

---

## CARTOGRAFÍA DIGITAL DE CLASES TEXTURALES DEL SUELO EN UN ÁREA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD RÓMULO GALLEGOS

Ángel Rafael Valera<sup>1\*</sup>, Jairo César Ferrer<sup>1</sup>, José Coronado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Rómulo Gallegos, Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA-UNERG), San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela. Correo electrónico: angelvalera@unerg.edu.ve, ferrerjairo9@gmail.com, comillano.coronado@gmail.com

\* Autor de correspondencia

Recibido: 14 - 07 - 2022; Aceptado: 15 - 08 - 2022; Publicado: 22 - 11 - 2022

---

### RESUMEN

La presente investigación se basa en la aplicación técnicas de cartografía digital de suelos (DSM, *Digital Soil Mapping*) para la generación de un mapa de textura de suelo. Para tal fin se realizó un muestreo de 64 perfiles de suelo en terrenos del Centro de Producción con Rumiantes del Área de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional Experimental "Rómulo Gallegos" (CPR-UNERG), ubicado en el Municipio Juan Germán Roscio del estado Guárico, Venezuela. Posteriormente se realizó un análisis geoestadístico empleando el método de interpolación de kriging ordinario (KO) de los contenidos de arena, limo y arcilla. Los mapas del contenido de arcilla y arena se utilizaron para generar el mapa de las clases texturales del suelo. Para ello se empleó un algoritmo de clasificación de la textura del suelo del módulo geoespacial del Sistema de Análisis Geocientífico Automatizado (programa SAGA-GIS). Para determinar el grado de precisión del algoritmo de clasificación se hicieron 14 chequeos de campo adicionales, y se realizó una evaluación cuantitativa mediante matrices de confusión, a través del estadístico Kappa y la exactitud global del modelo. El mapa final indicó que predominan suelos francos, y en algunos sectores existen suelos franco arcillosos, franco arcillo arenosos y franco arenosos. La variación granulométrica es mayor en sentido Suroeste - Noreste, con dominancia de fracciones más finas cerca de los cursos de drenaje y las partes más bajas del terreno. La validación arrojó una exactitud global de 79% y un índice Kappa de 71%, indicando un alto grado de correspondencia entre las clases texturales evaluadas y la realidad presente en la capa superficial de los suelos.

**Palabras clave:** Arcilla, Arena, Textura, Kriging, Cartografía digital

---

### DIGITAL MAPPING OF SOIL TEXTURAL CLASSES IN AN EXPERIMENTAL AREA FROM RÓMULO GALLEGOS UNIVERSITY

#### ABSTRACT

Knowledge of the spatial variation of soil texture in the experimental sites is important for defining the establishment of homogeneous lots, and avoids overlaps between treatments. This research presents an alternative based on techniques of digital soil mapping (DSM, Digital Soil Mapping), to generate a map of soil texture. For this, a sample of 64 soil profiles in areas of Production Center with Ruminants Area of Agricultural Engineering of Romulus Gallegos University, located in the basin of the San Juan River, Autonomous Municipality Juan Germán Roscio, Guarico state, Venezuela. A geostatistical analysis with the method of ordinary kriging interpolation is applied. Maps content of clay and sand were used to generate a map of the soils textural class (USDA). For this, the classification algorithm soil texture of GIS SAGA-GIS was used. To determine the degree of precision 14 additional field checks they

were conducted, and a quantitative evaluation was performed using confusion matrices, through statistical Kappa and the overall accuracy of the model. The digital map of soil texture classes indicated that the study area is predominantly loam texture soil, and in some areas, there are clay loam, sandy loam clay and sandy loam. The variation is greater in direction SO- NE, with evidence of dominance of finer particle size fractions in areas close to the courses of drainage and the lowest parts of the terrain. The validation of the model for predicting soil textural classes gave a value of overall accuracy of 79 % and 71 % Kappa index, indicating a high degree of correspondence between classes evaluated and reality in the surface layer of the soil.

**Keywords:** Clay, Sand, Texture, Kriging, Digital Cartography

---

## INTRODUCCIÓN

La textura del suelo es una de las propiedades físicas más importantes de un suelo, que afecta en gran medida su uso y manejo. Esta propiedad afecta a la cantidad de agua y nutrientes que un suelo puede almacenar para el abastecimiento de los cultivos. Es decir, ejerce gran influencia en otras propiedades físicas del suelo como la estructura, y el movimiento de aire y agua a través del suelo.

