

**EVALUACIÓN ESPACIAL DE PROPIEDADES DEL SUELO PARA EL CULTIVO DE
ARROZ UTILIZANDO MODELACIÓN DE KRIGING**

Estudiantes:

Lucas Fernando Prado Tovar

No. de Estudiante: 502-24-3680

Heydi Suyapa Gutierrez

No. de Estudiante: 502-24-8268

Catedrático:

Ph.D. Fernando Gilbes

GEOL6991-Problemas Especiales En Geología Aplicada

Universidad de Puerto Rico

Recinto Universitario Mayagüez

13 de diciembre de 2024

INTRODUCCIÓN

La agricultura enfrenta desafíos significativos debido a la variabilidad espacial de las propiedades del suelo, lo que impacta directamente en la productividad y sostenibilidad de los cultivos. En el caso del arroz, un cultivo que depende en gran medida de condiciones específicas del suelo, comprender estas variaciones es esencial para optimizar el manejo agronómico y maximizar los rendimientos.

Basándonos en esto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) nos permiten facilitar la gestión y análisis de la variabilidad del suelo, permitiendo a los agricultores identificar las propiedades adecuadas para maximizar la productividad de cultivos como el arroz. El uso de SIG posibilita la creación de mapas digitales formados por diversas capas (Pérez et al., 2022), como son: el tipo de suelo y sus componentes; Textura, Densidad aparente, Conductividad Eléctrica, pH y Capacidad de Intercambio Catiónico. Estas capas brindan una visión integral de las propiedades del terreno y su potencial productivo.

Para abordar este desafío, se emplea el método de interpolación de la regresión de kriging. Este modelo se ha convertido en una herramienta importante de la geoestadística, debido a la amplia disponibilidad de covariables de alta resolución espacial gracias a los avances de la teledetección próxima y remota con tecnologías de posicionamiento satelital (Sun et al., 2011), esta es una herramienta eficaz para analizar y modelar la distribución espacial de variables edáficas, permitiendo generar mapas predictivos precisos que facilitan la toma de decisiones en campo.

A través de la implementación del modelo de Kriging, se pretende identificar patrones espaciales relevantes y proponer estrategias de manejo basadas en datos. Este enfoque no solo mejora la comprensión de las dinámicas del suelo, sino que también promueve prácticas agrícolas más sostenibles y rentables. Para el presente caso de estudio, el objetivo es determinar la variabilidad espacial de un lote aplicando modelación de Kriging y a su vez, determinar si este lote, a partir de las propiedades medidas anteriormente, es apoyo para el cultivo de arroz.

METODOLOGÍA

Para realizar los mapas predictivos de este estudio, se utilizó información previamente recolectada de una parcela destinada al cultivo de arroz. Esta parcela está ubicada en la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana, en el municipio de Palermo, Huila, Colombia (coordenadas 2.888707, -75.307182), a una altitud aproximada de 450 msnm. La región se caracteriza por un clima cálido y forma parte del Distrito de Riego de la Laguna El Juncal - ASOJUNCAL, en el Delta del Río Magdalena.

Se evaluaron parámetros clave que influyen en la aptitud del suelo para el cultivo de arroz, específicamente: textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), densidad aparente (DA) y pH. Cada uno de estos factores juega un papel importante en la productividad y sostenibilidad del cultivo, por lo que a continuación se describen sus características, junto con los rangos ideales que debe presentar el suelo para garantizar condiciones óptimas para la producción de arroz.

La textura del suelo describe la proporción de arena, limo y arcilla, influyendo en propiedades clave como la retención de agua, el drenaje y la disponibilidad de nutrientes. Para el cultivo de arroz, las texturas recomendadas son arcillosas, franco-arcillosas o limosas, ya que estos tipos de suelos retienen eficientemente el agua necesaria para el desarrollo del cultivo (Owen, 1979).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una propiedad fundamental del suelo, ya que regula la retención y liberación de cationes esenciales, influyendo directamente en la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo y rendimiento del cultivo.. La CIC está estrechamente relacionada con la textura del suelo, y su clasificación se basa en los siguientes rangos:

Textura	CIC
Arena (color claro)	3 - 5 meq/100 g
Arena (color oscuro)	10 - 20 meq/100 g
Suelo franco	10 - 15 meq/100 g
Suelo franco limoso	15 - 25 meq/100 g
Arcilla y franco arcilloso	20 - 50 meq/100 g
Suelos orgánicos	50 - 100 meq/100 g

Estos valores reflejan la capacidad de diferentes tipos de suelos para suministrar nutrientes al cultivo, una CIC más alta tiene una mayor aptitud para el cultivo de arroz en condiciones óptimas. (Corcuera, 2016).

