

Variabilidad espacial de propiedades físicas del suelo bajo dos sistemas de manejo en Aguascalientes

Perla García-Saucedo^{1,§}

Esteban Salvador Osuna-Ceja²

José Pimentel-López¹

Miguel Ángel Martínez-Gamiño³

Ismael Hernández-Ríos¹

Víctor Manuel Ruiz-Vera¹

1 Colegio de Postgraduados Iturbide 73, San Agustín, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, 78622. México

2 Campo Experimental Pabellón INIFAP Carretera Aguascalientes-Zacatecas km 32.5, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes AP. 20, 20660. México

3 Campo Experimental San Luis Potosí INIFAP Matehuala km 14.5, Palma de la Cruz, San Luis Potosí, 78432 México

Autor de correspondencia: perlagarcia1555@gmail.com.

Resumen

En el manejo agrícola convencional, la variabilidad del suelo se considera una limitante productiva; en contraste, los sistemas regenerativos buscan mejorar sus propiedades físicas y funcionales. El objetivo de este estudio fue evaluar la variabilidad espacial del contenido volumétrico de humedad ($\#v$) y la resistencia a la penetración (R_p) del suelo bajo dos sistemas de manejo agrícola. El estudio se realizó en el ciclo otoño-invierno de 2023, en Pabellón, Aguascalientes, en un área de 0.8 ha dividida en dos parcelas de 0.4 ha, donde se establecieron un sistema agrícola convencional (SAC) y un sistema con prácticas agrícolas regenerativas (SAR). En ambos sistemas se efectuó un muestreo sistemático en una malla de 40 × 100 m, con espaciamiento de 5 m, obteniéndose 160 muestras por tratamiento. Se aplicó un análisis estadístico descriptivo y geoestadístico para evaluar la variabilidad espacial de $\#v$ y R_p . Los resultados mostraron valores mayores de $\#v$ y R_p en el SAR respecto al SAC, así como una distribución más cercana a la normal para $\#v$. Los mapas espaciales evidenciaron una mayor organización espacial en el SAR, lo que sugiere efectos positivos del manejo regenerativo sobre las propiedades físicas del suelo.

Palabras clave:

compactación, geoestadísticas, regenerativa, sistema, sostenibilidad.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

La evaluación de la variabilidad espacial de las propiedades del suelo en áreas experimentales es de gran importancia ya que ésta puede enmascarar el efecto de los tratamientos aplicados. Diversos estudios han demostrado que, aun a nivel de pequeñas áreas experimentales, la variabilidad puede ser significativa (Hernández *et al.*, 2018; Ciarlo *et al.*, 2020; Guachún, 2022; Qu *et al.*, 2023).

Tradicionalmente el diseño experimental en el campo de la agronomía se basa en el diseño de bloques con tratamientos distribuidos al azar con el objetivo de reducir el error experimental (Clewer y Scarisbrick, 2001), permitiendo el uso de métodos convencionales de análisis estadísticos como el análisis de varianza, regresión, entre otros (Montgomery, 2009 ; Tavares *et al.*, 2016).

Esta consideración implica que la variabilidad espacial es aleatoria dentro de los bloques, condición que no siempre se cumple (Jaramillo, 2012; Fernández-Aviléz y Montero, 2025). Como método alternativo para cuantificar la heterogeneidad se propone la aplicación de la geoestadística, la cual es usada para analizar la estructura de la variabilidad espacial de variables regionalizadas y para optimizar su interpolación (Jaramillo, 2013; AbdelRahman *et al.*, 2021).

En el mundo existen muchos trabajos relacionados con el estudio de la variabilidad espacial de las propiedades del suelo bajo diferentes ambientes edafoclimáticos y tipos de manejo, los cuales se apoyan en el uso de la geoestadística para explicar las relaciones causa-efecto.

La mayoría de las investigaciones han analizado la variabilidad espacial de variables físicas y químicas para determinar la respuesta del suelo a usos específicos bajo determinadas prácticas de manejo y establecer su relación con la productividad de los diferentes cultivos agrícolas (Vargas *et al.*, 2015; Ciarlo *et al.*, 2020; Albornoz-Bucheli *et al.*, 2022; Galindo-Pacheco *et al.*, 2025; Álvarez-Herrera *et al.*, 2025). Estos estudios demuestran que no existe un patrón único de distribución espacial de suelo y la misma puede ser influenciada por el manejo agrícola y la escala de muestreo.