La representación cartográfica de la textura del suelo facilita la toma de decisiones al momento de establecer parcelas experimentales y ensayos con fines de investigación. Convencionalmente, la distribución de las clases de textura se realiza a través de sus componentes individuales (arcilla, limo y arena), lo cual requiere una alta densidad de puntos de muestreo para evitar altos grados de incertidumbre, aparte de que el proceso consume mucho tiempo. Con el tiempo se han implementado otras técnicas cartográficas, que permiten obtener información básica y confiable. Dentro de estas técnicas, los métodos geoestadísticos juegan un papel preponderante para la predicción espacial de las propiedades del suelo, donde destaca el método de interpolación denominado kriging ordinario. Sin embargo, la representación individual de las variables que constituyen la textura del suelo no cubre el interés y la necesidad de visualizar el comportamiento de manera conjunta, en un modelo de variación espacial de clases de suelo.

La cartografía digital de suelos (CDS) permite integrar diversos modelos de variación espacial de propiedades individuales del suelo, para obtener clases de suelo, con la finalidad de apoyar la toma de decisiones sobre la definición de áreas específicas para el establecimiento de parcelas experimentales, como base para el impulso de la agricultura de precisión (McBratney *et al.*, 2003; USDA, 2017; Amirian *et al.* 2019; Suleymanov *et al.*, 2021). En este sentido, la CDS también se ha aplicado en un intento de dividir el continuo suelo en clases texturales (Pineda *et al.*, 2015), que exhiban una mayor homogeneidad de la combinación de la proporción relativa de arena, limo y arcilla. Además, la textura del suelo es una de las propiedades más

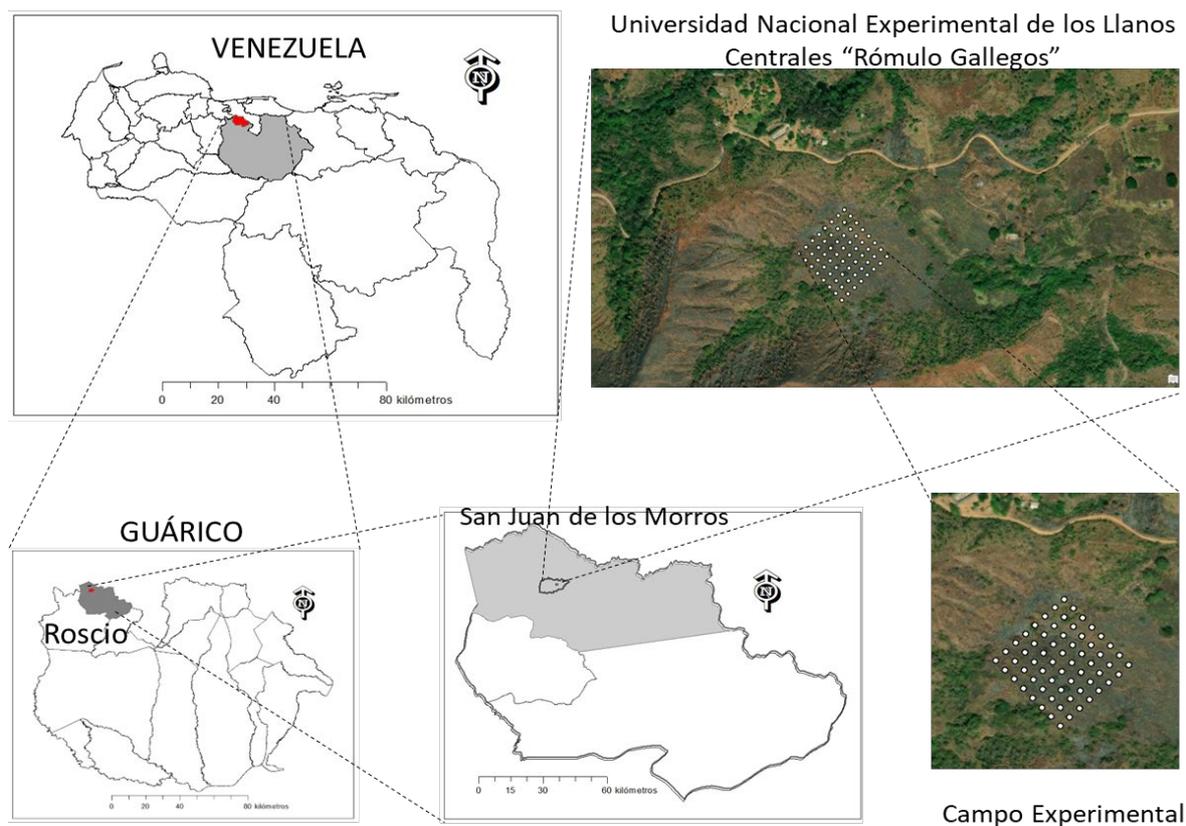
importantes que regula la retención de agua, la disponibilidad de nutrientes, y el desarrollo y penetración de raíces (Riza *et al.*, 2021).