La conductividad eléctrica evalúa la salinidad del suelo, lo cual es un factor determinante en el cultivo de arroz. Niveles altos de salinidad pueden afectar negativamente el crecimiento y rendimiento de este cultivo. Corcuera (2016) indica que; El rango óptimo es < 2 dS/m, donde no hay efectos negativos en el crecimiento. Los valores entre 2-4 dS/m son tolerables. Suelos con $CE > 4$ dS/m afectan el rendimiento debido al estrés osmótico.

El pH del suelo influye directamente en la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana, factores esenciales para el desarrollo del arroz. Según la USDA, 1971. Un rango de pH entre 5.5 y 6.5 es considerado óptimo para maximizar la productividad y garantizar un crecimiento saludable del cultivo (Hirzel, 2021).

La densidad aparente es un parámetro indicador de la compactación del suelo. Esta propiedad afecta diversos factores como: la infiltración, la profundidad de las raíces, porosidad del suelo, la capacidad de agua disponible, la disponibilidad de los nutrientes para la planta. Para el arroz, valores de densidad aparente entre 1.1 y 1.5 g/cm³ son considerados óptimos, ya que permiten un adecuado balance entre retención de agua y aireación, fundamentales para el desarrollo radicular y el crecimiento del cultivo (Corcuera, 2016).

Procedimiento para la elaboración de los modelos de kriging en ArcGIS Pro

1. Proceso de muestreo y análisis estadístico en ArcGIS Pro.

- La construcción de la grilla de muestreo organiza el área en segmentos regulares para facilitar el análisis espacial de los datos. Grilla de 65 X 65 m. Datum: MAGNA SIRGAS



Imagen No 1. Área de estudio

- Generar un histograma y el QQ Plot que muestren si la distribución del parámetro a evaluar sigue una distribución normal para su uso en modelos predictivos.

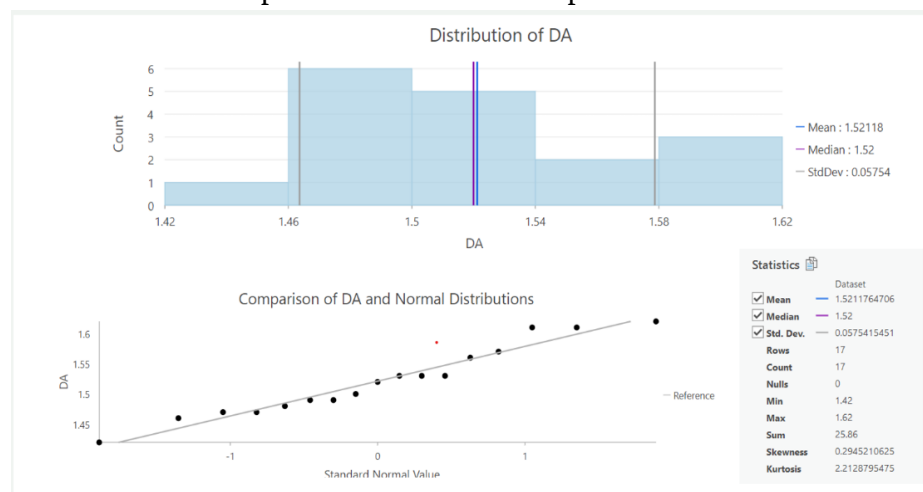


Imagen No 2. Histograma y QQplt

2. Segmentación Aleatoria

Los datos se dividieron en dos conjuntos:

1. Training (80%) para construir el modelo.
2. Test (20%) para evaluar su precisión.

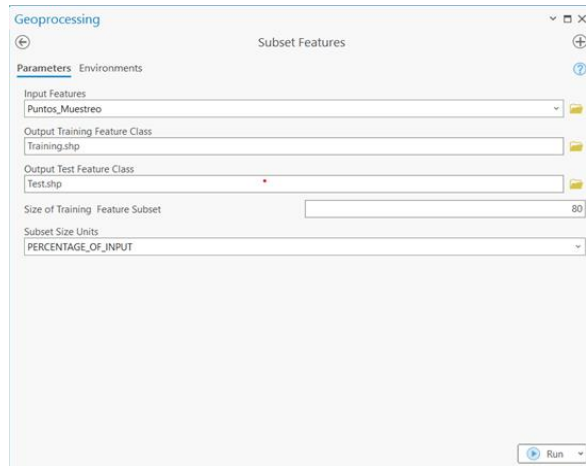


Imagen No 3. Segmentación aleatoria de los datos.

3. Geostatistical Wizard:

Herramienta que facilita la creación de modelos predictivos, Facilita el manejo del semivariograma, el vecino cercano y el tipo de ajuste del modelo.

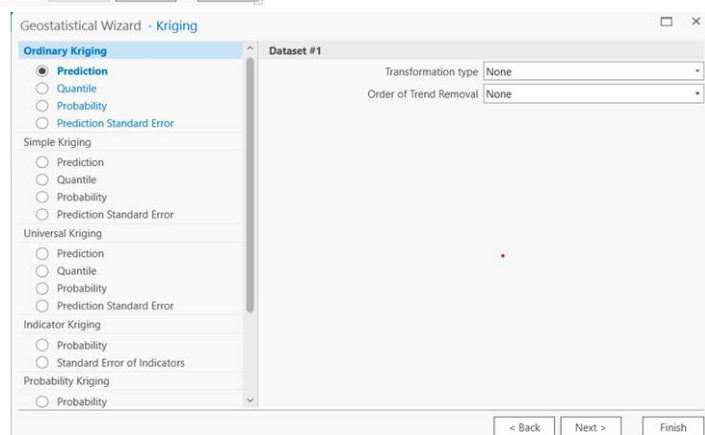
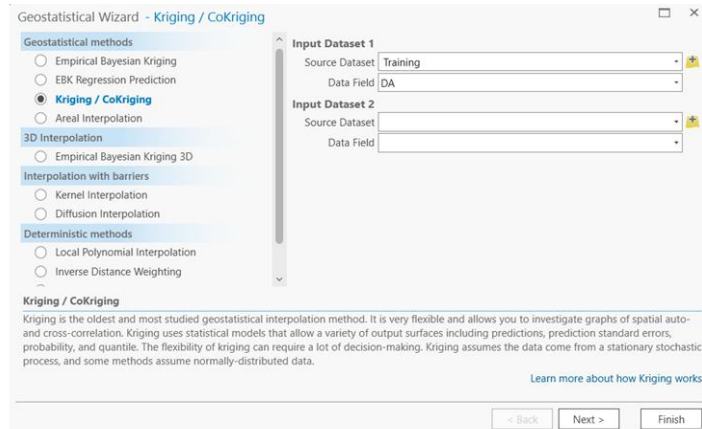


Imagen No 4. Uso de la herramienta Statistical Wizard – método de kriging.