La hipótesis de este estudio plantea que el sistema sin laboreo acompañado por una cobertura de residuos vegetales modifica la estructura y estabilidad del suelo en comparación con el sistema con laboreo, lo cual se refleja en la variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar y comparar la variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo como la humedad volumétrica y la resistencia a la penetración en dos sistemas de manejo agrícola SAR y SAC, con el fin de identificar cómo las prácticas de manejo influyen en la distribución y heterogeneidad de las características como la capacidad de retención de humedad y resistencia mecánica, entre otras, y así proporcionar recomendaciones para mejorar la gestión sostenible de los suelos en cada sistema.

Materiales y métodos

El área de estudio se ubica en el Campo Experimental Pabellón de INIFAP en Aguascalientes, situado en las coordenadas 22° 11' norte y 102° 20' oeste. El sitio se ubica a una altitud de 1 969 m. El suelo del sitio experimental es de tipo Xerosol, limitado en el subsuelo por tepetate, principalmente en la fase dúrica y más localizadamente la dúrica profunda, con clase textural media (migajón-arenoso), pH alcalino de 7.8, con menos de 1% de materia orgánica y la pendiente del terreno varía de 2 a 3% (INEGI, 2007).

El clima predominante en la región es semidesértico [BS1 kw (w) (e)]. La temperatura media anual es de 16.7 °C, la media anual máxima es de 20 °C y la mínima es de 13.2 °C. La precipitación pluvial acumulada anual oscila entre 400 a 450 mm y se tiene un régimen de lluvias en verano, precipitación invernal menor a 5% del registro anual y un verano cálido (García, 2004).

Durante el ciclo otoño-invierno (OI) de 2023 se delimitaron dos parcelas contiguas de 40 m × 100 m, las cuales se emplearon como unidades experimentales. La primera fue cultivada en monocultivo de verano con labranza convencional; la segunda, en descanso, estaba cubierta de pastizal nativo. Antes de iniciar la investigación, ambas fueron preparadas con arado de volteo y rastra.

Posteriormente, la parcela en descanso se sembró con triticale (*X. Triticosecale* Wittmack) para forraje, asociado con trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum* L.), con el fin de establecer una pradera de trébol tras la cosecha del cereal de OI y dejar un mantillo sobre la superficie para manejar siembra directa de los cultivos de PV. La otra parcela quedó lista para la siembra de los monocultivos de primavera-verano (PV) en 2024.

Después de la cosecha de los forrajes OI, se realizó un muestreo del contenido de humedad volumétrica (Θ_v) y de la resistencia a la penetración del suelo (R_p). Las dos variables fueron determinadas mediante un muestreo sistemático a través de una malla, con una separación de 5 m entre cada intersección o punto de muestreo en un área de 0.8 ha dividida en dos parcelas de 0.4 ha, lo que dio como resultado un total de 160 puntos de muestreo por parcela.

Este muestreo se realizó en la capa superficial del suelo, de 0-5 cm y 0-15 cm de profundidad, en los dos sistemas. Para la determinación del contenido de humedad se utilizó un reflectómetro del dominio del tiempo (TDR), mientras que la resistencia a la penetración se midió con un penetrómetro de impacto de punta cónica (CIMMYT, 2013).

Una vez obtenidos los datos, se estimaron medidas de tendencia central y dispersión (media, mediana, desviación estándar, máximo, mínimo, coeficiente de asimetría, kurtosis y coeficiente de variación). Posteriormente, se realizó un análisis exploratorio de los datos provenientes de 160 observaciones por variable y por tratamiento, evaluando su comportamiento y verificando el cumplimiento de la normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y de Levene para homogeneidad de varianza.

Dado que en el sistema convencional (SAC) se observaron distribuciones altamente asimétricas y leptocúrticas, lo cual viola los supuestos de normalidad requeridos por las pruebas paramétricas, se optó por aplicar la prueba no paramétrica de Wilcoxon ($\alpha = 0.05$) como análisis principal para la comparación de grupos, los análisis se realizaron utilizando el software R Studio (versión 2024.12.0). Además, se efectuó un análisis de la variabilidad espacial de ambas variables utilizando herramientas geoestadísticas para su definición y ajuste.

Resultados y discusión

Análisis exploratorio de datos

Las estadísticas descriptivas de las variables humedad (Θ_v) y resistencia a la penetración (R_p), se muestran en el Cuadro 1. En este se presentan los resultados de los principales estadísticos de las dos variables analizadas para ambos sistemas de manejo evaluados.



Cuadro 1. Estadísticos descriptivos del contenido de humedad (Θ_v) y resistencia a la penetración (R_p) en dos sistemas de manejo del suelo.

