



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**MAPA TEMÁTICO PARA EVALUAR LA FERTILIDAD DEL
SUELO EN EL CULTIVO DE CACAO EET-95 EN LA FINCA
“SAN RAMÓN”.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO**

LUIS XAVIER DE LA CRUZ PUETATE

DIRECTOR: ING. RICARDO PAÚL GONZÁLEZ DÁVILA, MC.

Santo Domingo, Julio – 2018

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2018
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

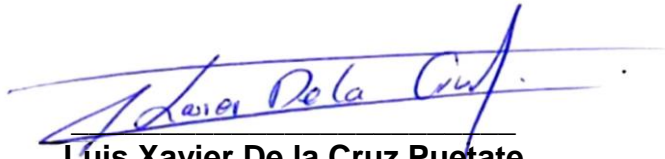
DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	2300115116
APELLIDO Y NOMBRES:	De la Cruz Puetate Luis Xavier
DIRECCIÓN:	Ucom 2
EMAIL:	xavier.lazos1292@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	3761813
TELÉFONO MÓVIL:	0959046455

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Mapa temático para evaluar la fertilidad del suelo en el cultivo de cacao EET-95 en la finca "San Ramón".
AUTOR O AUTORES:	De la Cruz Puetate Luis Xavier
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	27 de Julio, 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	González Dávila Ricardo Paúl
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="radio"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agropecuario
RESUMEN: Mínimo 180 y máximo 250 palabras	El objetivo del presente proyecto técnico fue diseñar un mapa temático para evaluar la fertilidad del suelo en el cultivo de cacao EET-95 en la parroquia La Unión, mediante el contenido de pH, materia orgánica, macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg), micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn) y clase textural. Para su elaboración se recolectaron 40 muestras de suelo a "Tres bolillo" cada 30 m, cubriendo un área de 4 ha. Las muestras se analizaron en el laboratorio de la UTE SD. El diseño del mapa temático se realizó en el programa ArcGIS versión 10.5, el cual es un sistema de software que permite recopilar, organizar, analizar y distribuir información geográfica. Los datos fueron ingresados en una base de datos de Excel, que se exportó al programa ArcGIS, donde mediante un proceso de interpolación geográfico (Kriging) se

	<p>graficaron tres rangos de concentración de los nutrientes asumidos por el autor. Los datos obtenidos mostraron que los nutrientes N y P, se encuentran muy deficientes, Mg y Mn se encuentran al mismo nivel de los requerimientos nutricionales del Cacao Nacional EET-95, K, Ca, Zn, pH (6.18) y MO (5.38%) tienen un nivel adecuado para la producción del cultivo. La clase textural se determinó suelo franco-arenoso y franco. Además, con los mapas temáticos se determinó que los nutrientes están distribuidos de manera heterogénea en el terreno, haciéndose necesario que la fertilización no se realice de manera similar en todo el predio.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>ArcGIS, Mapa temático, Fertilidad del suelo, Interpolación Kriging.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The objective of the present technical project was to design a thematic map to evaluate the soil fertility in the EET-95 cocoa crop in La Union parish, by means of the content of pH, organic matter, macronutrients (N, P, K, Ca and Mg), micronutrients (Fe, Cu, Mn and Zn) and textural class. For its elaboration, 40 soil samples were collected at "Triangular system" every 30 m, covering an area of 4 ha. The samples were analyzed in the laboratory of the UTE SD. The design of the thematic map was made in the ArcGIS version 10.5 program, which is a software system that allows to collect, organize, analyze and distribute geographic information. The data were entered into an Excel database, which was exported to the ArcGIS program, where three concentration ranges of the nutrients assumed by the author were plotted using a geographic interpolation process (Kriging). The data obtained showed that the nutrients N and P are very deficient, Mg and Mn are at the same level of the nutritional requirements of the National Cacao EET-95, K, Ca, Zn, pH (6.18) and MO (5.38%) have an adequate level for crop production. The textural class was determined sandy-loam and loam. In addition, with the thematic maps, it was</p>

	determined that the nutrients are distributed heterogeneously in the land, making it necessary that the fertilization is not carried out in a similar way in the whole farm.
KEYWORDS	ArcGIS, Thematic Map, Soil Fertility, Kriging Interpolation.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



Luis Xavier De la Cruz Puetate

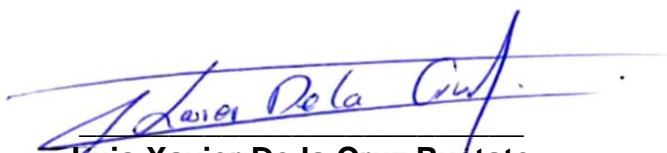
C.I. 2300115116

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **DE LA CRUZ PUETATE LUIS XAVIER**, CI 2300115116 autor/a del proyecto titulado: **Mapa temático para evaluar la fertilidad del suelo en el cultivo de cacao EET-95 en la finca “San Ramón”**. Previo a la obtención del título de **Ingeniero Agropecuario** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 27 de Julio del 2018



Luis Xavier De la Cruz Puétate
C.I. 2300115116

DECLARACIÓN

Yo **LUIS XAVIER DE LA CRUZ PUETATE**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

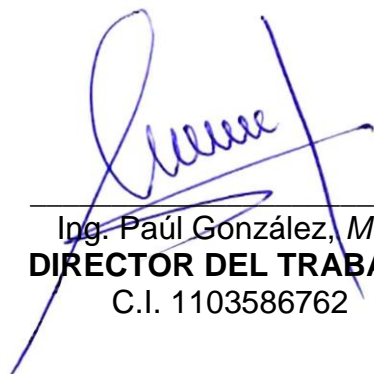


Luis Xavier De la Cruz Puetate

C.I. 2300115116

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título **Mapa temático para evaluar la fertilidad del suelo en el cultivo de cacao EET-95 en la finca “San Ramón”** que, para aspirar al título de **Ingeniera Agropecuaria** fue desarrollado por **Luis Xavier De la Cruz Puetate**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Paúl González, MC.
DIRECTOR DEL TRABAJO
C.I. 1103586762

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar por darme la vida y otorgarme la bendición de culminar mi carrera profesional.

A mi familia especialmente a mis padres Manuel Agustín de la Cruz Cobeña y Martha Fabiola Puetate Chamorro por apoyarme durante mi formación como profesional.

A mis amigos, de los que recibí apoyo durante las dificultades en mi formación como profesional.

Luis De la Cruz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Tecnológica Equinoccial institución en la cual me forme como profesional.

Agradezco de forma especial a todos los docentes que me instruyeron a lo largo de mi formación profesional.

A mis docentes especialmente a mi tutor de tesis el Ing. Paúl González por guiarme en el desarrollo y culminación de trabajo de titulación.

Luis de la Cruz

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA.
RESÚMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. MARCO REFERENCIAL	5
2.1 ARCGIS	5
2.2 MAPAS TEMÁTICOS	5
2.3 INTERPOLACIÓN KRIGING	5
2.4 FERTILIDAD DEL SUELO	5
2.5 TEXTURA DEL SUELO	5
2.6 pH	5
2.7 MATERIA ORGÁNICA	6
3. METODOLOGÍA	7
3.1 LOCALIZACIÓN	7
3.2 DISEÑO DE TECNOLOGÍA	7
3.2.1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO	8
3.2.2 ANÁLISIS DE LABORATORIO	8
3.2.3 ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS	9
3.2.4 EXPORTACIÓN DE BASE DE DATOS AL PROGRAMA ARCGIS	9
3.2.5 CREACIÓN DE SHAPE FILE	10
3.2.6 INTERPOLACIÓN DE DATOS	10
3.3 ANÁLISIS ECONÓMICO	11
3.4 MANUAL DEL USUARIO	11
3.4.1 ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS	11
3.4.2 EXPORTACIÓN DE BASE DE DATOS	12
3.4.3 ELABORACIÓN DE SHAPE FILE	13
3.4.4 INTERPOLACIÓN DE DATOS CON EL MÉTODO KRIGGING	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
BIBLIOGRAFÍAS	31