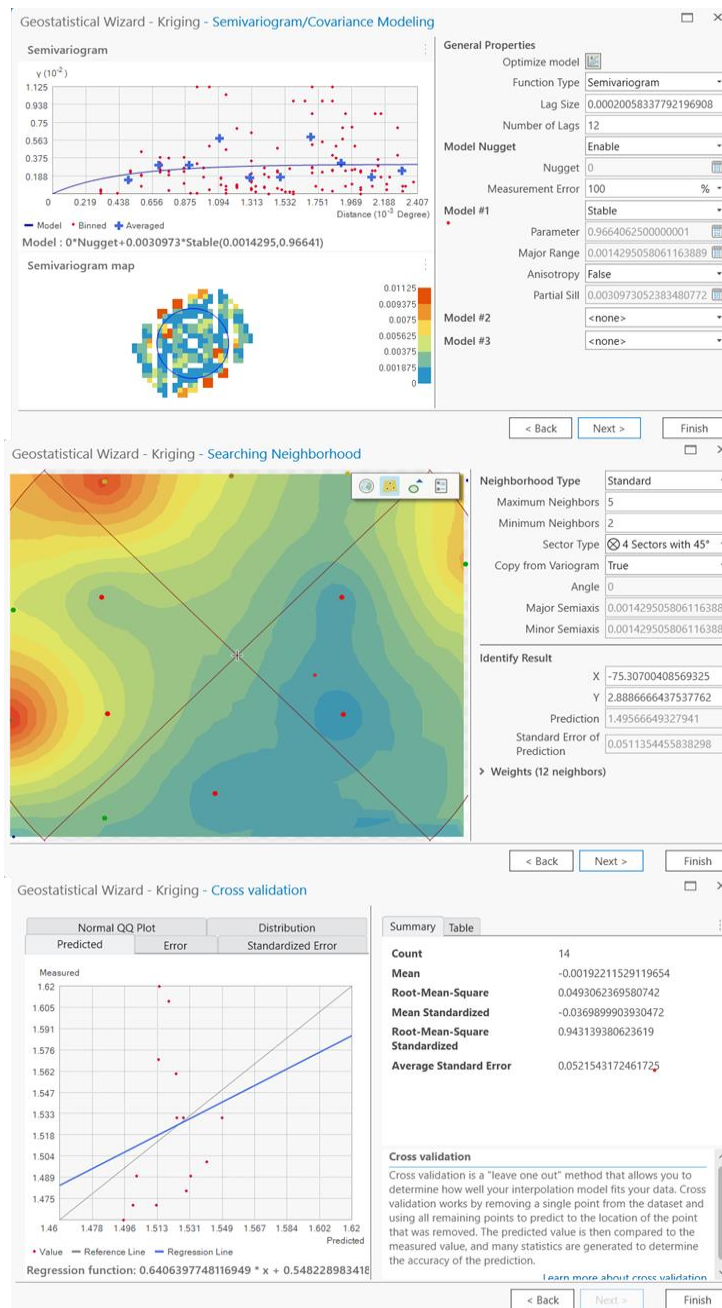


Imagen No 5. Ajuste del semivariograma y vecino cercano del modelo de kriging

4. Validación del proceso

- Garantiza que los resultados sean precisos y confiables antes de la exportación.
- Permite ajustar los parámetros del modelo, asegurando que las interpolaciones basadas en Kriging reflejen adecuadamente la distribución espacial de los datos.