Sistema	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Varianza	DS	Asimetría	Kurtosis	CV
Humedad de suelo ($\#v$ en % a 5 cm)									
SAR	0.50	29.50	15.71	16.55 a	43.15	6.56	-0.37	-0.35	41
SAC	0.50	12.50	1.05	0.5 b	2.59	0.61	3.52	17.82	58
Humedad de suelo ($\#v$ en % a 15 cm)									
SAR	1.1	20.7	10.36	10.45 a	18.19	4.26	-0.11	-0.4	41
SAC	0.6	6.6	0.9	0.7 b	0.82	0.69	3.13	15.07	77
Resistencia a la penetración (R_p en MPa a 15 cm)									
SAR	0.19	3.43	0.92	0.76 a	0.28	0.53	2.19	6.51	57
SAC	0.5	4.39	0.61	0.02 b	0.29	0.53	5.79	35.54	87

SAR= sistema de agricultura regenerativa; SAC= sistema de agricultura convencional; DE= desviación estándar; CV= coeficiente de variación; prueba de W ($\alpha= 0.05$).

En el resumen de las estadísticas descriptivas del Cuadro 1, se observa que la $\#v$ presentó una buena correspondencia entre el valor de media y la mediana indicando poblaciones con distribuciones simétricas. Por otro lado, se aprecia que la media para Θ_v es de 15.71% y 10.36% con un coeficiente de variación (CV) de 41.8 y 41.2% en las dos profundidades muestreadas (5 y 15 cm) para el sistema SAR, mientras que la media de $\#v$ en el sistema convencional (barbecho + rastra) para las dos profundidades es de 1.05% y 0.9% correspondiente a un CV de 58 y 77%, respectivamente.

Estos resultados indican que el sistema SAR mantiene una mayor humedad del suelo y menor variabilidad entre muestras, lo cual sugiere una mejor uniformidad en la conservación de humedad del perfil del suelo. Esta tendencia concuerda con estudios recientes que han documentado diferencias en las propiedades hidráulicas y la retención de agua entre sistemas sin labranza (no-till) y con labranza convencional.

Además, la no labranza tiende a mejorar la estructura del suelo (Jabro y Stevens, 2022; Tan *et al.*, 2025). Otras investigaciones han encontrado que el uso de residuos junto con prácticas de conservación puede influir positivamente en la capacidad de retención de agua en el suelo y en el mejoramiento de sus propiedades físico-químicas relacionadas (Singh *et al.*, 2023).

En el caso de R_p se observa que la media es de 0.92 MPa en SAR y para el convencional es de 0.61 MPa, respectivamente. Aunque dichos niveles no implican ninguna limitación en ambos casos para el crecimiento de los cultivos (Bravo *et al.*, 2011). No obstante, la resistencia a la penetración del suelo es mayor en sistemas de labranza cero porque el suelo que no se remueve, lo que favorece la consolidación natural de las partículas y aumenta la densidad aparente en la superficie; en contraste, la labranza convencional afloja temporalmente el suelo mediante el arado y rastreo, disminuyendo la resistencia a la penetración (Demuner-Molina *et al.*, 2013).

Además, en la labranza cero la acumulación de residuos vegetales y materia orgánica mejora la estabilidad de los agregados y la estructura del suelo, incrementando su firmeza superficial, aunque también favorece la infiltración de agua, la conservación de humedad y la reducción de erosión (Hernández-Sánchez *et al.*, 2019; Gómez-Calderón y Estrada-León, 2019) aunque los niveles de R_p son más altos en SAR.

El CV que presentan las dos variables evaluadas, son relativamente altos lo que indica que la θ_v y R_p mostraron una variabilidad media, en los dos sistemas de manejo del suelo. De acuerdo con Pinzón-Gómez *et al.* (2016), variables con $CV > 65\%$ se consideraron con una alta variabilidad, con CV entre 25 y 65% se calificaron de variación media y aquellas con $<25\%$ fueron consideradas de baja variabilidad.

En este análisis, las variables evaluadas presentan una variabilidad media; sin embargo, la utilización de estos valores en métodos geoestadísticos puede generar conclusiones robustas. Este enfoque coincide con estudios previos en los que se ha utilizado el análisis espacial en las propiedades del suelo para determinar patrones de variabilidad espacial (Subhash *et al.*, 2025).

En las Figuras 1 y 2 se muestran los histogramas de frecuencia correspondientes a ambas variables.

Figura 1. Histogramas de θ_v (a= 5 cm; b= 15 cm) y R_p (c= 15 cm) del suelo bajo el sistema regenerativo (SAR).