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA.
Tabla 1. Análisis económico para el proyecto tecnológico de diseño de Mapa temático para evaluar la fertilidad del suelo en el cultivo de cacao EET-95 en la finca “San Ramón”.....	11
Tabla 2. Requerimiento de cultivo de Cacao Nacional EET-95 y aporte nutricional del suelo de la finca “San Ramón”.	22
Tabla 3. Rangos establecidos de cada variable expresada en el mapa temático de la finca “San Ramón”.	22

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA.
Figura 1. Localización de la finca “San Ramón”.....	7
Figura 2. Base de datos de las coordenadas geográficas de cada muestra y variables de la fertilidad del suelo.....	12
Figura 3. Proceso para adjuntar los datos creados en Microsoft Excel 2010.	12
Figura 4. Selección y configuración de puntos correspondientes a la finca “San Ramón”.....	13
Figura 5. Gráfica de puntos geográficos correspondientes a la finca “San Ramón”.....	13
Figura 6. Selección de opción shape-file para generar el polígono de la finca “San Ramón”.....	14
Figura 7. Imagen de shape-file polígono de la finca “San Ramón”.	14
Figura 8. Selección y configuración de puntos correspondientes a las muestras recolectadas en la finca “San Ramón”.....	15
Figura 9. Imagen del mapa base de la finca “san Ramón”.	15
Figura 10. Configuración del histograma.	16
Figura 11. Selección de variables a medir en el histograma.	16
Figura 12. Configuración del análisis de tendencia de variables a medir.	17
Figura 13. Cuadro de configuración de análisis de tendencia.....	17
Figura 14. Aplicación de análisis geo-estadístico.....	18
Figura 15. Selección y aplicación de método interpolación kriging/Cokriging.....	18
Figura 16. Aplicación de kriging tipo ordinario.	19
Figura 17. Configuración de la Anisotropía.....	19
Figura 18. Información del método de interpolación kriging aplicado.	20
Figura 19. Método de interpolación kriging aplicado.....	20
Figura 20. Ajuste del Método de interpolación kriging al polígono de la finca “San Ramón”.	21

Figura 21. Método de interpolación kriging al polígono de la finca “San Ramón”.....	21
Figura 22. Mapa temático de variación de pH en la finca “San Ramón”.	23
Figura 23. Mapa temático de variación de MO en la finca “San Ramón”.....	24
Figura 24. Mapa temático de variación de N en la finca “San Ramón”.....	24
Figura 25. Mapa temático de variación de P en la finca “San Ramón”.....	25
Figura 26. Mapa temático de variación de K en la finca “San Ramón”.....	25
Figura 27. Mapa temático de variación de Fe en la finca “San Ramón”.....	26
Figura 28. Mapa temático de variación de Cu en la finca “San Ramón”.	26
Figura 29. Mapa temático de variación de Mn en la finca “San Ramón”.....	27
Figura 30. Mapa temático de variación de Mg en la finca “San Ramón”.....	27
Figura 31. Mapa temático de variación de Zn en la finca “San Ramón”.....	28
Figura 32. Mapa temático de variación de Ca en la finca “San Ramón”.	28
Figura 33. Mapa temático de variación de Textura en la finca “San Ramón”.....	29

RESÚMEN

El objetivo del presente proyecto técnico fue diseñar un mapa temático para evaluar la fertilidad del suelo en el cultivo de cacao EET-95 en la parroquia La Unión, mediante el contenido de pH, materia orgánica, macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg), micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn) y clase textural. Para su elaboración se recolectaron 40 muestras de suelo a “Tres bolillo” cada 30 m, cubriendo un área de 4 ha. Las muestras se analizaron en el laboratorio de la UTE SD. El diseño del mapa temático se realizó en el programa ArcGIS versión 10.5, el cual es un sistema de software que permite recopilar, organizar, analizar y distribuir información geográfica. Los datos fueron ingresados en una base de datos de Excel, que se exportó al programa ArcGIS, donde mediante un proceso de interpolación geográfico (Kriging) se graficaron tres rangos de concentración de los nutrientes asumidos por el autor. Los datos obtenidos mostraron que los nutrientes N y P, se encuentran muy deficientes, Mg y Mn se encuentran al mismo nivel de los requerimientos nutricionales del Cacao Nacional EET-95, K, Ca, Zn, pH (6.18) y MO (5.38%) tienen un nivel adecuado para la producción del cultivo. La clase textural se determinó suelo franco-arenoso y franco. Además, con los mapas temáticos se determinó que los nutrientes están distribuidos de manera heterogénea en el terreno, haciéndose necesario que la fertilización no se realice de manera similar en todo el predio.

Palabras clave: ArcGIS, Mapa temático, Fertilidad del suelo, Interpolación Kriging.

ABSTRACT

The objective of the present technical project was to design a thematic map to evaluate the soil fertility in the EET-95 cocoa crop in La Union parish, by means of the content of pH, organic matter, macronutrients (N, P, K, Ca and Mg), micronutrients (Fe, Cu, Mn and Zn) and textural class. For its elaboration, 40 soil samples were collected at "Triangular system" every 30 m, covering an area of 4 ha. The samples were analyzed in the laboratory of the UTE SD. The design of the thematic map was made in the ArcGIS version 10.5 program, which is a software system that allows to collect, organize, analyze and distribute geographic information. The data were entered into an Excel database, which was exported to the ArcGIS program, where three concentration ranges of the nutrients assumed by the author were plotted using a geographic interpolation process (Kriging). The data obtained showed that the nutrients N and P are very deficient, Mg and Mn are at the same level of the nutritional requirements of the National Cacao EET-95, K, Ca, Zn, pH (6.18) and MO (5.38%) have an adequate level for crop production. The textural class was determined sandy-loam and loam. In addition, with the thematic maps, it was determined that the nutrients are distributed heterogeneously in the land, making it necessary that the fertilization is not carried out in a similar way in the whole farm.

Keywords: ArcGIS, Thematic Map, Soil Fertility, Kriging Interpolation.

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos son el medio fundamental de producción en la agricultura, cumpliendo un rol importante en el contexto económico actual (Suquilanda, 2008), así la propuesta de política agropecuaria ecuatoriana proyectada hacia el desarrollo territorial rural 2015-2025 señala que el Ecuador es un país privilegiado por la diversidad de suelos que posee, pero debido al uso inadecuado del recurso, el manejo del mismo se torna insostenible, dada la alta dependencia y el uso poco técnico de agroquímicos de origen sintético así como la falta de información relacionada con los requerimientos de fertilización de los cultivos.

En el contexto de uso responsable del suelo, se han establecido diferentes metodologías para la conservación del mismo, entre las que se encuentra la elaboración de los mapas temáticos, los mismos que son herramientas para que los productores desarrollen la agricultura de manera técnica (Franquis, 2012), usando de manera eficiente y precisa los agroquímicos que se deben aplicar a los cultivos, ya que se tienen en cuenta las características del suelo como: fertilidad (macro y micronutrientes), contenido de materia orgánica, textura y pH, para generar planes de fertilización (AGROCALIDAD, 2016).

La evaluación de fertilidad del suelo utilizando los diseños de mapas temáticos, es un procedimiento por el cual se expresa de forma gráfica la variación de las propiedades físico-químicas del suelo, esta herramienta proporciona a los productores agrícolas una línea base que respalde la producción y que proporcione un proyecto técnico confiable para tomar decisiones apropiadas con respecto a la fertilización (Guerrero, 2009).

En el presente proyecto técnico se realizó un Mapa temático que permitirá evaluar la fertilidad del suelo de la finca “San Ramón” ubicada en la parroquia La Unión. Las variables que se muestran de manera gráfica son: pH, materia orgánica (MO), textura y los macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg), micronutrientes (Fe, Cu, Mn, y Zn), además de la clase textural, convirtiéndose en una herramienta de gran utilidad para el manejo de la fertilización del cultivo de cacao EET-95 bajo los principios de la agricultura de precisión en el mencionado predio. Para su elaboración se tomaron muestras de suelo a “Tres bolillo” cada 30 m, cubriendo toda el área, dichas muestras fueron analizadas en el laboratorio de la UTE SD. Los datos obtenidos se ingresaron en una base de datos, que se exportó al programa ArcGIS, donde mediante un proceso de interpolación (Kriging) se graficaron tres rangos de concentración (alto, medio y bajo).