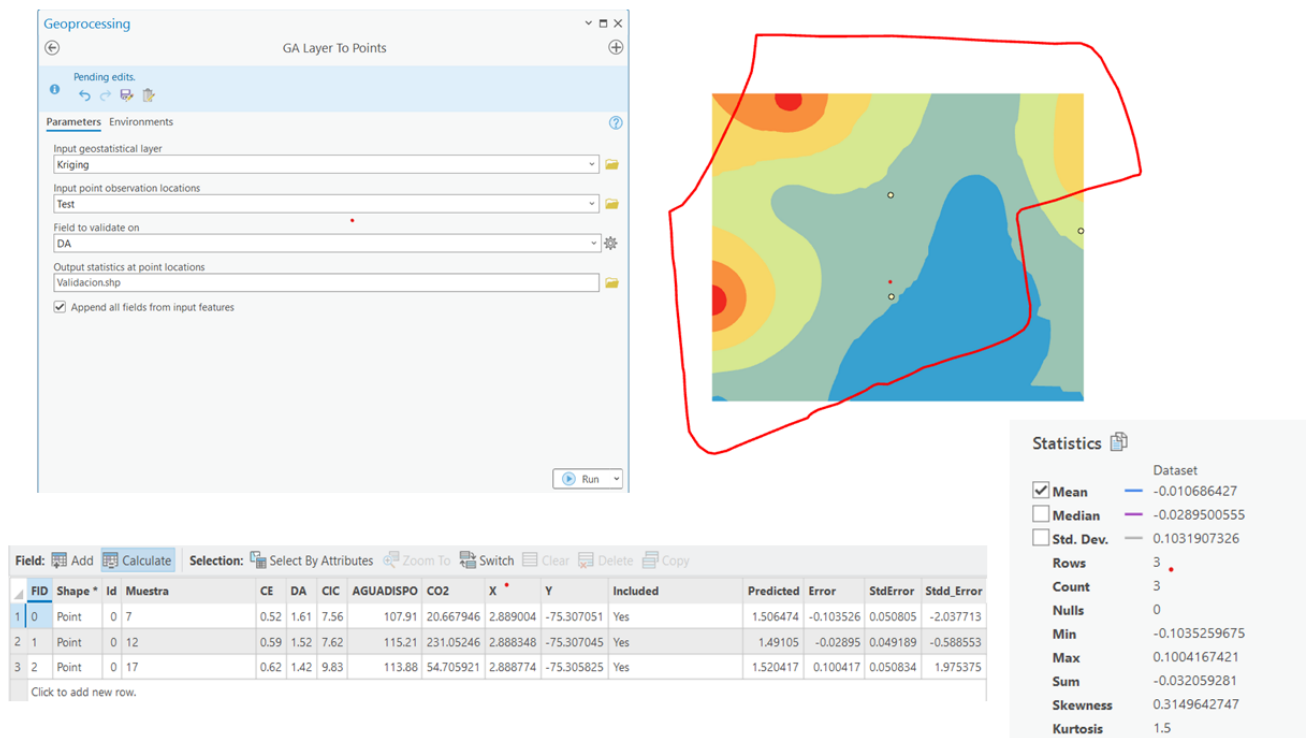


Imagen No 6. Validación de la modelación con la capa de test.

5. Exportación y extensión del raster kriging

Los resultados se exportan a un archivo a raster para el manejo de la simbología y extensión del kriging al área del lote