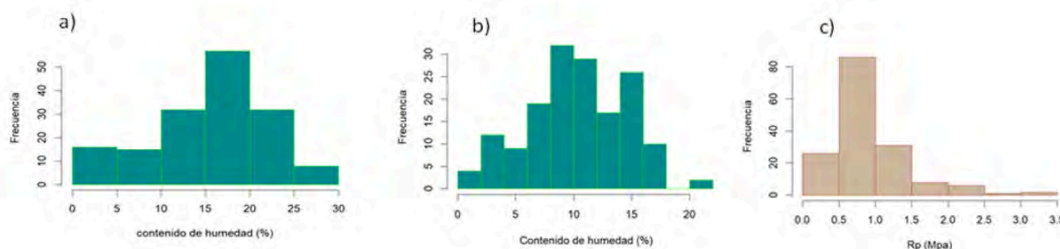
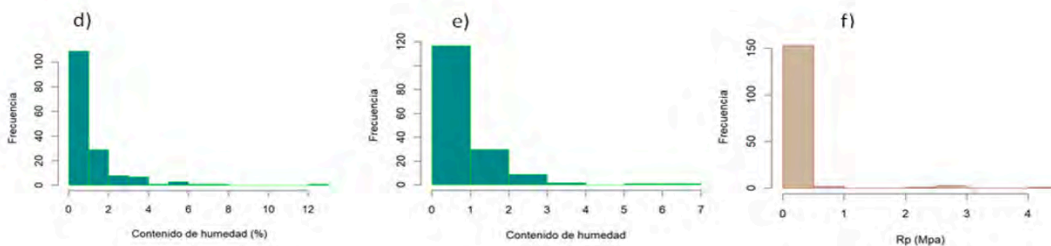


Figura 2. Histograma de θ_v (d= 5 cm y e= 15 cm); y R_p (f= 15 cm) del suelo bajo el sistema convencional (SAC).



En relación con los valores de asimetría para el caso de θ_v en las dos profundidades evaluadas, el sistema SAR presentó valores negativos, lo que indica que la distribución de los datos mostró una cola hacia la izquierda, concentrando la mayoría de los valores en rangos altos, como se evidencia en los histogramas de θ_v (Figura 1a y 1b). Por su parte, para el caso de R_p , la asimetría fue positiva, mostrando una ligera cola hacia la derecha y reflejando que la mayoría de los datos se concentran en valores bajos (Figura 1c).

En el caso del sistema convencional, el comportamiento de θ_v y R_p mostraron valores altos de asimetría positiva, lo que indica que la distribución de los datos presentan una cola hacia la derecha, concentrando la mayoría de los valores en rangos bajos como se muestran en los histogramas.

De acuerdo con algunos reportes de la literatura, para una distribución normal y simétrica, estos coeficientes deberían ser iguales a 0 y 3 para asimetría y Kurtosis respectivamente (Adhikari *et al.*, 2009). Para comprobar la normalidad se realizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, en ambas variables para los dos sistemas de manejo.

La variable de Θ_v a la profundidad de 5 cm arrojó un valor para el estadístico $D= 0.0815$ y un valor de $p\text{-value}= 0.0113$ y a 15 cm los estadísticos fueron de $D= 0.0531$ y un $p\text{-value}= 0.3286$; de acuerdo con estos resultados se puede interpretar que solo la Θ_v a 15 cm presentó una distribución normal. En tanto que la variable R_p se obtuvo el estadístico $D= 0.1807$ y un valor de $p\text{-value}= 6.164e-14$ con lo cual se concluyó que los datos de esta variable no siguieron una distribución normal con un nivel de significancia de 0.05.

De acuerdo con este criterio, se puede apreciar que los valores de ambas variables evaluadas en el sistema convencional, para $\#v$ a 5 cm los estadísticos fueron $D= 0.2567$ y $p\text{-value}= 2.2e-16$ mientras que para Θ_v a 15 cm los valores fueron $D= 0.1864$ y $p\text{-value}= 7.142e-15$, con lo cual se confirmó que los datos de esta variable no presentaron una distribución normal.

En el caso de R_p los valores estadísticos fueron $D= 0.1483$ y $p\text{-value}= 2.2e-16$, confirmando que no tuvieron una distribución normal. Sin embargo, es importante señalar que la mayoría de las propiedades fisicoquímicas de los suelos son sesgadas, es decir no siempre siguen una distribución normal (Hammer *et al.*, 1998; Webster y Oliver, 2007).

La homogeneidad de varianzas se evaluó mediante la prueba de Levene (Levene, 1960), cuyos resultados indicaron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de manejo para las variables analizadas: resistencia a la penetración (R_p): $F= 16.30$; $gl= 1\ 318$; $p< 0.001$; humedad a 5 cm: $F= 154.98$; $gl= 1\ 318$; $p< 0.001$; humedad a 15 cm: $F= 187.27$; $gl= 1\ 318$, $p< 0.001$.

