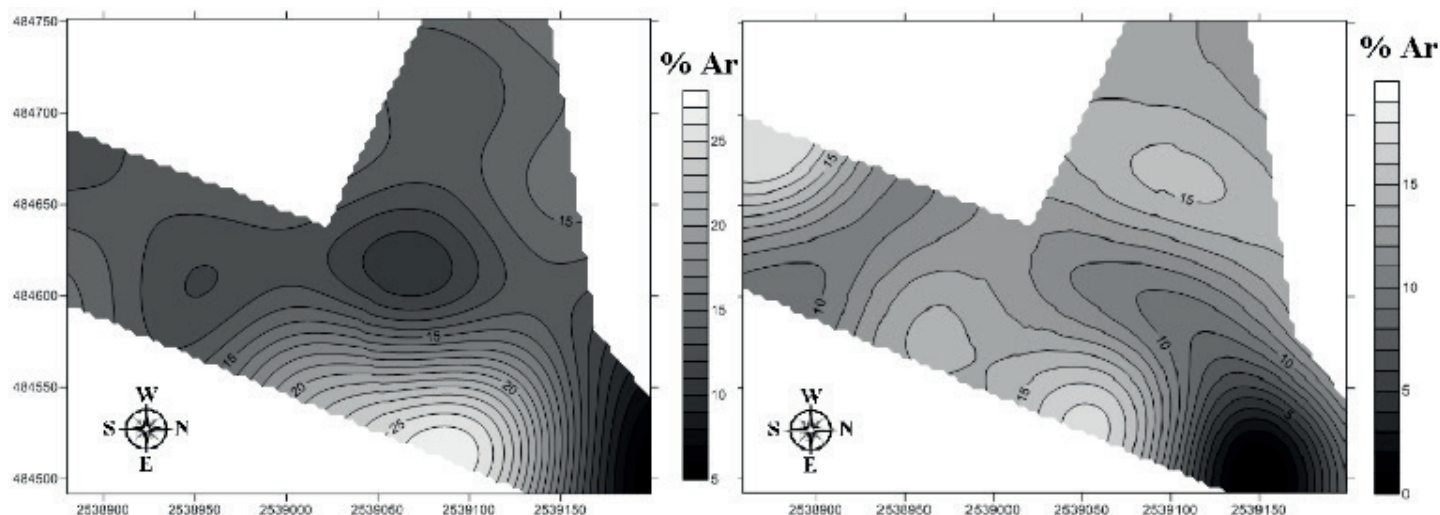
Atributo	Modelo	Co	C + Co	Rango, m	GDE	R ²
% A	Gausiano	3.7	98.4	197.62	0.96	0.99
	Gausiano	0.1	91.2	211.14	0.99	0.93
% Ar	Gausiano	0.01	18.21	126.44	0.99	0.74
	Gausiano	0.01	13.51	112.24	0.99	0.93
% L	Esférico	28.4	123	152.8	0.76	0.85
	Gausiano	0.1	53.62	157.62	0.99	0.77
DR	Gausiano	0.00001	0.028	103.92	1	0.91
	Gausiano	0.0001	0.038	89.37	0.99	0.90
DA	Gausiano	0.0027	0.046	165.41	0.94	0.98
	Esferico	0.0067	0.019	286.83	0.64	0.91
PT	Gausiano	54.5	213.4	511.65	0.74	0.97
	Gausiano	0.1	64.98	153.63	0.99	0.79
pH	Gausiano	0.0001	0.106	88.16	0.99	0.98
% CO	Exponencial	0.0001	0.064	540	0.99	0.74
	Gausiano	0.0001	0.147	203.34	0.99	0.94
% MO	Exponencial	0.0001	0.247	533.1	1	0.66
	Gausiano	0.01	3.65	200.57	0.99	0.92

La densidad aparente es alta en las dos profundidades (1.95 g cm^{-3} y 1.81 g cm^{-3}) estando los valores más bajos en la zona sur del lote estudiado. Por otro lado, la mayor PT se

encuentra en esta misma zona (Figura 8), con valores medios (23 y 27 %) (Tabla 1); muy baja de oxígeno para las plantas.