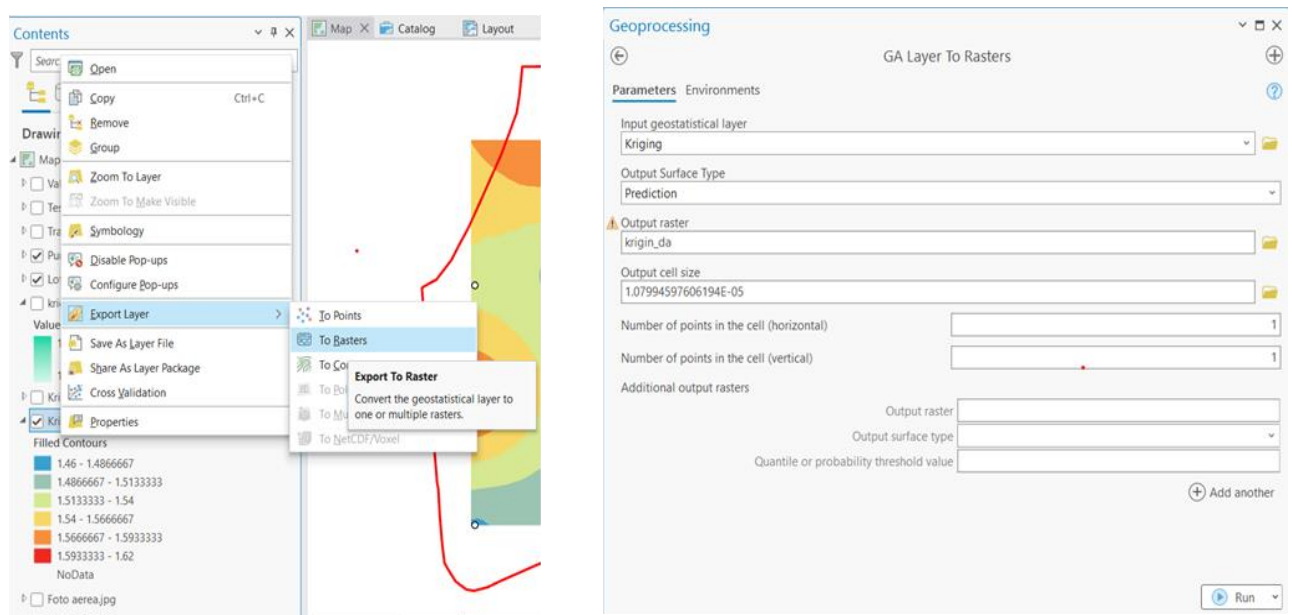


Imagen No 7. Exportación del kriging a capa ráster

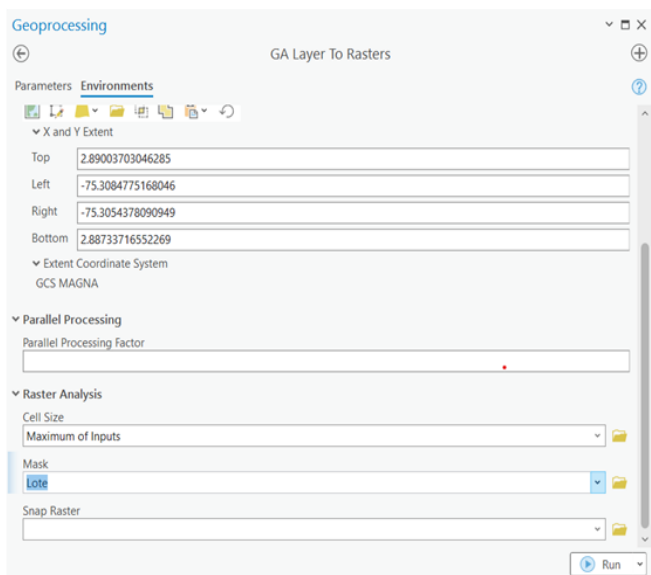
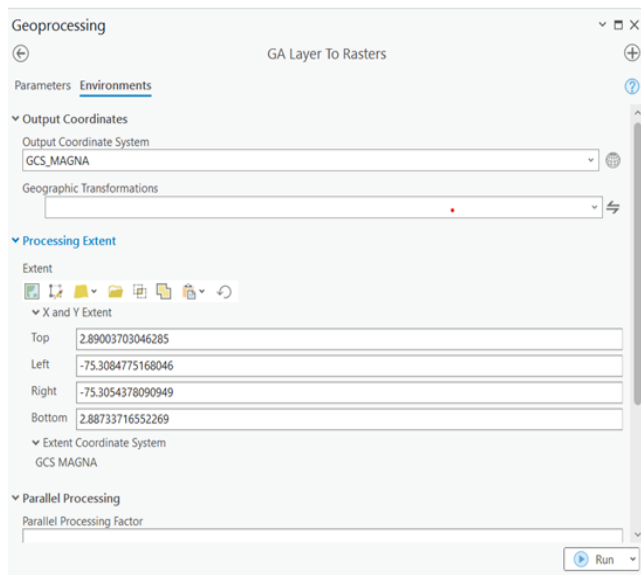
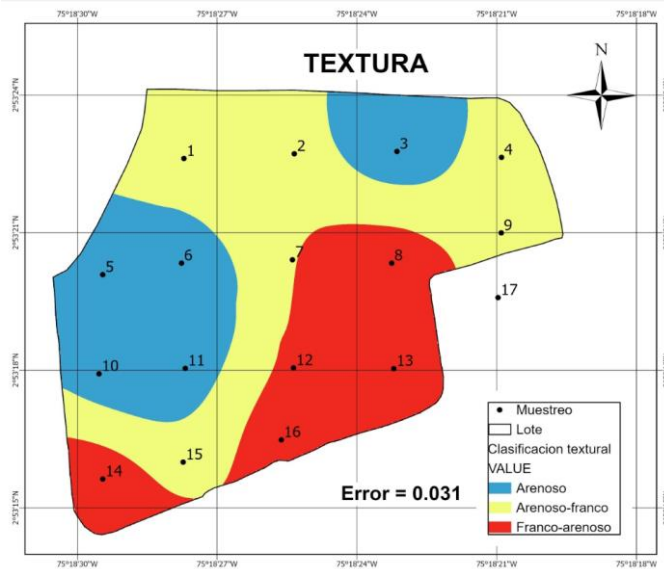


Imagen No 8. Configuración de la extensión y mascara del archivo ráster.