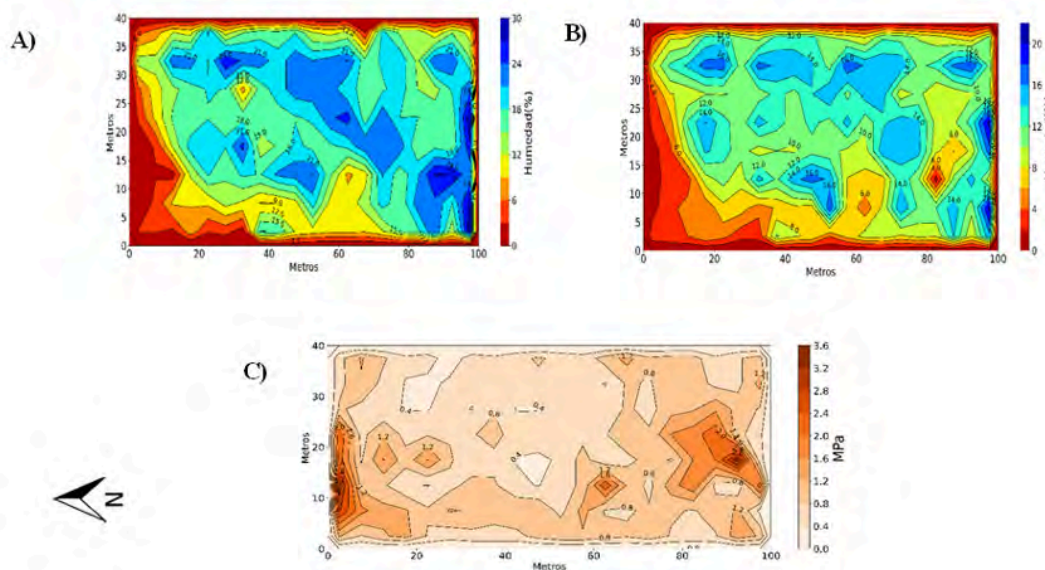
Con base en estos resultados, se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon, la cual es menos sensible a los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Esta prueba mostró diferencias significativas entre los sistemas de manejo: Resistencia a la penetración: $W= 24602$; $p< 0.001$; humedad a 5 cm: $W= 25\ 239$; $p< 0.001$; humedad a 15 cm: $W= 25384$; $p< 0.001$ lo cual indicó que existió un cambio en las propiedades evaluadas según el tipo de manejo de suelo.

Mapas de isolíneas de las propiedades físicas (Θ_v y R_p) evaluadas para el área experimental de los dos sistemas de manejo de suelo

Los mapas de variabilidad espacial de las dos propiedades físicas del suelo evaluadas en ambos sistemas de manejo se muestran en las Figuras 3a, 3b y 3c , y 4a, 4b y 4c . En el área del sistema SAR, en sus mapas (Figura 3a y 3b) se puede visualizar que los valores más altos de $\#v$ para la profundidad de 5 cm, se presentaron hacia la zona sur-centro y los valores menores en la parte norte y NW, mientras que el mapa correspondiente a la profundidad de 15 cm los valores más altos se presentaron en la zona centro-sur.



Figura 3. Mapas de variabilidad espacial para las propiedades físicas del suelo estudiadas en el área experimental del sistema SAR A) Θ_v a 5 cm; B) Θ_v a 15 cm; y C) R_p .