Con la finalidad de realizar un ensayo de cartografía digital y evaluar el comportamiento espacial de las clases de textura de los suelos, se seleccionó un sitio ubicado en el Centro de Producción de Rumiantes ubicado en la Universidad Rómulo Gallegos (CPR-UNERG), en el Sector El Castrero de San Juan de los Morros, estado Guárico, Venezuela. El propósito fundamental de esta investigación fue la generación de la cartografía digital de clases de textura edáfica, como base de la información básica requerida para el desarrollo de ensayos y pruebas experimentales que permitan una mejor interpretación de los resultados de los diferentes tratamientos y ensayos productivos a desarrollar en el sector estudiado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

La zona de estudio donde se llevó a cabo el ensayo de cartografía digital de suelo se encuentra ubicada en terrenos del Centro de Producción con Rumiantes (CPR) de la UNERG, ubicada en el Sector El Castrero de San Juan de los Morros, Municipio Juan Germán Roscio del estado Guárico, Venezuela (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación relativa del Campo Experimental CPR UNERG, municipio Roscio estado Guárico, Venezuela.

Los suelos en esta área fueron formados de materiales geológicos derivados de la

Formación Santa Isabel, presentan escaso desarrollo pedogenético (Gran Grupo Haplustepts) y son de moderada fertilidad. La unidad de estudio se encuentra enmarcada dentro de un valle coluvial dominado por colinas y montañas. La vegetación predominante corresponde a pasto yaraguá (*Hyparrhenia rufa*), mastranto (*Mentha suaveolens*) y en menor proporción, algunas especies arbóreas dispersas de chaparro (*Curatella americana*) y samán (*Pithecellobium saman*).

### Diseño de muestreo

Para la evaluación de la variabilidad de los suelos se realizó un muestreo sistemático en cuadrículas espaciadas cada 20 m, en los horizontes superficiales, para un total de 64 muestras de suelos en una superficie de 2 ha (Figura 2), y cada punto de muestreo fue georreferenciado con apoyo de un sistema de posicionamiento global (GPS).



**Figura 2.** Distribución de los sitios de muestreo en campo. Los puntos circulares corresponden al muestreo sistemático y los puntos romboides se refieren a puntos de validación.

A las muestras superficiales se les realizó un diagnóstico con fines de fertilidad, utilizando las metodologías del Laboratorio de análisis de suelos del Centro de Investigación en Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales “Rómulo Gallegos” (CIESA-UNERG), y se determinaron los porcentajes de arcilla (% A), limo (% L) y arena (% a), para la definición de la clase de textura en la capa superficial del suelo.

Posteriormente para la validación del mapa de clases de textura del suelo se aplicó un muestreo aleatorio y se determinó *in situ* la textura del suelo en 14 sitios de

evaluación.

### **Análisis estadístico**

Los datos del contenido de arcilla y arena se sometieron a un análisis exploratorio (AED) con apoyo del programa SPSS (2020), con el propósito de calcular los estadísticos descriptivos media, mediana, varianza, coeficiente de variación, valores máximos y mínimos, y los índices de asimetría y curtosis. Se utilizó la metodología de cercas externas e internas de Tukey (1977), con el fin de detectar la presencia de valores atípicos. Adicionalmente se realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov.

### **Análisis geoestadístico**

Para la interpolación de las variables componentes de la textura del suelo se utilizó el método de interpolación conocido como krigeaje, krigeado o *kriging*. Este método geoestadístico utiliza un modelo de semivariograma para la obtención de los pesos que se asignan a cada punto de referencia empleado en la estimación del valor de las variables regionalizadas, las cuales presentan dependencia espacial.

El semivariograma es definido por la función de la semivarianza [ $\gamma(h)$ ], la cual se estima con la siguiente expresión (Ovalles, 1992):

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

donde  $N$  es el número de pares de puntos separados por una determinada distancia  $h$ ;  $z(x_i)$  es el valor de la variable en una localidad  $x$ ;  $z(x_{i+h})$  es el valor que toma la variable en otra localidad ubicada a una distancia  $h$  de  $x$  (Ovalles y Núñez, 1994; Ovalles y Rey, 1994). El semivariograma contiene la información referente a la variable regionalizada, cuyos parámetros son: la varianza *nugget* ( $C_0$ ), la varianza estructural ( $C_1$ ), el umbral ( $C_0+C_1$ ) y el alcance ( $A_1$ ), que indica la distancia dentro de la cual existe dependencia espacial (Burrough, 1986; Grunwald *et al.*, 2007).