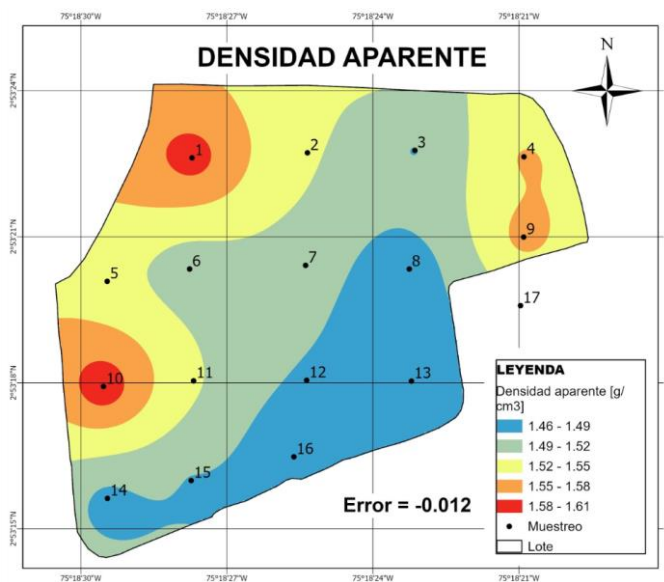
RESULTADOS

Suelo con predominancia arenosa, por lo tanto, se concluye que el suelo de este lote no es el ideal para cultivo de arroz. Además, su clasificación textural corresponde a un suelo aluvial cercano al delta de inundación del Rio Magdalena.



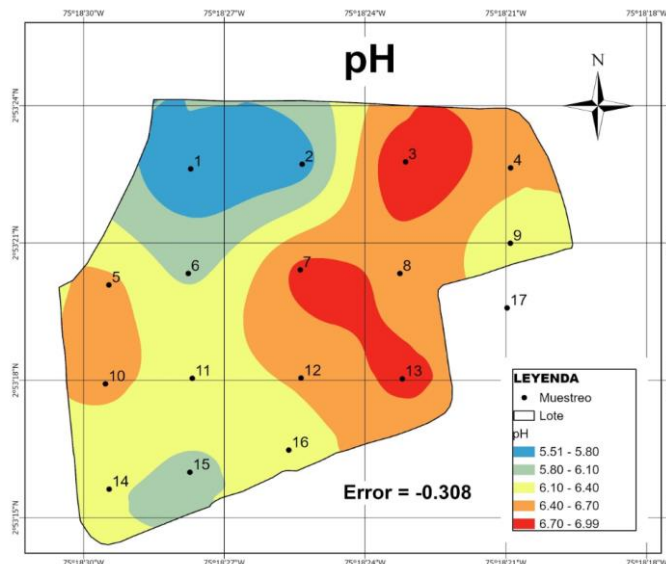
Mapa 1. Distribución Textural del Suelo y su Impacto en la Aptitud para el Cultivo de Arroz

Aproximadamente 2/3 partes del lote cumple con el rango ideal de densidad aparente. El 1/3 restante es una DA correspondiente a suelos franco-arenosos y arenosos, no aptos para cultivo de arroz.



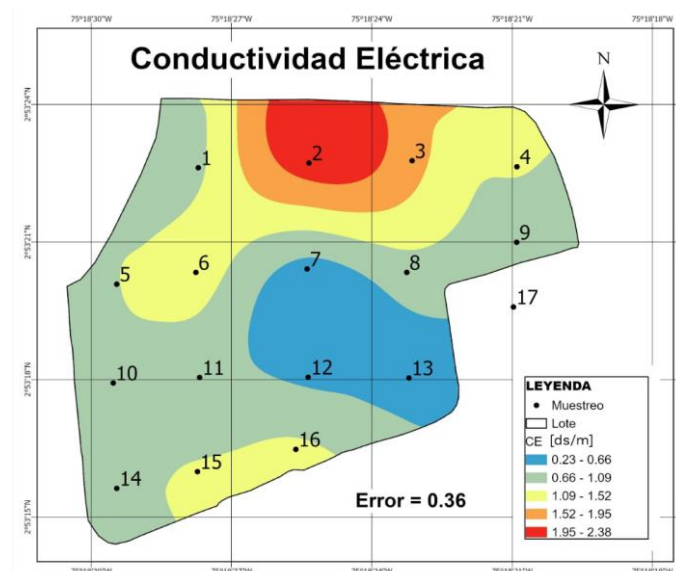
Mapa 2. Distribución Espacial de la Densidad Aparente en el Lote

De acuerdo con los resultados, el pH del suelo es óptimo en su mayoría para el cultivo de arroz, el cual se desea entre 5.5 a 6.5.