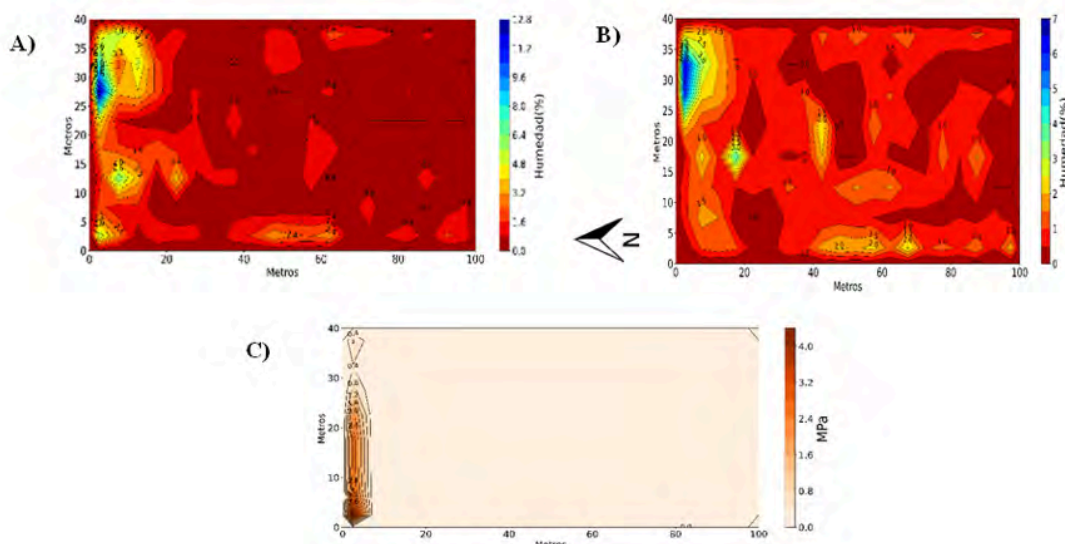


Lo anterior podría incidir en la variación de la respuesta productiva de los cultivos bajo estudio. El mapa de R_p del mismo sistema (SAR) muestra valores que oscilan de 0.4 a 3.6 MPa clasificados de bajo nivel de compactación. La mayor parte de la superficie presentó valores que fluctuaron de 0.4 a 0.8 MPa, con pequeños islotes o agregados cuyos valores de R_p estuvieron por encima de 0.8 hasta alcanzar el valor máximo de 3.6, localizados en los extremos norte y sur del área experimental (Figura 3c).

La representación de las estimaciones de Θ_v y R_p muestran que la mayor parte del área experimental del sistema convencional presentó valores por debajo de 1% de Θ_v , en la capa superficial de 5 cm de profundidad; mientras que en la capa de 15 cm los valores de Θ_v oscilaron de 0.5 a 1%, con algunos pequeños islotes o agregados cuyos valores de la variable fueron de 2%(Figura 4a y 4b). En el caso de R_p , los valores estuvieron prácticamente por debajo de 1 MPa en toda el área experimental, con algunos pequeños agregados en la parte sur del área cuyos valores oscilaron de 1.2 a 3.2 MPa (Figura 4c).



Figura 4. Mapas de variabilidad espacial para las propiedades físicas del suelo estudiadas en el área experimental del sistema convencional (SAC) A) Θ_v a 5 cm; B) Θ_v a los 15 cm; y C) R_p .



Los valores de R_p representan la resistencia a la penetración del suelo, donde valores más altos indican mayor compactación y dificultad para el crecimiento radicular, mientras que valores bajos reflejan un suelo menos compacto y más favorable para las raíces (Colombi *et al.*, 2019).

Con relación a la humedad del suelo Θ_v esta fue generalmente baja en el sistema convencional, probablemente debido a la menor cobertura vegetal y la falta de residuos en la superficie, lo que probablemente aumento la evaporación, y afecto la estructura del suelo, limitando la retención de agua en el perfil.

Esto contrasta con el sistema SAR, donde los valores más altos de Θ_v reflejaron mayor retención de agua por efecto del residuo dejado en la superficie como mantillo estos resultados son congruentes a los reportados por Li *et al.* (2019).

Conclusiones

Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas evaluados, con mayores valores de R_p y mayores niveles de humedad en el sistema regenerativo (SAR) en comparación con el sistema convencional (SAC). Lo cual evidencia los cambios en las propiedades del suelo según el sistema de manejo aplicado.

El laboreo de los suelos agrícolas produce, en la mayoría de los casos, un deterioro de las propiedades edafológicas del mismo y una baja en su productividad. Por tanto, incorporar buenas prácticas regenerativas en el manejo de los suelos, tales como la siembra directa y el mantenimiento de los residuos de cultivo sobre la superficie del suelo, es una manera de mejorar el manejo de la humedad e incrementar su conservación en el perfil.

Con base en lo anterior, se ha constatado en este trabajo que los parámetros de suelo Θ_v y R_p evaluados, presentaron un buen nivel de dependencia espacial, especialmente en el sistema SAR, sugiriendo la necesidad de considerar la variabilidad espacial en áreas experimentales. La aplicación de la geoestadística para la caracterización espacial de los parámetros de suelo representa una ayuda importante para interpretar los resultados de los ensayos que se realizan en las áreas experimentales.

Por tanto, la distribución de las variables estudiadas, reflejada en los mapas, pudiera influir sobre la variabilidad del rendimiento. No obstante, la variación del rendimiento de los cultivos depende de un conjunto de factores y los parámetros de suelo sólo representan uno de ellos.