Para la estimación de los semivariogramas empíricos del contenido de arcilla y arena, y su posterior ajuste a modelos matemáticos se empleó el programa Vesper (Minasny *et al.*, 2002). Con los parámetros ajustados se obtuvieron los estimados óptimos de las variables (arena y arcilla) en sitios no muestreados, a través de la interpolación con el método *kriging* ordinario (Webster y Oliver, 1990).

### **Generación del mapa de clases texturales**

Los mapas de interpolación de las diferentes variables consideradas, producidos por *kriging* fueron exportados al software *System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA) (Conrad *et al.*, 2015), con el cual se generó un mapa de predicción de clases

texturales. El mapa final se obtuvo por medio de la aplicación del algoritmo de clasificación de textura del suelo del módulo de análisis de suelos, desarrollado por Massei (2007), basado en el esquema de clases texturales del suelo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1987).

### **Validación del mapa de clases texturales**

Para la validación del modelo se realizó una evaluación cuantitativa basada en una matriz de confusión o error, a través del estadístico Kappa (k) (Cohen, 1968; Hudson y Ramn, 1987) y la exactitud global (EG) (Chuvieco, 2008). El índice de concordancia k se utiliza como un método para evaluar clasificaciones multi-categorías, permitiendo determinar hasta qué punto la concordancia observada es superior a la que se espera obtener por puro azar, y se define de la siguiente manera:

$$k = (\sum fo - \sum fe) / (n - \sum fe) \quad (2)$$

donde  $\sum fo$  es la suma de las frecuencias observadas en la diagonal principal de una tabulación cruzada,  $\sum fe$  es la suma de las frecuencias esperadas en esa diagonal, y n es el número total de clases. En caso de un grado de concordancia perfecta el valor de  $k=1$ , si la concordancia observada es igual a la esperada  $k=0$  y en el caso de que el acuerdo observado sea inferior al esperado, el índice  $k<0$ .

La EG se obtuvo de la sumatoria de las frecuencias observadas en la diagonal principal de la matriz de error, basada en el número de clases bien asignadas frente al total de clases (n), de la siguiente manera:

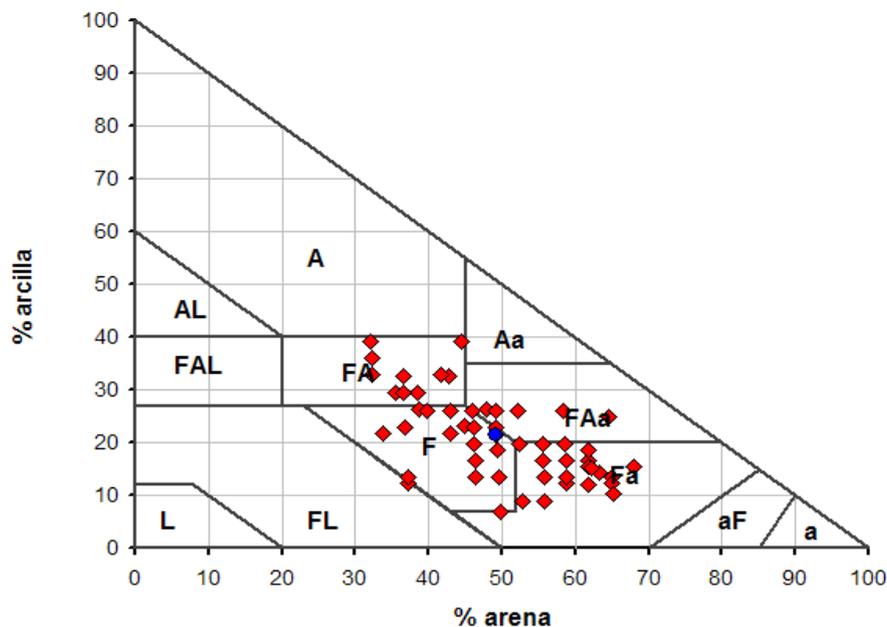
$$EG = \sum fo / n \quad (3)$$

Ambos índices se obtuvieron empleando el módulo de validación de mapas del programa SoLIM Solutions (*Soil Land Inference Model*) (Zhu y Burt, 2015).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis estadístico**

Los estadísticos descriptivos indicaron que las clases modales predominantes son de texturas francas (33,6%) con variaciones desde franco arcillo arenosas (19,5%) y franco arcillosas (22,9%) hasta franco arenosas (24,0%); tal como lo indica la representación gráfica de la Figura 3.