Figura 2

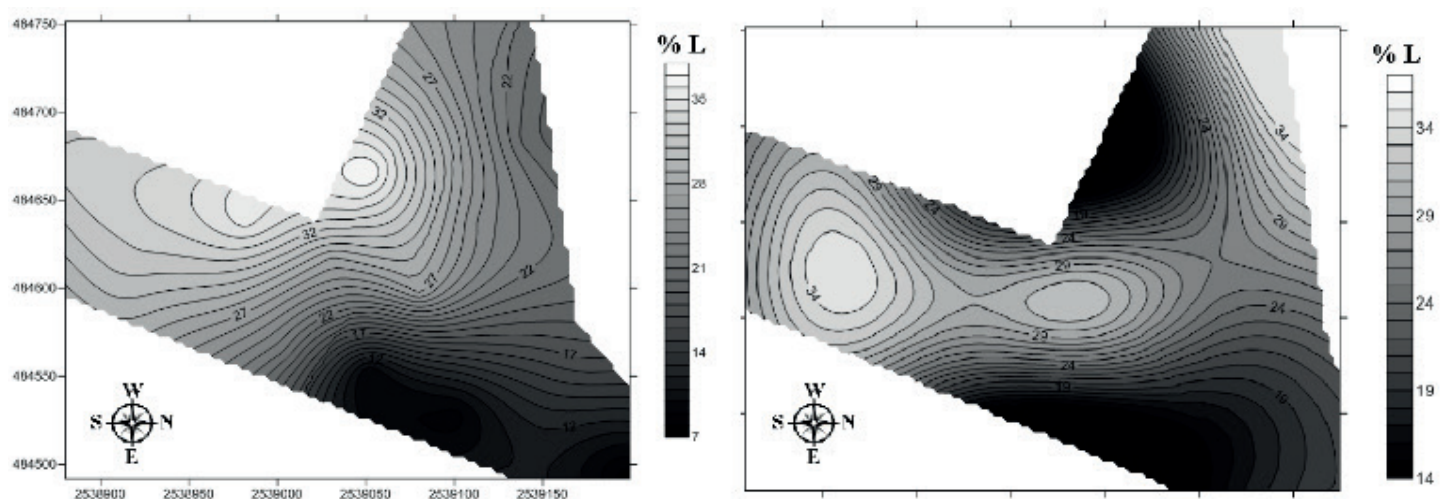
Mapas de contorno del contenido de Arcilla (Ar) del suelo.



Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Figura 3

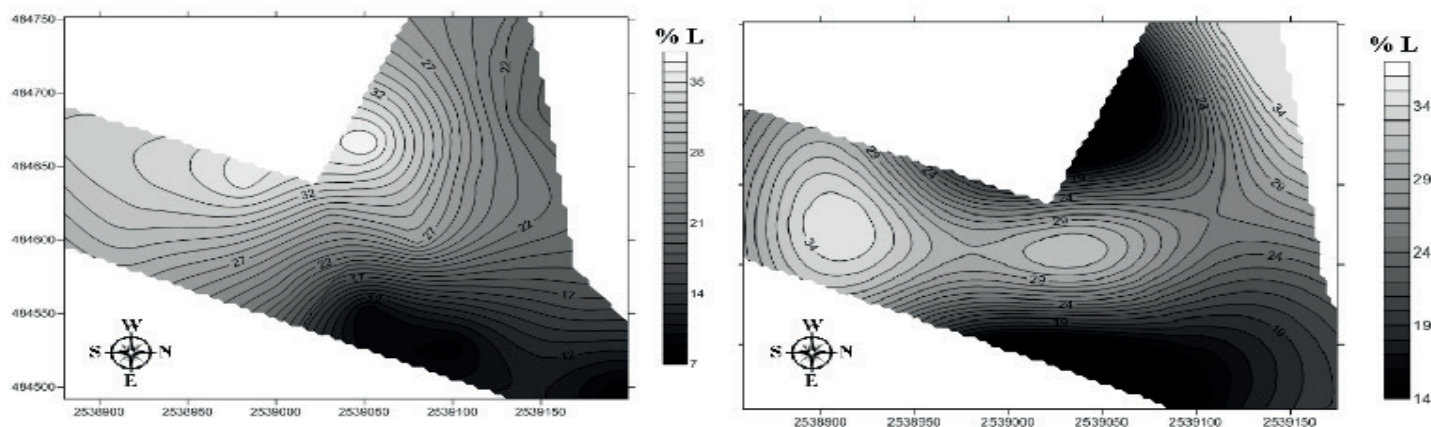
Mapas de contorno del contenido de Arena (A) del suelo.



Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Figura 4

Mapas de contorno del contenido de Limo (L) del suelo; Izquierda antes de la siembra y Derecha después de la cosecha del lote 3.



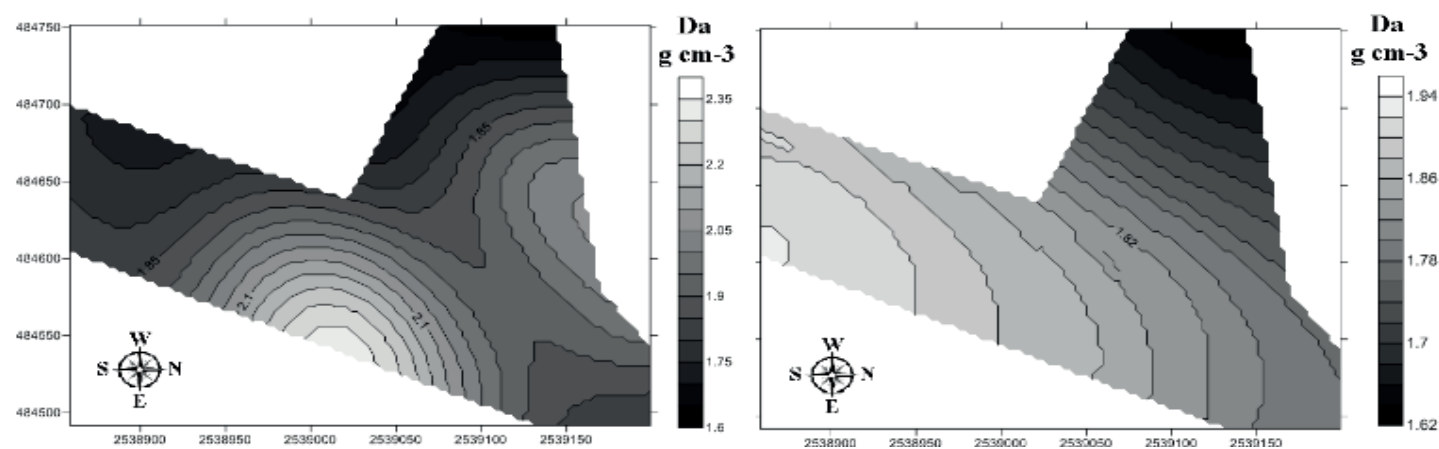
Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Los contenidos de Ar y L en los dos muestreos muestran valores bajos en la mayoría del mapa exceptuando una pequeña área en la zona central del lote (Figura 2 y 4); por el contrario, los altos contenidos de A (61 y 64 %) (Tabla 2), se encuentran en la parte norte - este del plano dando como resultado en el triángulo textural:

texturas Franco Arenosas (FA). Esto tiene relación directa con la pendiente del terreno, la cual tiene un gradiente de 3 a 5%, influyendo en los niveles de concentración de elementos químicos a lo largo del terreno, siendo común encontrar concentraciones mayores en las zonas arcillosas.