El objetivo general del proyecto fue diseñar un mapa temático de la distribución de la fertilidad del suelo en el predio de la finca “San Ramón”, que se encuentra cultivado con cacao Nacional EET-95 en la parroquia La Unión, para lo cual se establecieron los objetivos específicos: Determinar el contenido de pH, MO, macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg), micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn) y clase textural del suelo de la finca “San Ramón” y elaborar los mapas de distribución del pH, MO, macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg), micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn) y clase textural del suelo de la finca “San Ramón”.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 ARCGIS

El programa ArcGIS según Puerta, R. (2011) se define como un software de sistema de información geográfica diseñada por la empresa californiana Environmental System Research Institute, con la finalidad de capturar, editar, diseñar y publicar información geográfica. El programa es un resultado de una larga evolución, por lo que se trata de un sistema de cierta complejidad, pero de gran utilidad para graficar la distribución de ciertas condiciones en el espacio (Moreno, 2008).

2.2 MAPAS TEMÁTICOS

Los mapas temáticos son una herramienta fundamental para ilustrar de forma clara y concisa de variables correspondiente a características fisicoquímicas de los suelos, se definen de otra forma como una representación gráfica de las características estructurales de la distribución espacial de un fenómeno geográfico en particular (Montenegro, 2003).

2.3 INTERPOLACIÓN KRIGING

La herramienta Kriging se ajusta una función matemática a una cantidad especificada de puntos o a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida para cada ubicación. Kriging es un proceso que tiene varios pasos, entre los que se incluyen, el análisis estadístico exploratorio de los datos (Zavaleta, 2010).

2.4 FERTILIDAD DEL SUELO

El suelo en sentido analógico es como una fábrica, su fertilidad depende del suministro que le imparte la naturaleza, según Arias, A. (2007), se refiere a la capacidad del suelo de abastecer adecuadamente a la planta con los nutrientes que ella necesita para crecer y producir eficientemente.

2.5 TEXTURA DEL SUELO

Según García, A. (2000) la textura de un suelo se refiere al tamaño de las partículas que lo constituyen, compuesta por la proporción de arena, limo y arcilla, esta propiedad del suelo no cambia con el tiempo, el tipo de textura de un suelo se conoce por los porcentajes del peso de arena, limo y arcilla (Calvache, 2013).

2.6 pH

La presencia en mayor cantidad o menor cantidad de iones H^+ en relación a los iones básicos determinan la reacción o acidez del suelo, que se expresa por el pH, cuyo valor teórico entre 0.0 y 14.0, y en la práctica entre 4.5 y 9.0

(García, 2000). Según Navarro, S. (2000), el pH del suelo condiciona de forma decisiva no solo a la forma de vida de microorganismos y los procesos importantes que ellos intervienen, sino también a la menor o mayor asimilabilidad de muchos elementos químicos que para la planta son esenciales y la de otros que a determinadas concentraciones pueden resultar tóxicos.

2.7 MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica procede de la producción vegetal, de la descomposición de cadáveres y la actividad biológica de microorganismos contenidos en ella (Calvache, 2013), la acción de los microorganismos es de gran importancia ya que se estima que las sustancias nitrogenadas del humus pueden proceder en una proporción elevada, del protoplasma celular (Navarro, 2000).

3. METODOLOGÍA

3.1 LOCALIZACIÓN

El presente proyecto técnico se realizó en la Finca “San Ramón”, propiedad del Sr. Ramón Urdanigo, ubicada en el km 6, margen derecho de la vía Unión-Cucaracha, perteneciente a la parroquia rural La Unión, del cantón Quinindé de la Provincia de Esmeraldas en las coordenadas 0° 19' 48" de latitud norte, 79°29'O de longitud oeste, a 300 msnm.

La región tiene dos épocas definidas: la época seca que se extiende de julio a diciembre y la época lluviosa desde enero hasta junio, la zona de vida es clasificada según Holdridge como Bosque Lluvioso Tropical. El clima prevalente se caracteriza por tener una temperatura media anual de 21° a 35° C y precipitación de 2686 mm año⁻¹.



Figura 1. Localización de la finca “San Ramón”.

Fuente: Google Earth® 2018

3.2 DISEÑO DE TECNOLOGÍA

Para elaborar el mapa temático que evalúa la fertilidad del suelo en el cultivo de cacao Nacional EET-95, se recolectó 40 muestras de suelo a “Tres bolillo” cada 30 m. Las muestras se analizaron en el laboratorio de la UTE SD. El diseño del mapa temático se realizó en el programa ArcGIS versión 10.5, donde se aplicó el método de interpolación geográfica “Kriging”, caracterizando de forma gráfica las 4 ha de la finca “San Ramón”, en tres rangos (alto, medio, bajo) según la concentración de materia orgánica, pH,

macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg), micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn) y clase textural, cumpliendo las siguientes indicaciones.

3.2.1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO

Se recolectaron un total de 40 muestras en el área de estudio de 4 ha⁻¹, siguiendo las normas establecidas por el (INIAP, 2010) utilizando el barreno una profundidad de 30 cm, a una distancia de 30 m a “tres bolillos”, cada muestra es particularmente identificada y geo referenciada con el GPS.

3.2.2 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las muestras fueron evaluadas en los siguientes parámetros: variación de pH, materia orgánica (MO), macronutrientes (N, P, K, Mg y Ca), micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn) y clase textural.

3.2.2.1 Análisis de pH

Para el análisis de pH se pesaron 10 g de muestra, los mismos que se depositaron en frascos de agitación agregando 25 mL de agua destilada. Posteriormente se procedió a colocarlos en el agitador mecánico durante cinco minutos (350 rpm) y se dejó en reposo durante 30 minutos, se agitó nuevamente dos minutos y se realizó la medición en el potenciómetro calibrado previamente con las soluciones BUFFER pH 4.0 y 7.0.

3.2.2.2 Análisis de Materia orgánica

Para el análisis de materia orgánica se pesó 0.5 g de suelo seco, se coloca en un Erlenmeyer de 250 mL, se agregó 5 mL de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y 5 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, se agitó y se dejó reposar durante 30 minutos, después se dispensó 100 mL de agua destilada con 5 gotas de ferroin y se tituló con sulfato ferroso amoniacal.

3.2.2.3 Extracto de Olsen modificado

Para obtener los extractos de Olsen de las muestras se procedió a pesar 2,5 g de suelo seco y se colocó en envases de agitación, posteriormente se agregó 25 mL de la solución extractora Olsen modificado pH 8,5 se agitó durante 10 minutos y se filtró con papel filtro whatman No. 40, el filtrado se recogió en botellitas de polietileno.

3.2.2.4 Análisis de macro y micronutrientes

Para los macronutrientes se colocó 1 mL del extracto de Olsen en un tubo de ensayo de 25 mL, agregamos 24 mL de solución compuesta por óxido de lantano y agua destilada, se agita manualmente y se realizó las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.2.2.5 Análisis de textura

Para determinar la clase textural se pesó 50 g de muestra de suelo seco, se colocó en un vaso de precipitación de 250 mL agregando 100 mL de agua destilada y 10 mL de hexametáfosfato de sodio (solución dispersante), se agitó la muestra con una vaqueta y se coloca cuidadosamente en el vaso de dispersión, para ser agitada durante 5 minutos en el agitador mecánico. Luego se trasvasó la solución dispersada a la probeta Bouyoucos, cuidando de no dejar nada en el vaso de dispersión y aforar con agua hasta los 1000 mL previamente marcados.

Se agita la solución de la probeta Bouyoucos para que las partículas estén en suspensión, coloque la probeta en el mesón y realice con el hidrómetro la primera lectura a los 40 segundos, además se tomó la temperatura de la solución con el termómetro, dejar reposar durante dos horas para realizar la segunda lectura de la misma manera que a los 40 segundos, pero esta vez sin agitar la solución.