**Figura 3.** Distribución de las clases de textura de los suelos del CPR-UNERG.

La aplicación de la prueba de cercas externas e internas indicó que ninguna de las variables consideradas, presentan valores atípicos. En cuanto a la prueba de normalidad, tanto el porcentaje de arcilla como el de arena, proceden de poblaciones normales, ya que los valores de Z de Kolmogorov-Smirnov son altamente significativos ( $p > 0,05$ ), tal como se señala en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Resultados de la aplicación de la prueba de normalidad

Parámetro	Arcilla (%)	Arena (%)
Media	21,4	49,08
Desviación típica	7,8	9,8
Z de Kolmogorov-Smirnov	0,89	0,68
Sig. asintót. (bilateral)	0,40	0,74

### Interpolación y Generación del modelo digital de textura del suelo

La estimación de los semivariogramas empíricos del contenido de arcilla y arena superficial, fueron ajustados a modelos matemáticos esféricos (Figuras 4 y 5). Se asumió la condición de isotropía, debido a que el número de datos es menor de 100 (Moral, 2004). Los parámetros geoestadísticos derivados del ajuste de los semivariogramas a los modelos teóricos, se expresan en el Cuadro 2.

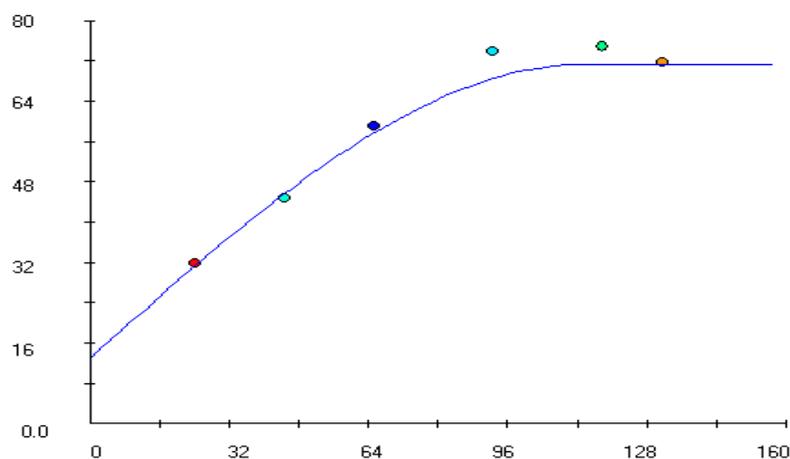


Figura 4. Semivariograma de la variable contenido de arcilla (A).

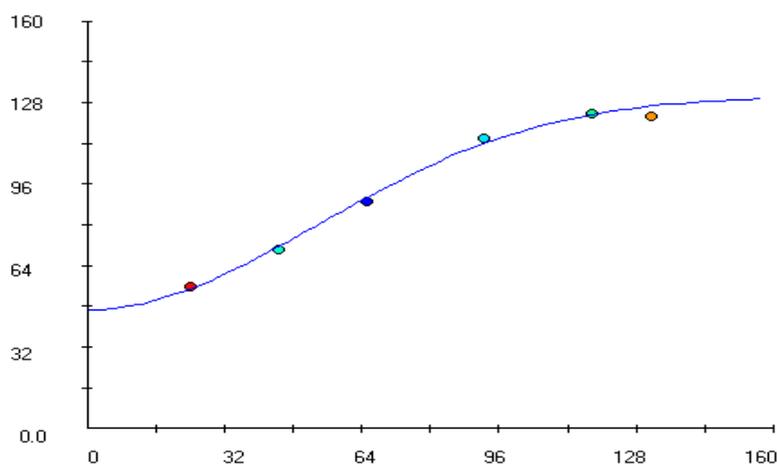


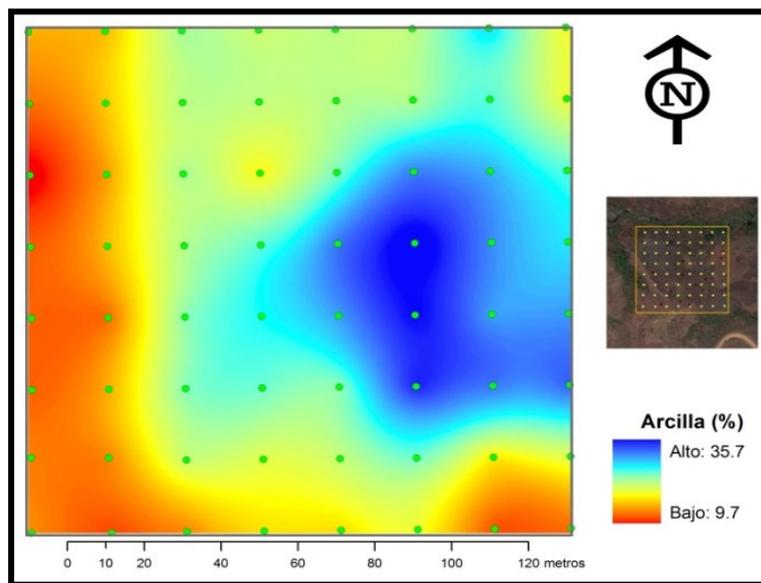
Figura 5. Semivariograma de la variable contenido de arena (a).