Figura 5

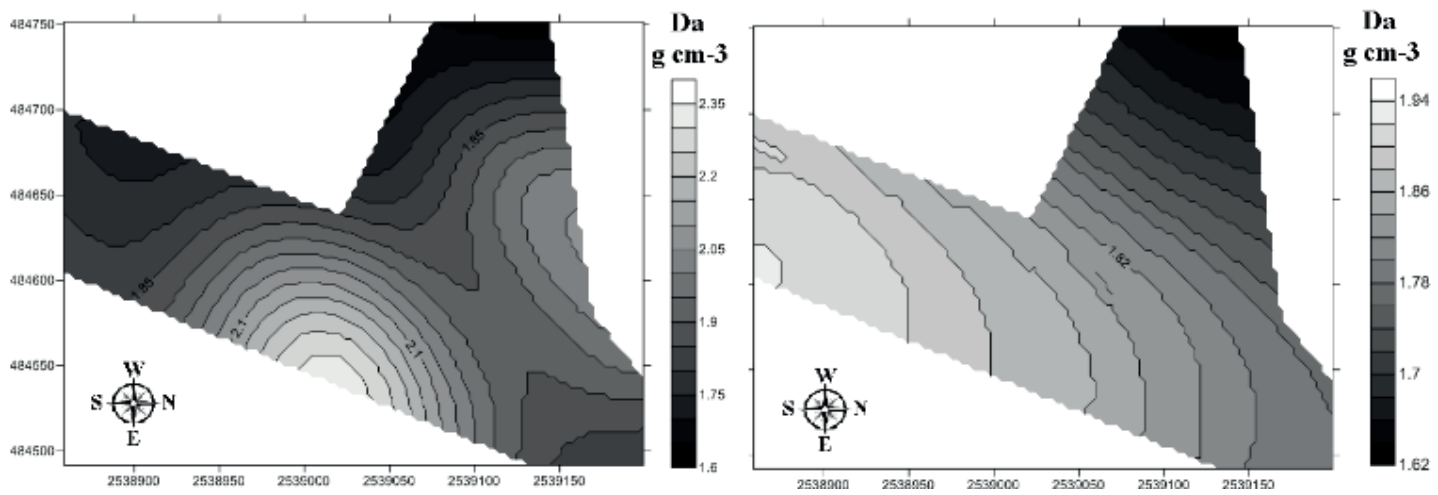
Mapas de contorno del contenido de CO del suelo.



Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Figura 6

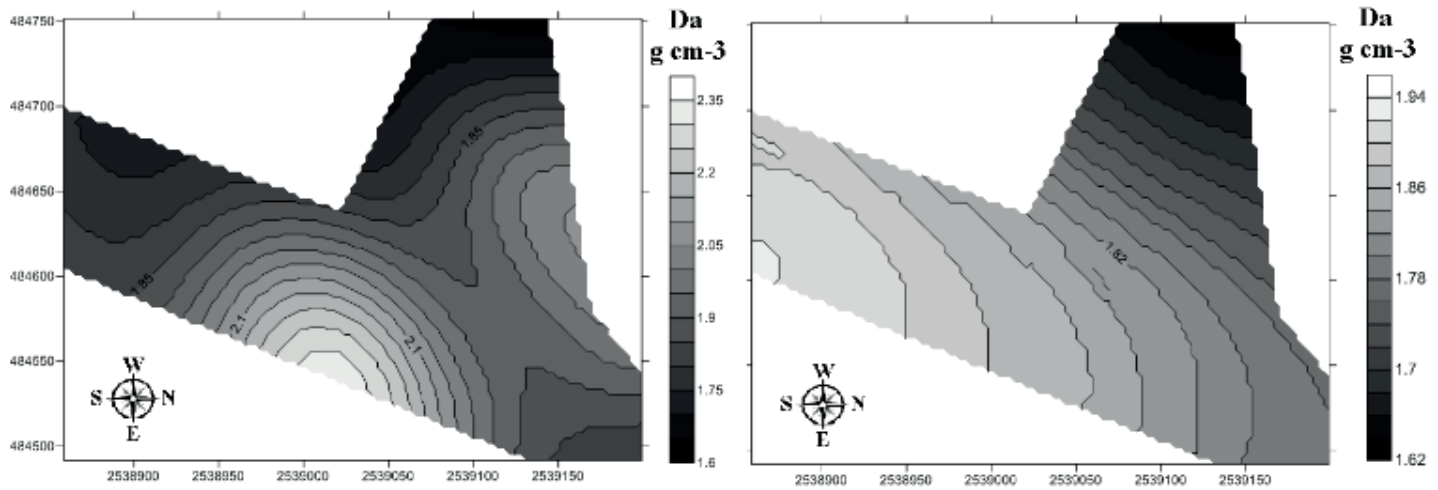
Mapas de contorno de la Densidad Real (D_r) del suelo.



Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Figura 7

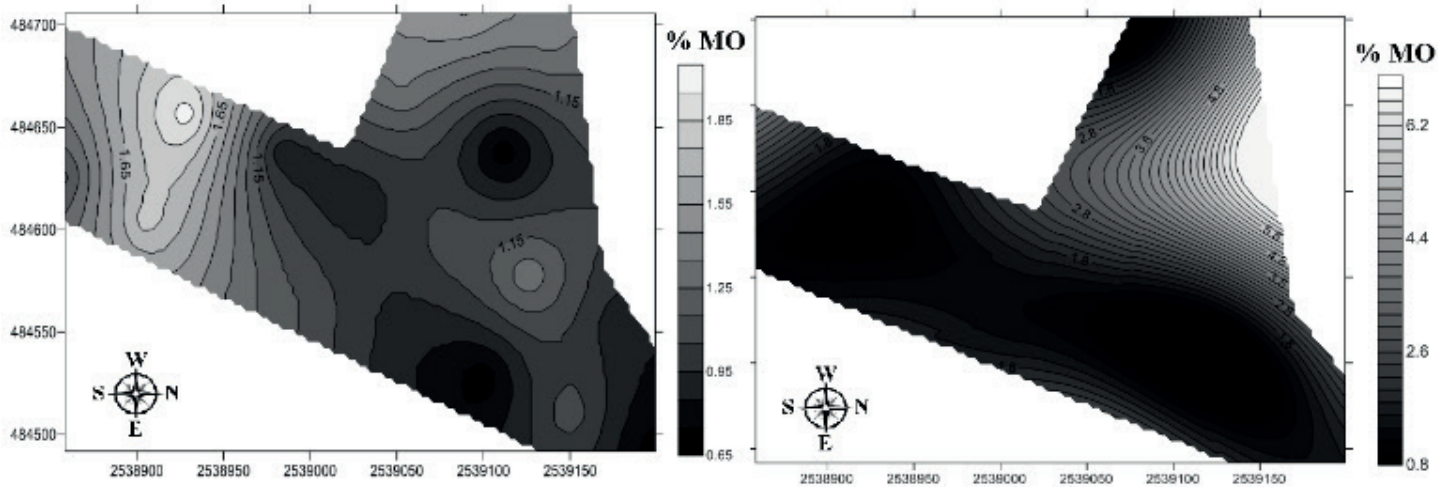
Mapas de contorno de la Densidad Aparente (D_a) del suelo.



Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Figura 8

Mapas de contorno de la Porosidad (PT) del suelo.

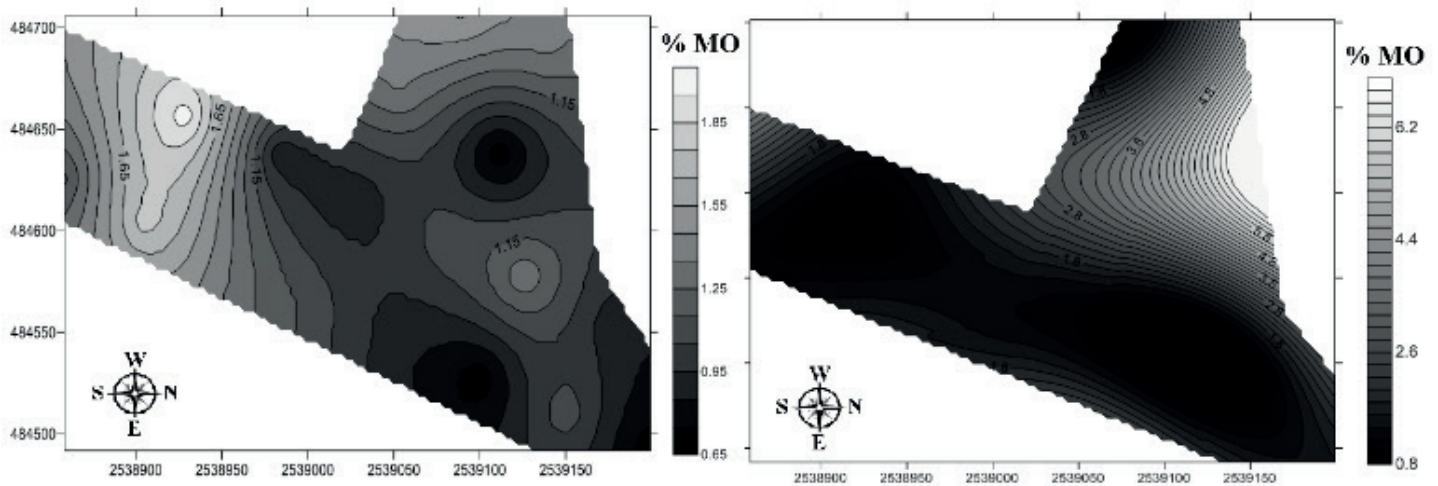


Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

La zona norte del mapa presenta una reducción de MO con una tasa media de 1.06 % en primer muestreo y 2.02 % en el segundo muestreo; el pH es básico en los dos muestreos entre 6.89 y 7.02. El pH permanece con una reacción neutra para este tipo de suelo.