3.2.3 ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS

Con base en los resultados de los análisis de suelo y las coordenadas de cada una de las muestras se generó la base de datos, considerando lo siguiente:

- Generar la base de datos en Microsoft Excel.
- Generar columnas “x” “y” para las coordenadas geográficas.
- Generar columnas con Identificación y número de muestra.
- Generar columnas con las variables de pH, MO, macronutrientes, micronutrientes y clase textural.

3.2.4 EXPORTACIÓN DE BASE DE DATOS AL PROGRAMA ARCGIS

Se ingresó la base de datos generada en Microsoft Excel en ArcGIS, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Ingresar al programa ArcGIS, en generador de mapas ArcMap.
- Seleccionar la opción "XY Add data" para ingresar la base de datos.
- Configurar el sistema de coordenadas seleccionando edit/XY Coordinate System/ Projected coordinate system/ WGS1984/Southern hemisphere/UTM /WGS1984 UTM Zone 17S.
- Este paso lo realizamos tanto para que se grafique el polígono de la finca y se ubiquen los puntos de las muestras.

3.2.5 CREACIÓN DE SHAPE FILE

Una vez que los datos fueron exportados en el ArcGIS, se creó los shape-file o capas de trabajo, se diseñó el grafico de la finca y la ubicación de los puntos de muestra.

- Crear una carpeta donde ubicaremos lo shape file de la finca y de las muestras.
- Vincular la carpeta con el ArcGIS.
- Clic derecho en la carpeta/ New shape-file / Especificar tipo (polígono, poli línea, puntos) / Configurar sistema de coordenadas / aceptar.
- Para editar el shape-file seleccionamos: edit. features / elegimos el shape a editar / se realiza la edición.

3.2.6 INTERPOLACIÓN DE DATOS

Se Interpola la base de datos, aplicando el método kriging, de tal forma que proporcionó gráficamente la variación de concentración de las variables:

- Se interpolará solo el shape-file correspondiente a las muestras recolectadas en el área de estudio.
- Seleccionamos la opción Geostatistical Analyst, elegimos la opción Histogramas para elegir el tipo de función que aplicaremos en la medición de variables.
- Seleccionamos la opción Trend Analysis para establecer, se configura la muestra y la variable a medir.
- Seleccionamos la opción Geostatistical Wizard.
- Aplicamos la interpolación kriging.
- Configuramos las muestras y la función a medir.
- Configuramos la anisotropía en verdadero.
- Configuramos los rangos a medir en este caso son 3.
- Verificamos la tabla y contenidos.

- Aceptamos y se genera el mapa temático.

3.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el desarrollo del proyecto técnico fueron requeridos los recursos que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis económico para el proyecto tecnológico de diseño de Mapa temático para evaluar la fertilidad del suelo en el cultivo de cacao EET-95 en la finca “San Ramón”.

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Análisis de laboratorio	40	4,3	172
Mano de obra	1	200	200
Fundas plásticas	40	0,03	1,2
Membretes	40	0,02	0,8
Movilización muestras	1	5	5
Licencia ARCGIS	1	40	40
TOTAL			419

3.4 MANUAL DEL USUARIO

3.4.1 ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS

Para la elaborar el mapa se utilizó un GPS, para ubicar cada muestra recolectada, una vez culminado este proceso, se generó una base de datos en el programa Excel, especificando las coordenadas “x” “y”, adjuntando los datos obtenidos en el análisis de suelo tales como: variación de pH, materia orgánica, macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg), micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu) y clase textural.

BASE DE DATOS FSR - Microsoft Excel

ID	X	Y	Z	Tipo	Observaci	pH	MO	N	P	K	Fe	Cu	Mn	Zn	Mg	Ca
1	670017	12150	430	C	M1	6,48	4,2	23,5	33,9	5,7	106	7,92	4,29	4,62	1,27	5,4
2	670023	12167	432	C	M2	5,63	3,44	29,7	21,7	2,14	168	6,93	7,26	2,31	0,5	5,9
3	670010	12166	423	C	M3	6,06	4,28	72,5	27,2	2,34	234	15,2	4,95	8,25	0,87	5,3
4	670008	12190	431	C	M4	6,05	4	38,2	24	2,47	175	5,61	1,65	0,99	0,94	5
5	670023	12184	432	C	M5	5,06	5,38	60,2	25,8	1,85	185	15,2	5,94	27,7	0,78	5,1
6	670026	12204	425	C	M6	5,69	3,7	35,7	26,9	2,19	149	8,25	6,27	5,94	0,94	3
7	670003	12207	420	C	M7	5,7	3,78	43,1	21,5	2,26	162	8,58	6	4,29	1,33	12,4
8	670025	12224	421	C	M8	5,54	5,12	151	25,1	1,18	182	4,62	7,59	3,96	0,43	7,4
9	670000	12237	424	C	M9	5,66	2,77	50,4	25,8	1,02	182	6,27	6,27	2,97	0,27	2,3
10	670021	12255	432	C	M10	5,46	4,87	178	30	0,97	195	5,94	14,9	2,97	0,75	5,3
11	670038	12252	435	C	M11	5,43	3,78	62,7	28,2	1,13	188	7,26	20,1	16,5	0,67	6,7
12	670036	12235	430	C	M12	5,53	2,52	38,2	28,6	1,5	168	5,61	8,91	5,61	0,69	3
13	670013	12280	432	C	M13	5,93	3,02	43,1	30	1,77	224	9,57	7,26	5,61	0,72	4,6
14	669991	12150	423	C	M14	5,82	3,86	74,9	32,1	1,68	198	10,2	12,5	42,61	0,9	6,1
15	669909	12168	431	C	M15	5,49	2,77	35,7	42	1,35	429	6,6	1,98	4,62	0,78	5,2
16	669944	12159	432	C	M16	5,41	2,6	35,7	41,3	1,55	462	9,57	1,98	11,9	0,51	3,7
17	669954	12187	425	C	M17	5,85	3,19	40,6	56,1	2,32	323	7,92	0,99	36,6	0,83	6
18	669973	12170	420	C	M18	5,88	3,86	43,1	57,5	1,03	396	5,94	1,32	17,8	0,43	3,1
19	669972	12189	421	C	M19	5,69	2,69	45,5	79,7	1,1	561	11,6	2,64	32	0,51	4,8
20	669953	12209	424	C	M20	5,42	2,6	38,2	38,3	1,13	330	5,61	2,64	4,62	0,6	4
21	669975	12230	432	C	M21	5,47	2,02	43,1	48,3	1,08	594	8,91	3,63	12,5	0,41	3,3
22	669962	12280	435	C	M22	5,24	3,36	60,2	29	0,96	297	5,28	5,61	24,4	0,52	4,3

Figura 2. Base de datos de las coordenadas geográficas de cada muestra y variables de la fertilidad del suelo.

3.4.2 EXPORTACIÓN DE BASE DE DATOS

Se accede al programa ArcGIS 10.5, utilizando la opción “Add XY data” para exportar la base de datos generada en Microsoft Excel.

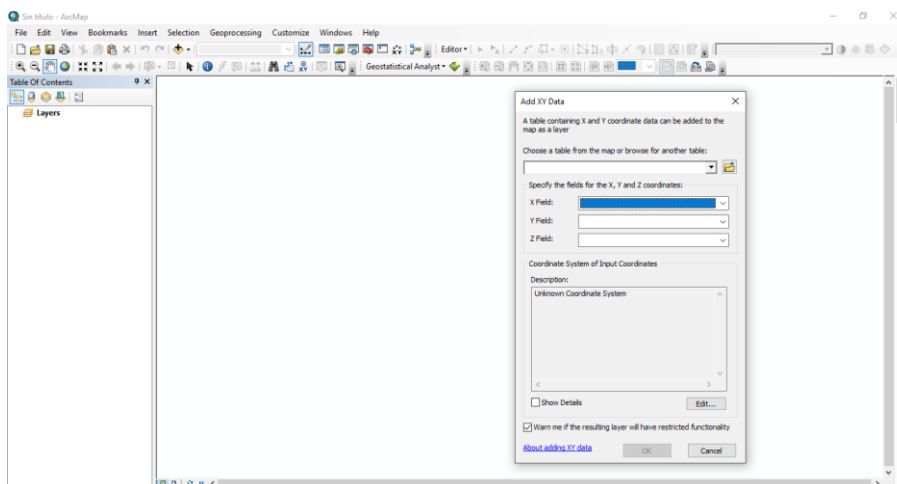


Figura 3. Proceso para adjuntar los datos creados en Microsoft Excel 2010.