Cuadro 2. Parámetros geoestadísticos de los semivariogramas compuestos, con la aplicación del Programa VESPER.

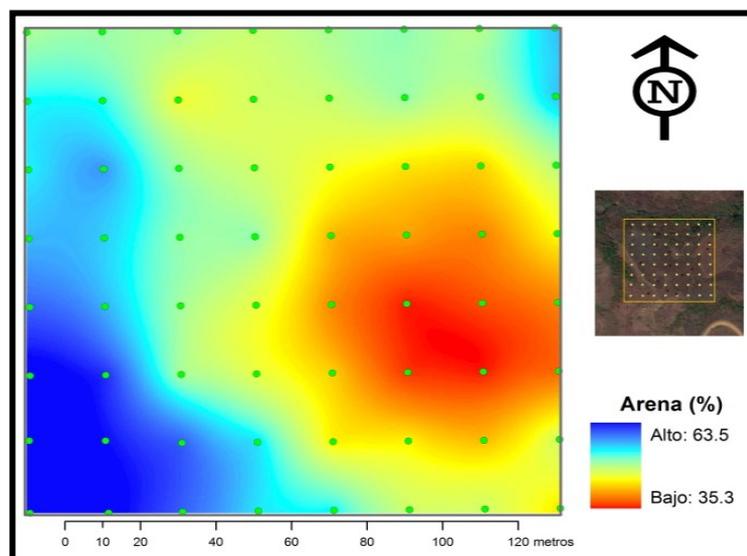
Parámetro <sup>1</sup>	Variable	
	% Arcilla	% Arena
C <sub>0</sub>	13,0	45,8
C <sub>1</sub>	58,3	84,7
C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub>	71,3	130,5
A	113,7	75,5
RMSE	2,8	2,0
AIC	2,8	25,2
NR (%)	18,2	35,1

<sup>1</sup> C<sub>0</sub>: Varianza nugget, C<sub>1</sub>: Varianza estructural, C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub>: Umbral, A: Alcance, AIC: Criterio de información de Akaike, RMSE: Raíz del error cuadrático medio, NR: *Nugget* relativo ((C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)\*100).

Los semivariogramas de ambos atributos presentan un carácter transitivo, donde la semivarianza aumentó con los incrementos de la distancia hasta llegar a un máximo en la cual se estabiliza indicando, por tanto, la presencia de dependencia espacial. La variable % arcilla presentó una fuerte dependencia espacial y la variable % arena presentó una moderada dependencia espacial (Cambardella *et al.*, 1994). El alcance o rango de dependencia espacial fluctuó entre 76 y 114 m, con un promedio de 95 m. Una vez ajustados los dos modelos, se procedió a estimar las variables en los sitios no muestreados por medio de la interpolación *kriging* ordinario, obteniéndose los modelos de variación espacial representados en las Figuras 6 y 7.



**Figura 6.** Distribución del contenido de arcilla en los suelos.



**Figura 7.** Distribución del contenido de arena en los suelos.

La combinación de los modelos de distribución espacial del % arcilla y % arena con el algoritmo de clasificación de la textura del suelo del módulo de análisis de suelos originó el mapa final de variación de dichas clases (Figura 8).