Bibliografía

- 1 AbdelRahman, M. A. E.; Zakarya, Y. M.; Metwaly, M. M. and Koubouris, G. 2021. Deciphering soil spatial variability through geostatistics and interpolation techniques. *Sustainability*. 13(1):194. <https://doi.org/10.3390/su13010194>.
- 2 Adhikari, K.; Guadagnini, A.; Toth, G. and Hermann, T. 2009. Geostatistical analysis of surface soil texture from Zala county in western Hungary. Conference: International Symposium on Environment. Energy and Western in Nepal: Recent Researches and Direction for Future. 219-224 pp.
- 3 Albornoz-Bucheli, C.; Benavides-Cardona, C. and Muñoz-Guerrero, D. 2022. Geostatistical methods applied to soil fertility zoning. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 39(1):85-98. <https://doi.org/10.22267/rcia.223901.171>.
- 4 Álvarez-Herrera, J. G.; Jaime-Guerrero, M. and Fernández-Pérez, C. J. 2025. Spatial variability and geostatistical modeling of soil physical properties under *Eucalyptus globulus* plantations. *Geomatics*. 5(3):41. <https://doi.org/10.3390/geomatics5030041>.
- 5 Bravo, C.; Cabrera, J.; Carvallo, M.; Cánchica, H.; Ramírez, E. y González, I. 2011. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con el rendimiento de frijol (*Vigna unguiculata* L.) EUA. Parcela Experimental de los Llanos Centrales Venezolanos.
- 6 Ciarlo, E. A.; Muschietti, M. P.; Peralta, N.; Comparín, M.; Gregorini, F.; Cipriotti, P. A. y Giuffrè, L. 2020. Variabilidad espacial de propiedades del suelo: Efecto del uso y tipo. *Ciencia del Suelo*. 38(2):249-261. <https://ojs.suelos.org.ar/index.php/cds/article/view/625>.
- 7 CIMMYT. 2013. Resistencia a la penetración: guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). <https://repository.cimmyt.org/server/api/core/bitstreams/e6ce6372-6a9e-4b9b-9406-6c3605f95e28/content>.
- 8 Clewer, A. G. and Scarisbrick, D. H. 2001. Practical statistics and experimental design for plant and crop science. Chichester, England: John Wiley and Sons. 346 p. ISBN: 978-0471899082.
- 9 Colombi, T.; Kirchgessner, N.; Walter, A. and Keller, T. 2019. Soil mechanical impedance restricts root elongation in the field: effects on maize and wheat. *Journal of Experimental Botany*. 70(8):2359-2370. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz093>.
- 10 Demuner, M. G.; Cadena, Z. M. y Campos, M. S. G. 2013. Resistencia a la penetración en un suelo franco arcilloso a dos años de manejo con tres sistemas de labranza. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 22:68-71.
- 11 Fernández-Avilés, G. y Montero, J. M. 2025. Geoestadística. In: fundamentos de ciencia de datos con R. <https://cdr-book.github.io/geo.html>.
- 12 Galindo-Pacheco, J.; Vargas-Díaz, R.; Martínez-Niño, C. y Franco-Flórez, C. 2025. Análisis de variación espacial de la fertilidad del suelo para la delimitación de zonas de manejo homogéneo en agricultura de precisión. *Revista Científica Dékamu Agropecuaria*. 10(2):25-38. <https://revista.unibagua.edu.pe/index.php/dekamuagropec/article/view/289>.
- 13 García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 5ta. Edición. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). <https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/1372>.