3.4.3 ELABORACIÓN DE SHAPE FILE

Una vez que la base de datos exportados en ArcGIS 10.5, se generó las capas (Shape-file) correspondientes a los puntos que conforman la finca “San Ramón” y los puntos de muestras captados.

1) Configuración del sistema de coordenadas.

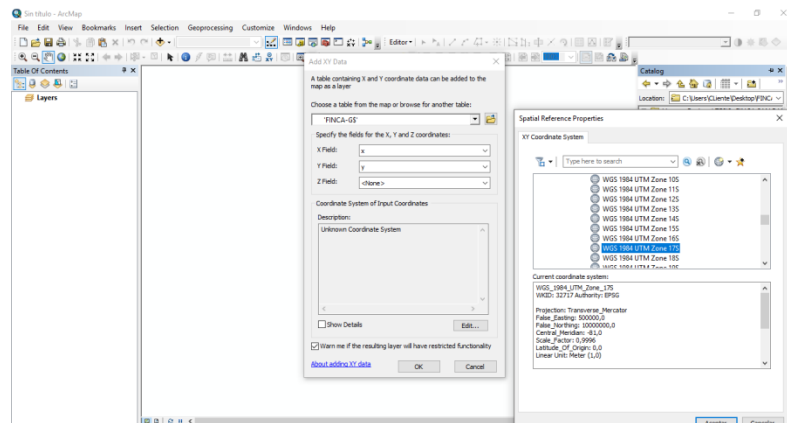


Figura 4. Selección y configuración de puntos correspondientes a la finca “San Ramón”.

2) Exportación de los puntos de muestra a la ventana de ArcGIS.

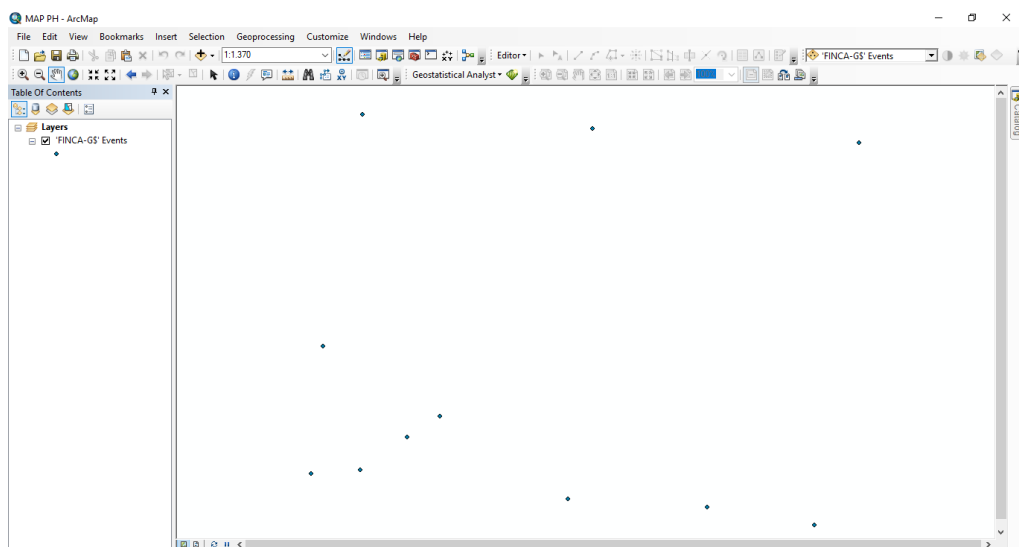


Figura 5. Gráfica de puntos geográficos correspondientes a la finca “San Ramón”.

3) Transformar el formato de la hoja de Microsoft Excel a shape file.

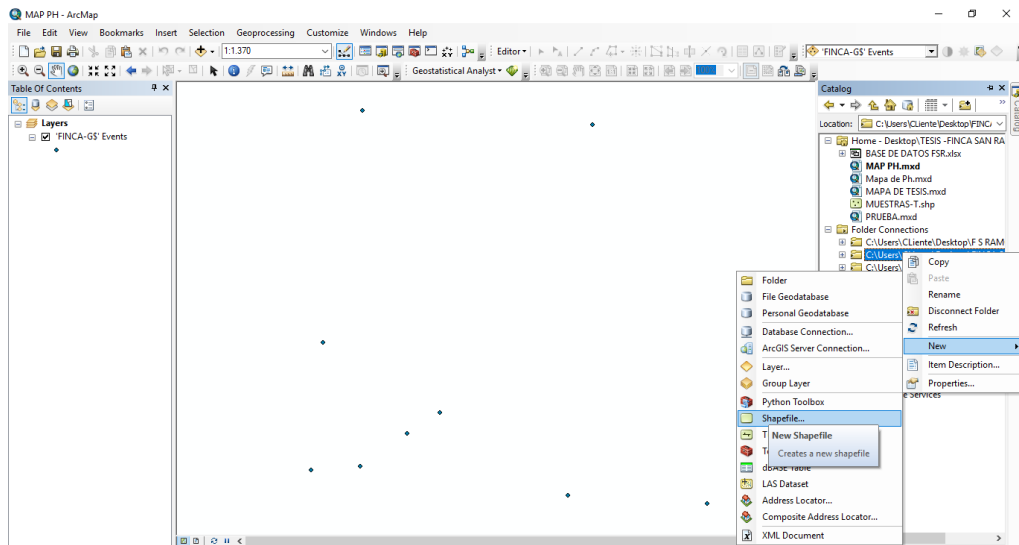


Figura 6. Selección de opción shape-file para generar el polígono de la finca “San Ramón”.

4) Gráfica de polígono correspondiente a la finca.

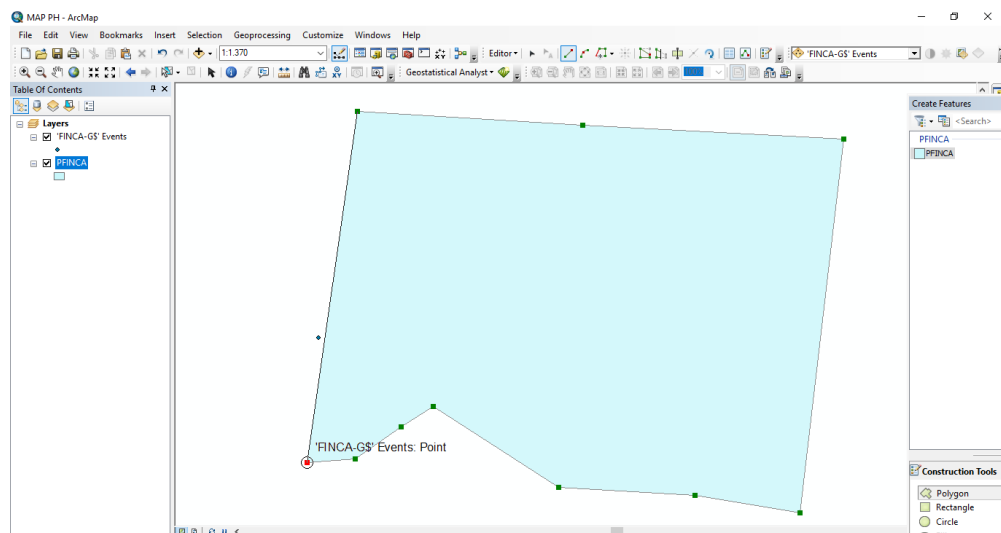


Figura 7. Imagen de shape-file polígono de la finca “San Ramón”.