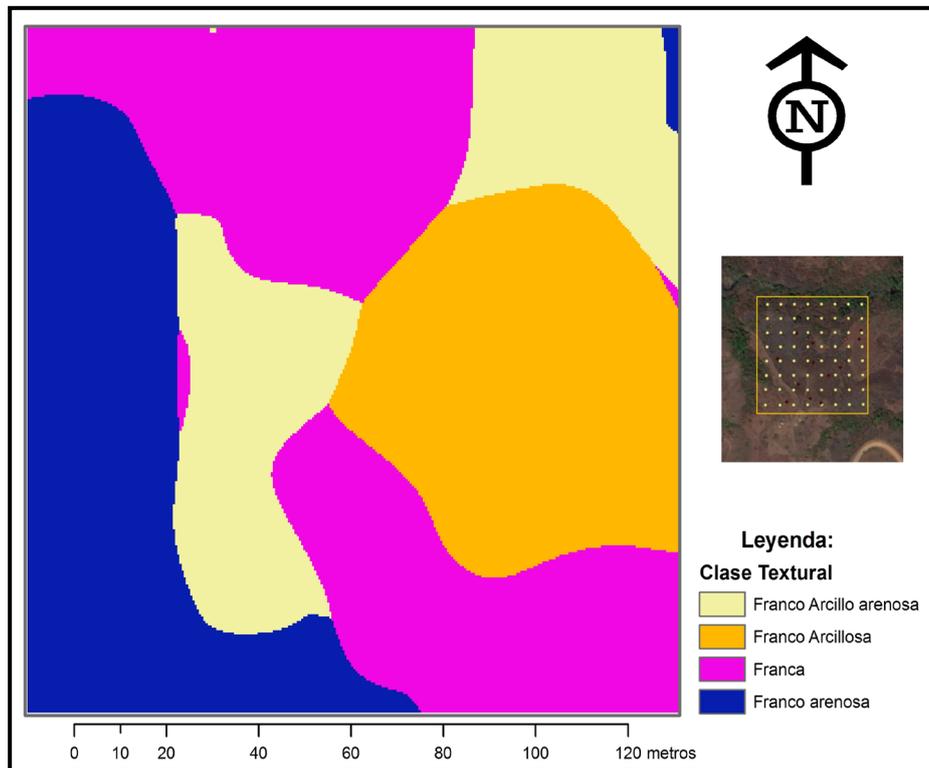


Figura 8. Modelo digital de distribución de clases de textura de los suelos en el CRP-UNERG.

Los patrones de variación están relacionados con la dirección de mayor variabilidad, lo cual coincide con el sentido de la pendiente (SO-NE) (Valera et al., 2008), y se corrobora la dominancia de los tipos de suelo francos, sobre las clases de textura franco arcillosas, franco arcillo arenosas y franco arenosas. En la distribución de las clases de textura se cumple con el proceso de distribución granulométrica, donde las fracciones más gruesas permanecen en las partes más elevadas del terreno, y las fracciones más finas son arrastradas hacia las partes más bajas.

### Evaluación del modelo digital

Los resultados de la evaluación de las clases de textura del suelo indicaron que la mayoría presenta una exactitud equivalente al 79%, donde las clases de referencia han sido bien clasificadas. La excepción la presenta la clase de textura franca (F) en

la que algunos suelos no resultaron clasificados en dicha categoría (falsos negativos), por lo que se confunden con otras clases (Fa).

**Cuadro 3.** Matriz de error de la evaluación de las clases de textura del suelo.

Estimado	Observado				Total	EU
	Fa	F	FAa	FA		
Fa	3	1	1	0	5	0.60
F	0	2	0	0	2	1
FAa	0	0	3	0	3	1
FA	1	0	0	3	4	0.75
Total	4	3	4	3	11	
EP	0.75	0.67	0.75	1.00		

Exactitud Global: 0.79; Kappa: 0.71.

EP: Exactitud del Productor, EU: Exactitud del Usuario

De igual manera, la exactitud del usuario referida al porcentaje de cada clase textural que ha sido correctamente clasificada, es indicativa de los elementos clasificados erróneamente (error de comisión). El caso más resaltante lo presenta la clase Fa, donde algunos suelos resultaron clasificados en una clase y en realidad pertenecen a otra (falsos positivos).

El otro estadístico derivado de la información integral de la matriz de error, y que corrobora el grado de acuerdos entre las clases de los modelos considerados es el coeficiente *kappa*, cuyo resultado fue de 0,71. Este índice indica que el modelo de clases digitales presenta una fuerza de concordancia sustancial con respecto a la realidad de las clases de textura existentes. Esto significa que la matriz empleada es 71% mejor que el que podría resultar de aplicar otro clasificador que asigne las clases de textura al azar.

## CONCLUSIONES

La textura de suelo predominante en el sector estudiado es la clase franca, presentándose variaciones desde tipos de suelo franco arcillosos a franco arenosos. Esta variación se presenta en sentido Suroeste-Noreste, las cuales se corresponden localmente con la distribución esperada, de acuerdo a la localización de los cursos de drenaje y las áreas más bajas del terreno.

La evaluación del mapa digital mediante la matriz de confusión indicó que la predicción de clases texturales se corresponde con lo esperado en el sector estudiado, ya que el modelo superó el 75% de exactitud.

Los resultados de la aplicación del ensayo de cartografía digital proporcionan una alternativa que puede contribuir a mejorar la toma de decisiones para la ubicación de

parcelas experimentales y realizar investigaciones locales de gran importancia, al proporcionar predicciones de las clases de textura del suelo de adecuada exactitud, que captura la variabilidad de los constituyentes granulométricos en el sector estudiado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación fue apoyada por el Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales “Rómulo Gallegos” (CIESA-UNERG).