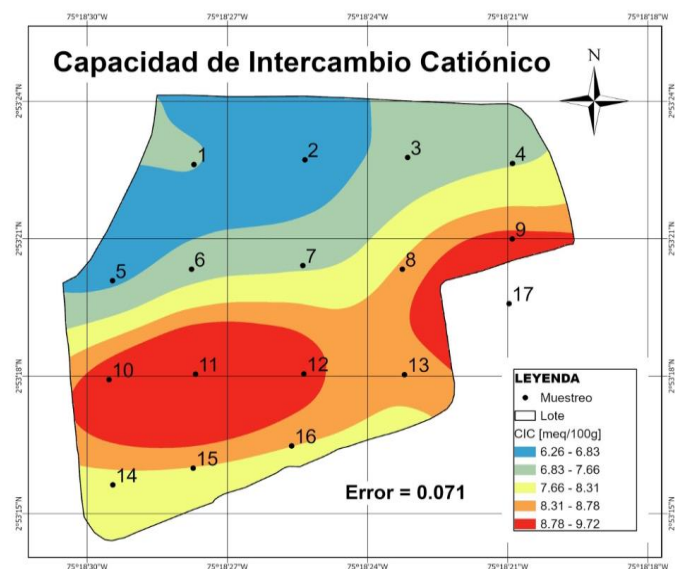
Mapa 3. Distribución Espacial del pH del Suelo en el Lote de Estudio

Podemos concluir que el lote no presenta problemas de salinidad (<2 ds/m), a excepción de un pequeño sector en el norte, el cual se puede corregir con encalamiento.



Mapa 4. Distribución Espacial de la Conductividad Eléctrica en el Lote

El lote posee una CIC correspondiente a la textura que posee. Sin embargo, para ser un suelo destinado a la producción de arroz es deficiente ya que este cultivo prefiere los suelos francos a arcillosos, con mejores índices de CIC y retención de humedad, indispensable para la solución de y difusión de nutrientes.



Mapa 5. Distribución Espacial de la CIC en el Lote para la Evaluación de la Fertilidad

CONCLUSIONES

1. La textura del lote no es la adecuada para el cultivo de arroz, ya que no retiene la humedad suficiente para el cultivo y requiere de tasas y frecuencias de riego superiores a las de un suelo franco o arcilloso. Preferiblemente es apto para cultivo de frutales de clima cálido que requieren buen drenaje.
2. El suelo se encuentra en buenas condiciones de acidez y salinidad.
3. La densidad aparente corresponde a suelos con textura predominante de arenas.
4. Al ser un suelo predominantemente arenoso, con baja retención de nutrientes, requiere mayores dosis de aplicación de fertilizantes.
5. Al requerir mayor riego y fertilizantes, los costos de producción se podrían incrementar considerablemente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Corcuera Molina, C. E. (2016). *Análisis de la fertilidad de los suelos agrícolas destinados al cultivo de arroz en la cuenca baja del río Jequetepeque*. Tesis de Maestría en Química, Pontificia Universidad Católica del Perú. Agosto de 2016.

Hirzel, J. C. (2021). *Capítulo 16: Fertilización del cultivo de arroz*. En 100 años del cultivo de arroz en Chile (pp. 257-280). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile. Recuperado de <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/ca57caba-477f-4dba-8658-cf78c8d78dc4/content>

Sun, W., Minasny, B., & McBratney, A. B. (2012). Analysis and prediction of soil properties using local regression-kriging. *Geoderma*, 171–172, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.02.010>

Pérez Guerra, G. A., Sosa Franco, I., Machado García, N., & Ruiz Pérez, M. E. (2022). SIG, características, relación con las bases de datos espaciales y su uso en la agricultura. *Revista Ciencia Universitaria*, 20(3), 1-12. ISBN: 978-959-16-4723-8.

Owen, E. J. (1979). *Física de los suelos arroceros*. Contribución de la División de Agronomía, Programa de Suelos del ICA. Recuperado de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1490/24494_7400.pdf?sequence=1&isAllowed=y