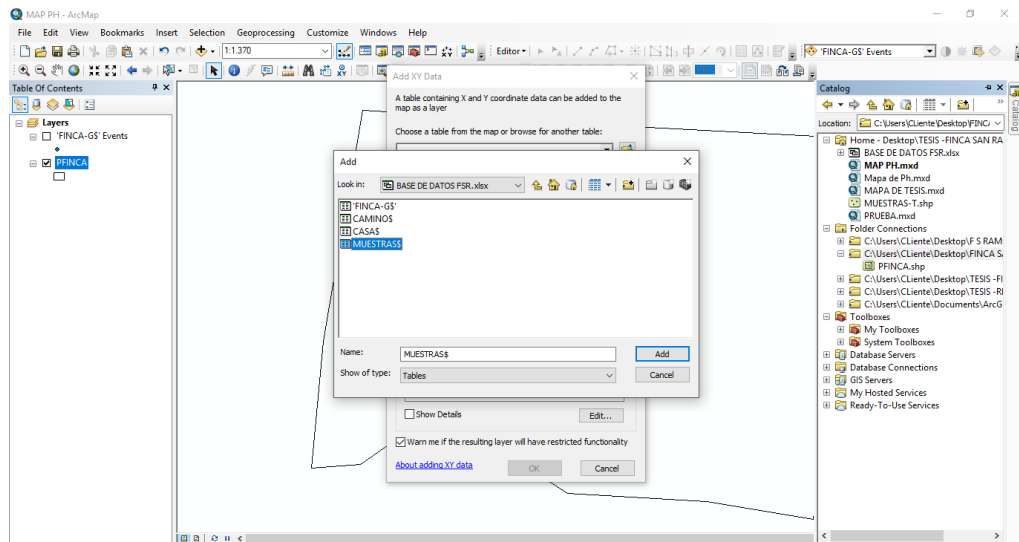


Figura 8. Selección y configuración de puntos correspondientes a las muestras recolectadas en la finca “San Ramón”.

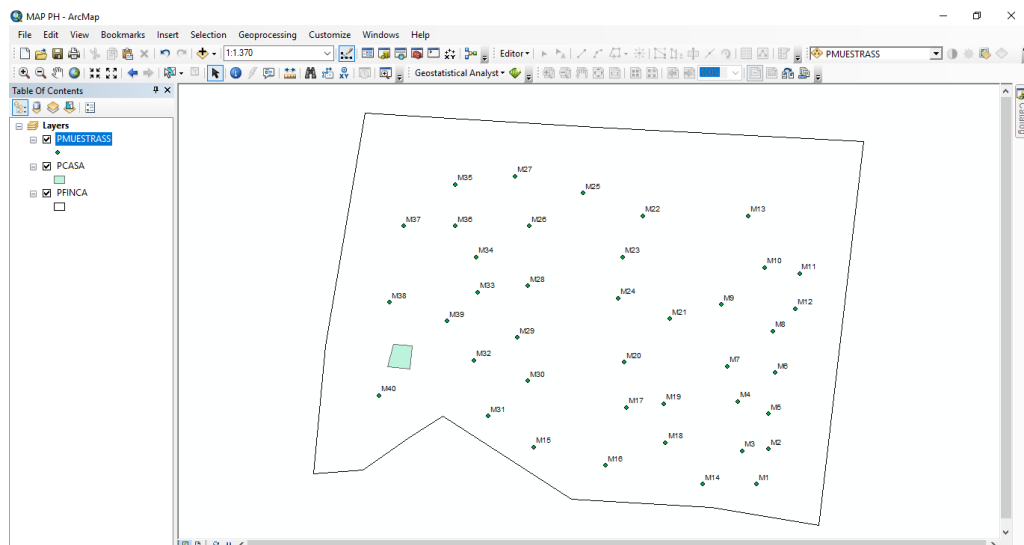


Figura 9. Imagen del mapa base de la finca “san Ramón”.

3.4.4 INTERPOLACIÓN DE DATOS CON EL MÉTODO KRIGGING.

Una vez creadas las capas “shape-file” correspondientes a la finca “San Ramón”, se aplicó el método de interpolación Kriging, para diseñar el mapa temático de las variables a medir, se estableció 3 rangos según la concentración.

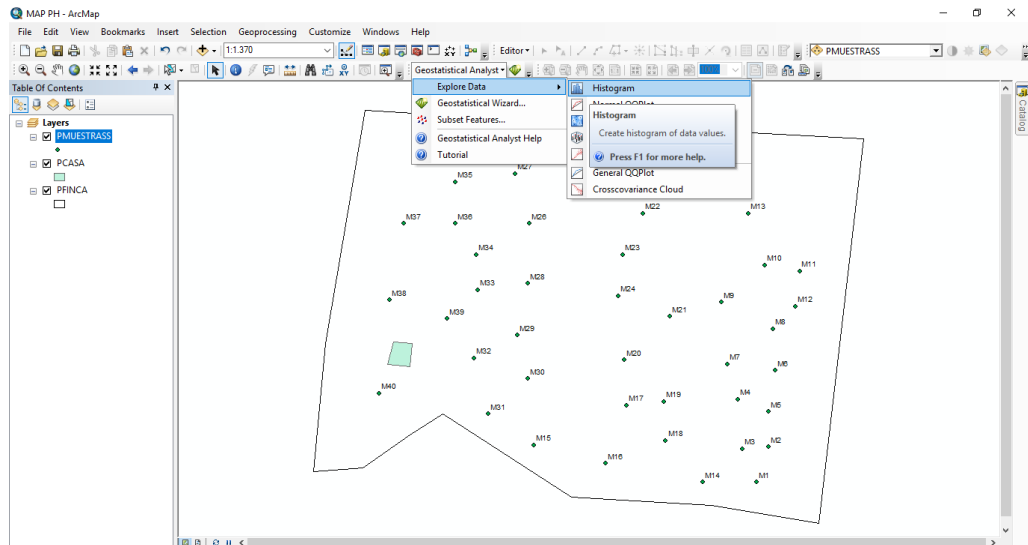


Figura 10. Configuración del histograma.

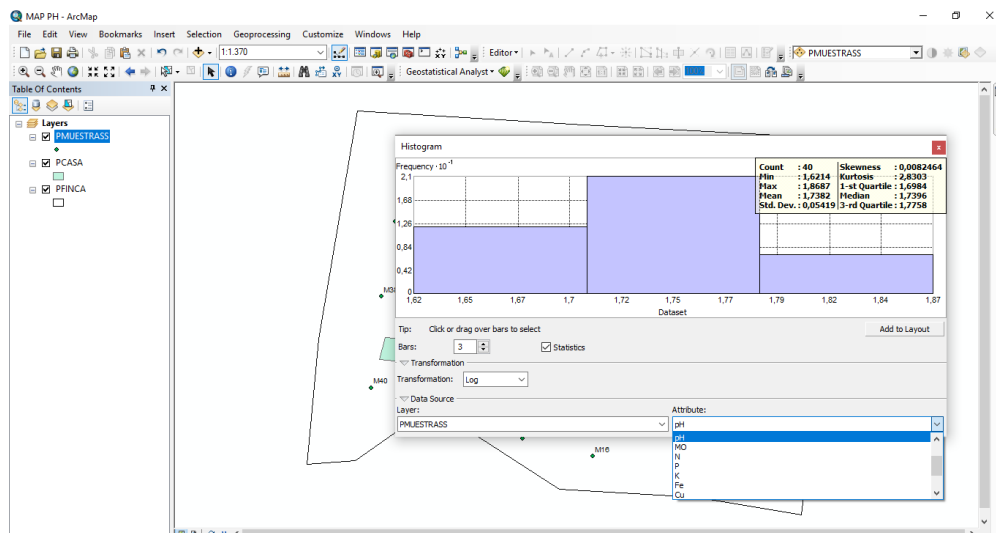


Figura 11. Selección de variables a medir en el histograma.