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Burrough, P. 1986. Principles of geographical information systems land resources assessment. Clarendon Press Oxford. 193p.
- Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Novak J.M; Parkin, T.B.; Karlen, D.L.; Turco, R.F. y Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. *Soils. Soil Science Society of American Journal*, 58(5):1501-1511.
- Chuvieco, E. 2008. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. 3ª. Edición actualizada. Editorial Ariel, S. A. España. 595 p.
- Cohen, J. 1968. Weighted kappa: nominal scales agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin* 70: 213-220.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., y Boehner, J. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.*, 8: 1991-2007.
- Grunwald, S.; Rivero, R.L. y Ramesh, K. 2007. Understanding spatial variability and its application to biogeochemistry analysis. In: D. Sarkar, R. Datta y R. Hannigan (Ed.). *Developments in Environmental Science*, 5:443-463.
- Hudson, W.D. y Ramm, C.W. 1987. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53: 421-422.
- Massei, G. 2007. System for an Automated Geo-Scientific Analysis/Module Library/grid\_analysis/Soil\_Texture.cpp/
- Minasny, B., Mcbratney, A.B. y M. Whelan, M. 2002. VESPER. Version 1.6. Australian Centre for Precision Agriculture. McMillan Building. The University of Sidney, Australia.
- McBratney A.B., M.L Mendonça Santos b, B Minasny. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* Vol. 117 (1–2): 3-52. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)

- Moral, F.J. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. Ecosistemas. 13:1. Disponible en: [www.aeet.org/ecosistemas/041/documentos/Revision3.htm](http://www.aeet.org/ecosistemas/041/documentos/Revision3.htm).
- Ovalles, F. y Núñez, M. 1994. Métodos estadísticos para evaluar la variabilidad de suelos dentro de unidades de capacidad de uso en la Depresión del Lago de Valencia. Agron. Trop. 44(1):23-40.
- Ovalles, F. y Rey, J. 1994. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del lago de Valencia. Agron. Trop. 44(1): 41-65
- Ovalles, F. 1992. Metodología para determinar la superficie representada por muestras tomadas con fines de fertilidad. FONAIAP-CENIAP-IIAG. Maracay. Serie B. 44p.
- Pineda, M.C., Valera, A., Vilorio, J., Caballero, R., Lozano, Z., Lobo, D. y Timm, L.C. 2015. Mapa digital de clases texturales de suelo en un área bajo agricultura intensiva. 1er. Congreso Nacional de Geomática. Caracas, Venezuela. 5p.
- SPSS. 2020. Statistical Package for the Social Sciences. Statistics 20.0 for Windows Student Version.
- Tukey, J. 1977. Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley Pub. Reading, EUA.
- Upchurch, D. y W.J. Edmonds. 1991. Statistical procedures for specific objectives. In: Spatial variabilities of soils and landforms. SSSA Special publication No. 28. 2ª Ed. SSSA. Madison. EUA. pp: 49-71.
- USDA. 1987. Soil Mechanics Level I. Module 3. USDA Textural Soil Classification. Study Guide. Soil Conservation Service. 53p.
- USDA. 2017. Soil Survey Manual. In: Digital Soil Mapping. Chapter 5. S. Kienast-Brown, Z. Libohova, and J. Boettinger. Soil Science Division Staff. United States Department of Agriculture. Handbook No. 18. pp.329-388.
- Valera. A., Álvarez, W. y García, T. 2008. Evaluación de suelos del Centro de Producción con Rumiantes de la UNERG mediante la aplicación de métodos geoestadísticos. Rev. Ingeniería UC. 15(2):61-71.
- Webster, R. y Oliver, M. A. 1990. Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey. Oxford University Press. Oxford, RU. 316p.
- Zhu, A.X. y Burt, J.E. 2015. Digital Soil Mapping Software: Solim Solutions 2015. Reference Manual. Institute of Geographic Sciences, Natural Resources Research-Chinese Academy of Sciences-The University of Wisconsin-Madison. Disponible en: <http://solim.geography.wisc.edu/software/index.htm>.
- Riza, Sativandi, Masahiko Sekine, Ariyo Kanno, Koichi Yamamoto, Tsuyoshi Imai, Takaya Higuchi. 2021. Modeling soil landscapes and soil textures using hyperscale terrain attributes. Geoderma 402(15):115-177.

Amirian, Alireza, B. Minasny, R. Taghizadeh, R. Akbarifazli, Z. Darvishpasand, S. Khordehbin. 2019. Some practical aspects of predicting texture data in digital soil mapping. *Soil and Tillage Research*, 194: 104289. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.06.006>

Suleymanov A, Abakumov E, Suleymanov R, Gabbasova I, Komissarov M. 2021. The Soil Nutrient Digital Mapping for Precision Agriculture Cases in the Trans-Ural Steppe Zone of Russia Using Topographic Attributes. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10(4):243. <https://doi.org/10.3390/ijgi10040243>