Figura 9

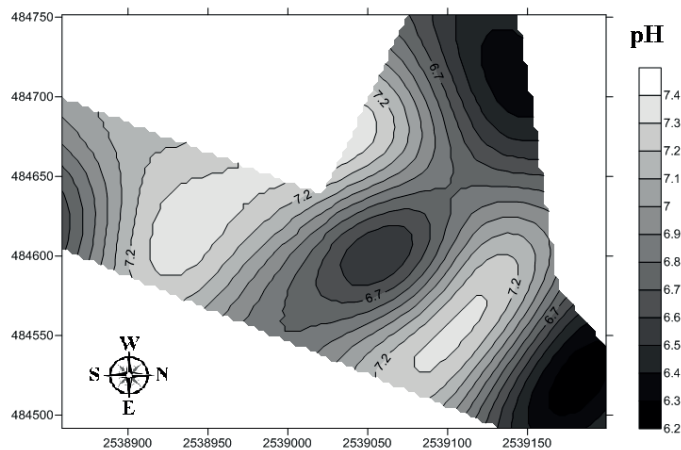
Mapas de contorno de la MO del suelo.



Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Figura 10

Mapas de contorno de la pH del suelo.



Nota. Antes de la siembra del lote 3.

Coefficiente de Correlación Método de Karl Pearson. La covarianza interpreta el signo de la correlación. Si la covarianza es negativa se obtiene un coeficiente de correlación negativa y por el contrario si la covarianza es positiva se obtiene un coeficiente de correlación positiva (Salinas, 2012). En este caso la covarianza en la mayoría de los atributos investigados es positiva excepto el pH en donde se identificó una correlación negativa. Y sí el valor es igual o muy próximo a 0, por tanto, no existiría una relación lineal entre las dos variables, lo que se observó en los atributos Dr, Da, pH y CO cercanos a cero.

Tabla 3

Covarianza y Coeficiente de Correlación
Método de Karl Pearson de las variables de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Atributo	Covarianza	COEF. r
A	50.409	0.596
Ar	2.522	0.078
L	40.531	0.451
DR	0.004	0.191
DA	0.0043	0.321
PT	20.599	0.267
pH	-0.031	-0.261
CO	0.0054	0.108
MO	0.155	0.252

El coeficiente de correlación de Karl Pearson $r=-0.261$ se encuentra dentro del rango (-0,01 a - 0,39), por lo tanto, la correlación es negativa muy baja (Suárez, 2014), esto implica que la dependencia de la variable de pH tomada en el año 2016, incide de manera inversa sobre la variable pH tomada en el año 2017.

Discusión

La densidad aparente muestra valores de hasta 1.92 g/l lo que advierte una capa compactada en el suelo. Aggarwal et al., (1995) encontraron que esta capa compactada aumenta con el incremento de la intensidad de encharcamiento. Para tres tratamientos de riego, la densidad aparente de 15-20 cm de capa de suelo franco arenoso, mostró una Da de 1.76 g/l con baja formación de charcos, 1.79 g/l con el encharcamiento medio y 1.83 g/l con alta formación de charcos. En cuanto a la densidad

real (Dr) está ligada con el tipo y cantidad de constituyentes minerales y orgánicos del suelo y la velocidad de sedimentación de las partículas (Henao, 2010; Orjuela et al., 2011). El alto valor de Dr promedio fue de 2.54 g/l, valores muy similares reportados por Alarcón et al., (2015) en un suelo en la altillanura colombiana. Esta Dr está estrechamente ligado con la PT y puede verse afectado por el manejo del suelo, ya sea por maquinaria o por presencia de animales (Souza & Alves, 2004).