- 14 Gómez-Calderón, N. y Estrada-León, R. J. 2019. Conservación de suelos mediante la modificación de la frecuencia de labranza. *Revista de Ciencias Ambientales*. 54(1):85-92. <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.7>.
- 15 Guachún-Calderón, D. R. 2022. Evaluación de la variabilidad espacial de propiedades del suelo bajo diferentes usos/coberturas en la granja El Romeral de la Universidad de Cuenca. Tesis de licenciatura. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/40024>.
- 16 Hammer, R. D.; Young, F. J. and Williams, F. 1998. Evaluating central tendency and variance of soil properties within map Units. *Soil Science Society of America Journal*. 62(6):1640-1646. <https://doi.org/10.2136/sssaj1998.03615995006200060022x>.
- 17 Hernández, W.; Marco, L.; Torres, D. y Romero, P. 2018. Variabilidad espacial del pH y del contenido de Fe₂O₃ en suelos de la cuenca del río Tabure del Estado Lara. *Ciencia y Tecnología*. 11(1):19-27. <https://doi.org/10.18779/cyt.v11i1.217>.
- 18 Hernández-Sánchez, J. M. D. D.; Figueroa-Sandoval, B. y Martínez-Menes, M. R. 2019. Propiedades físicas del suelo y su relación con la plasticidad en un sistema bajo labranza tradicional y no labranza. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(22):53-61.
- 19 INEGI. 2007. Conjunto de datos vectorial edafológico, Serie II. Escala 1: 250 00. Continuo nacional. México. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825235659>.
- 20 Jabro, J. D. and Stevens, W. B. 2022. Soilwater characteristic curves and their estimated hydraulic parameters in notilled and conventionally tilled soils. *Soil & Tillage Research*. 219: 105342. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105342>.
- 21 Jaramillo, D. F. 2012. Variabilidad espacial del suelo: bases para su estudio. *Revista de la Facultad de Ciencias*. 1(1):73-87. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/view/49004>.
- 22 Jaramillo, D. F.; Sadeghian, K. S. y Lince, S. L. A. 2013. Variabilidad espacial de las bases en un andisol de la zona cafetera central colombiana. *Boletín de Ciencias de la Tierra*. 33:11-124. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/36030>.
- 23 Levene, H. 1960. Pruebas robustas de igualdad de varianzas. In: Olkin, I. Ed. *Contribuciones a la probabilidad y la estadística*, Stanford University Press, Palo Alto. Referencias-publicaciones de investigación científica. 278-292 pp. <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=2363177>.
- 24 Li, H.; Liu, F.; Sun, X.; Li, S.; and Yu, J. 2019. Effects of mulching on soil moisture, temperature, and maize yield in dryland areas. *Field Crops Research*. 236:29-38. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.03.009>.
- 25 Montgomery, D. C. 2009. *Design and analysis of experiments* (7th Edition). John Wiley & Sons.
- 26 Pinzón-Gómez, L. P.; Herrera, J. G. A. and Mesa-Amezquita, A. 2016. Study of the spatial variability of moisture and compaction in soils with different plant covers. *Agronomía Colombiana*. 34(3):355-363. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n3.59984>.
- 27 Qu, L.; Zhu, Y.; Liang Y. and Qiu Dan. 2023. Spatial variation of soil properties and evaluation of the risk of soil erodibility on a river alluvial and marine sedimentary plain in eastern China. *Journal of Soils and Sediments*. 23(5):2106-2119. <https://doi.org/10.1007/s11368-023-03460-8>.
- 28 Singh, V.; Gupta, R. K.; Kahlon, M. S.; Toor, A. S.; Singh, K. B.; Al-Ansari, N. and Mattar, M. A. 2023. Effect of different tillage and residue management on soil physical attributes. 12(10):1895. <https://doi.org/10.3390/land12101895>.
- 29 Subhash, M.; Sinha, N. K.; Kumar, J.; Mohanty, M.; Sahoo, R. N.; Jayaraman, S.; Kumar, N.; Rani, A.; Thakur, J. K.; Mandal, A.; Kumar, D.; Mishra, R. and Prabhakar, M. 2025. Spatial variability of soil physicochemical properties in soybean wheat belts in Vertisols of central India. *Scientific Reports*. 15(1):33830. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-03540-4>.

- 30 Tan, J.; Si, B. C. and Zhao, Y. 2025. Shortterm notillage improves soil water retention and maintains soil aeration at high moisture conditions despite reduced macroporosity. *Soil & Tillage Research*. 253:106677. <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106677>.
- 31 Tavares, L. F.; Carvalho, A. M. X. and Machado, L. G. 2016. An evaluation of the use of statistical procedures in soil science. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*. 40:e0150246. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20150246>.
- 32 Vargas, S. R. P.; Serrato, C. F. y Trujillo, T. A. 2015. Variabilidad espacial de las propiedades físicas de un suelo Fluventic ustropepts en la cuenca baja del río Las Ceibas-Huila. *Ingeniería y Región*. 13:113-123. <https://doi.org/10.25054/22161325.713>.
- 33 Webster, R. and Oliver, M. A. 2007. *Geostatistics for environmental scientists*. 2nd. Edition. John Wiley and Sons.



Variabilidad espacial de propiedades físicas del suelo bajo dos sistemas de manejo en Aguascalientes

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
ISSN (electronic): 2007-9230
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (México)

Article/Issue Information
Date received: 01 February 2026
Date accepted: 01 June 2026
Publication date: 01 August 2026
Electronic Location Identifier: e4173
DOI: 10.29312/remexca.v17i5.4173

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

compactación
geoestadísticas
regenerativa
sistema
sostenibilidad

Counts

Figures: 4

Tables: 1

Equations: 0

References: 33