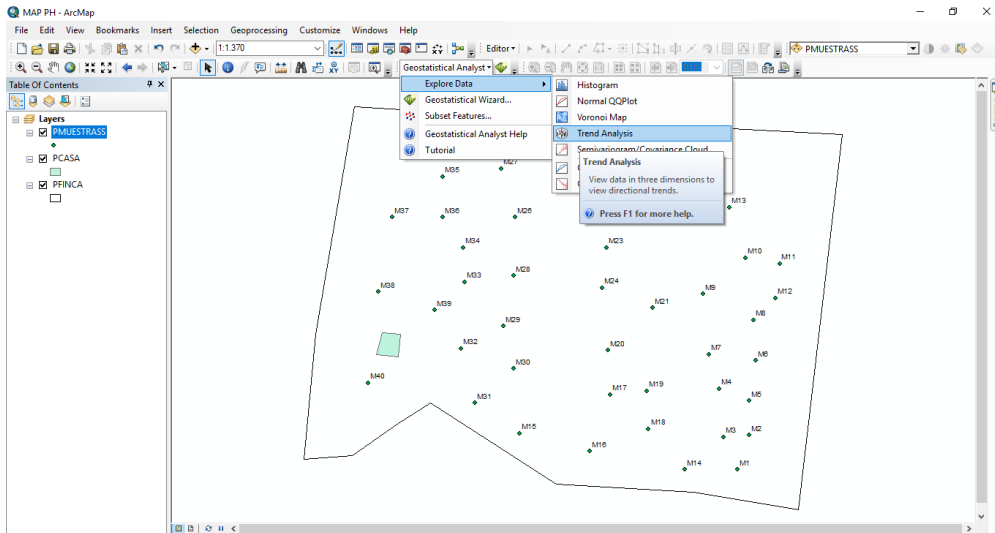


Figura 12. Configuración del análisis de tendencia de variables a medir.

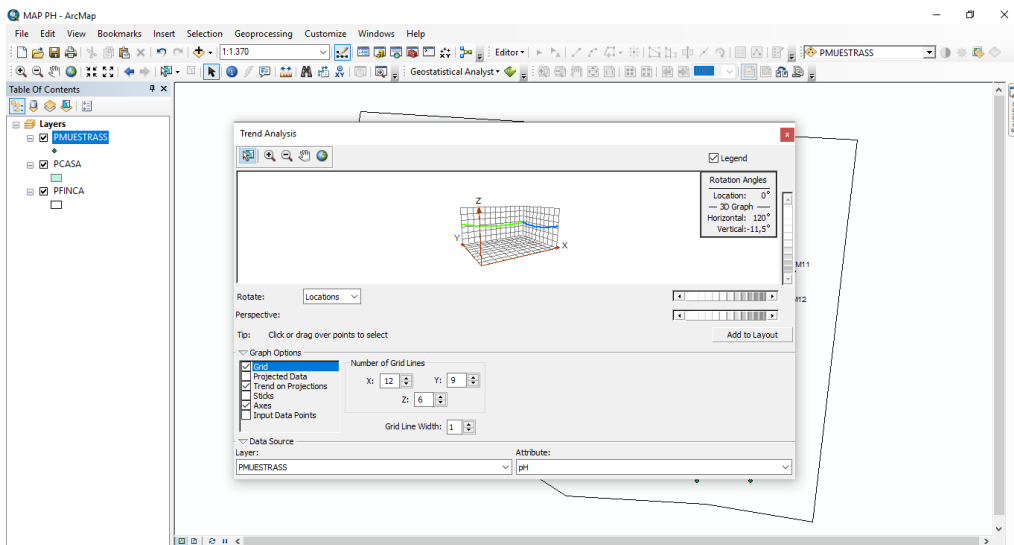


Figura 13. Cuadro de configuración de análisis de tendencia.

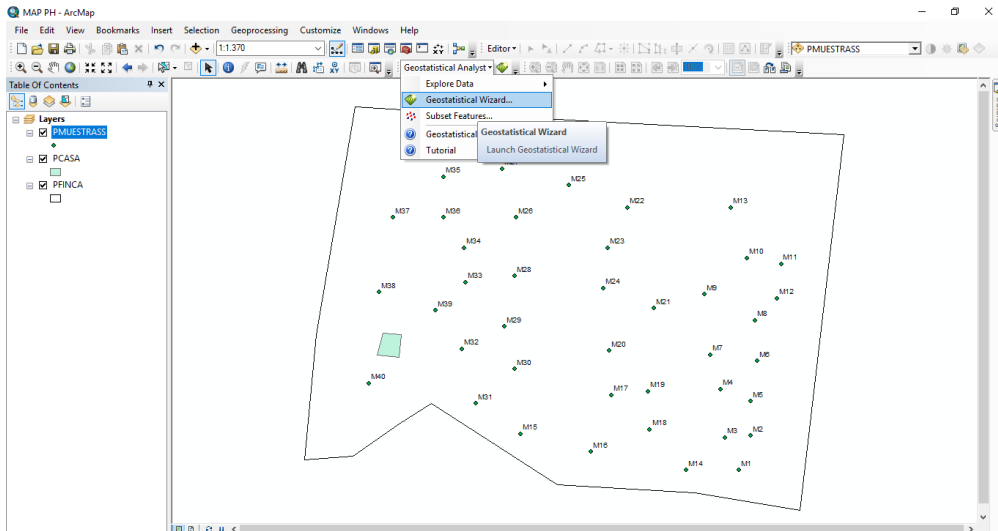


Figura 14. Aplicación de análisis geo-estadístico.

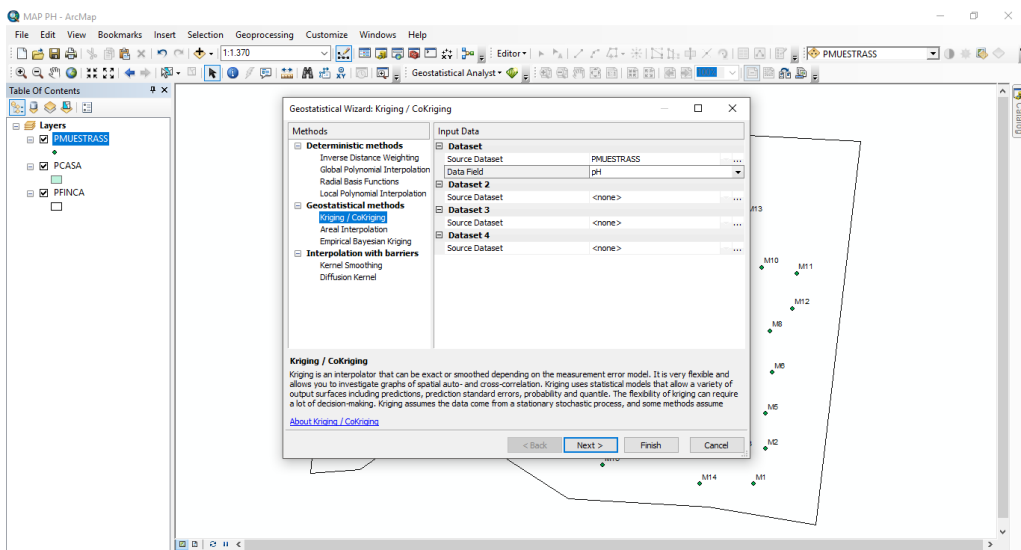


Figura 15. Selección y aplicación de método interpolación kriging/Cokriging.

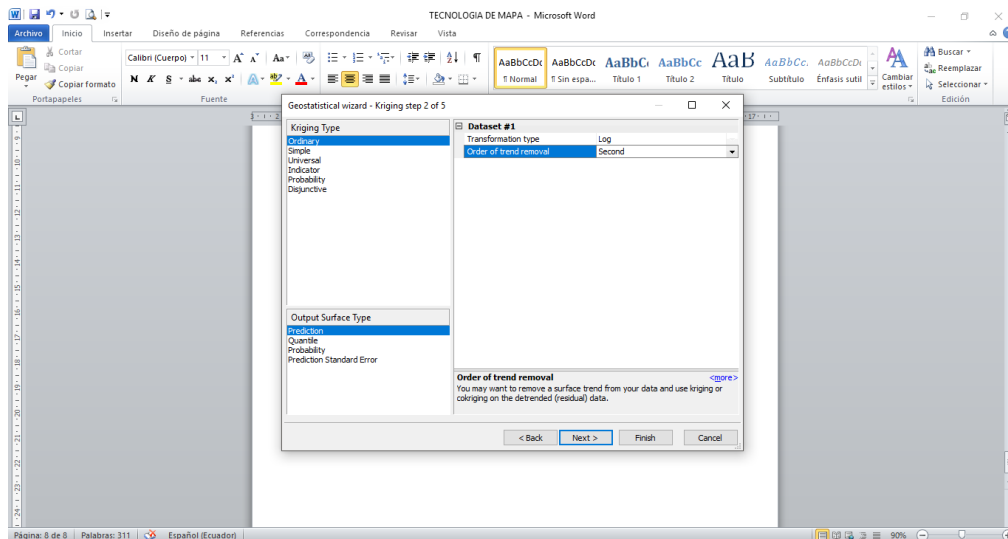


Figura 16. Aplicación de kriging tipo ordinario.