Conclusiones

En cuanto al contenido de MO en clima cálido los valores mayores de 0.2 se consideran altos, es el caso de este suelo en el Espinal con valores promedios de 1.06 %. En este estudio la covarianza en la mayoría de los atributos

investigados es positiva, excepto en el pH que mostró una correlación negativa. De igual manera la covarianza nos indica la inexistencia de relación lineal entre los atributos Dr, Da, pH y CO. En general, en los mapas de contorno se puede observar que la zona sur del Lote 3 presentó mejores condiciones físicas y químicas en el suelo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Suelos del Centro Agropecuario La Granja del Sena Regional Tolima por su invaluable colaboración para la toma y análisis de muestras.

Referencias bibliográficas

- Asencio Beltran, L. S. (2022). Diseño de un modelo predictivo de aprendizaje automático supervisado para determinar precios dinámicos de insumos Agrícolas de la región costa del Ecuador [Tesis de maestría]. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas-Carrera de Ingeniería Civil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/63093>
- Aggarwal, G. C., Sidhu, A. S., Sekhon, N. K., Sandhu, K. S., & Sur, H. S. (1995). Puddling and N management effects on crop response in a rice-wheat cropping system. *Soil and Tillage Research*, 36(3-4), 129-139.
- Alarcón-Jiménez, M. F., Camacho-Tamayo, J. H., & Bernal, J. H. (2015). Management zones based on corn yield and soil physical attributes. *Agronomía Colombiana*, 33(3), 373-382.
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., & Schiavo, H. F. (2007). Soil quality evaluation using indicators and indices. *Ciencia del Suelo* 25(2):173-178 Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672007000200008&lng=es&nrm=iso.
- Chica, J., Tirado, Y. C., & Barreto, J. M. (2016). Indicadores de competitividad del cultivo del arroz en Colombia y Estados Unidos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 16-31. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.49>.
- Cruz, J. S., Assis Júnior, R. N. D., Matias, S. S. R., Camacho-Tamayo, J. H., & Tavares, R. D. C. (2010). Spatial analysis of physical attributes and organic carbon from yellow-red alfisol with sugarcane crop. *Ciência e Agrotecnologia*, 34, 271-278.
- Diggle, P.J. y J.R. Ribeiro, J.R. (2000). *Model Based Geostatistics*. 1ed. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística. Springer. https://books.google.com.co/books/about/Model_based_Geostatistics.html?id=qCqOm39OuFUC&redir_esc=y
- Giraldo, H.R. (2002). *Introducción a la Geoestadística: Teoría y aplicación*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Henao, M. *Prácticas de laboratorio métodos de análisis de suelos (Versión 4)*. 2010. Colombia: Universidad Nacional de Colombia–Facultad de Agronomía.
- Hernanz, J. L., Peixoto, H., Cerisola, C., & Sánchez-Girón, V. (2000). An empirical model to predict soil bulk density profiles in field conditions using penetration resistance, moisture content and soil depth. *Journal of Terramechanics*, 37(4), 167-184.
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006).

La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia*, 24(1). <https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>

Orjuela-Matta, H. M., Rubiano-Sanabria, Y., & Camacho-Tamayo, J. H. (2011). Spatial variability of hydrodynamic parameters in the native savanna of the Colombian Eastern plains. *Agronomía Colombiana*, 29(1), 83-90.

Salinas, P. (2012). Metodología de la investigación científica. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/34398>

Souza, Z. M. D., Marques Júnior, J., Pereira, G. T., & Moreira, L. F. (2004). Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, 34, 1763-1771.

Suárez, M. (2014). Correlación y regresión empleando Excel y Graph. <https://www.studocu.com/en-us/document/politecnico-grancolombiano/estadistica/correlacion-y-regresion-empleando-excel-y-graph/6047500>

Ramírez-López, L., Reina-Sánchez, A., & Camacho-Tamayo, J. H. (2008). Variabilidad espacial de atributos físicos de un Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colombia. *Engenharia Agrícola*, 28, 55-63.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.

Warrick, A. W., & Nielsen, D. R. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field. En *Applications of Soil Physics*. In: Hillel, D., Ed., *Applications of Soil Physics*, Academic Press, New York. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-348580-9.50018-3>

Júnior, V. V., Carvalho, M. P., Dafonte, J., Freddi, O. S., Vázquez, E. V., & Ingaramo, O. E. (2006). Spatial variability of soil water content and mechanical resistance of Brazilian ferralsol. *Soil and Tillage Research*, 85(1-2), 166-177.