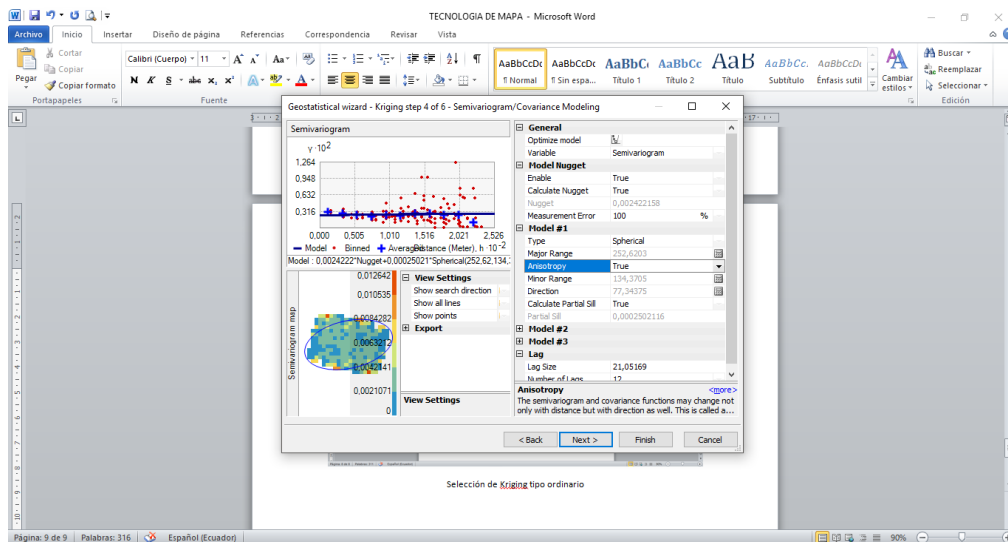


Figura 17. Configuración de la Anisotropía.

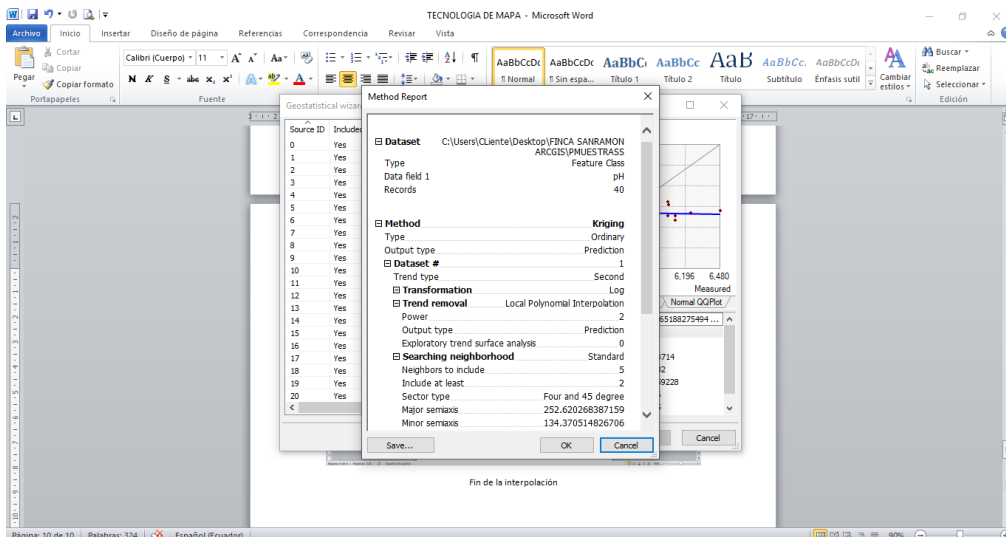


Figura 18. Información del método de interpolación kriging aplicado.

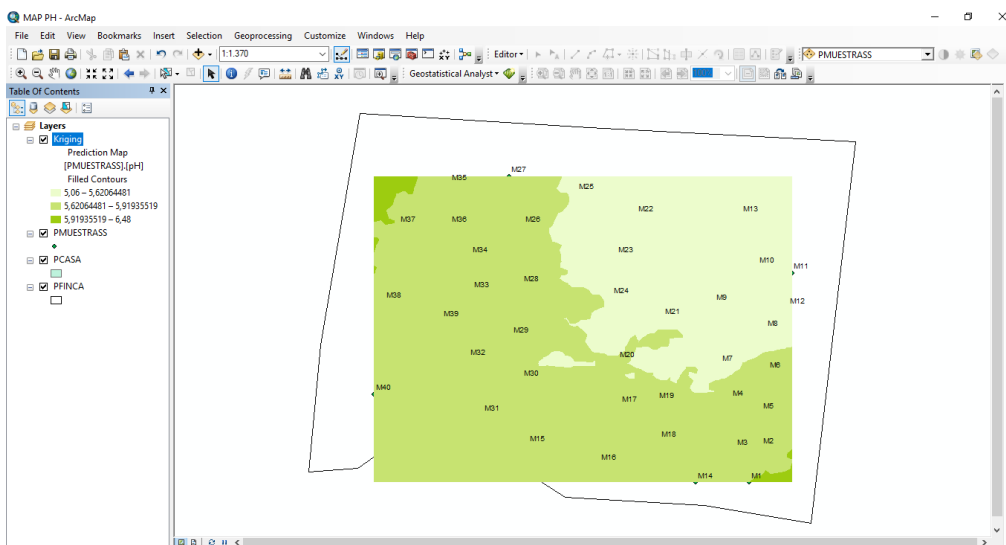


Figura 19. Método de interpolación kriging aplicado.

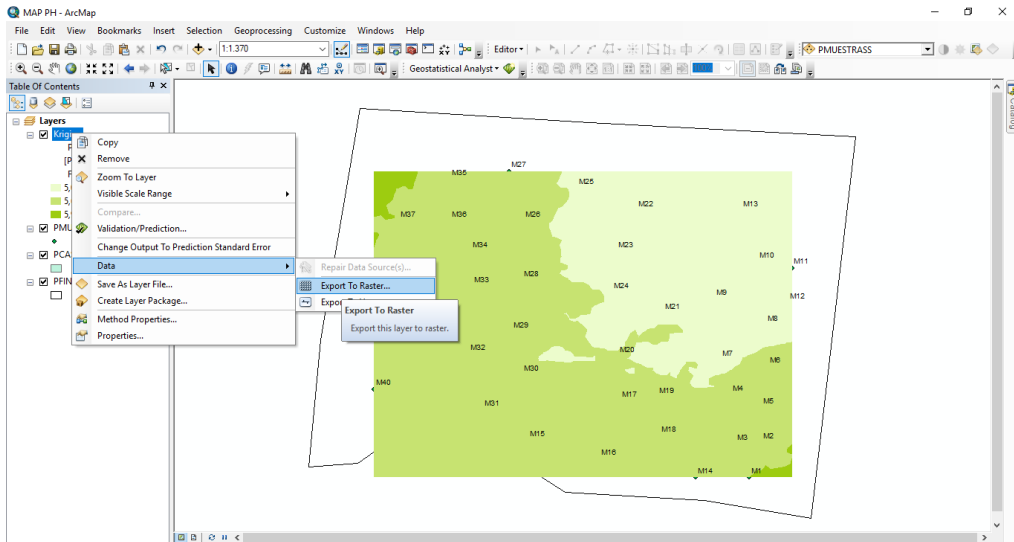


Figura 20. Ajuste del Método de interpolación kriging al polígono de la finca “San Ramón”.

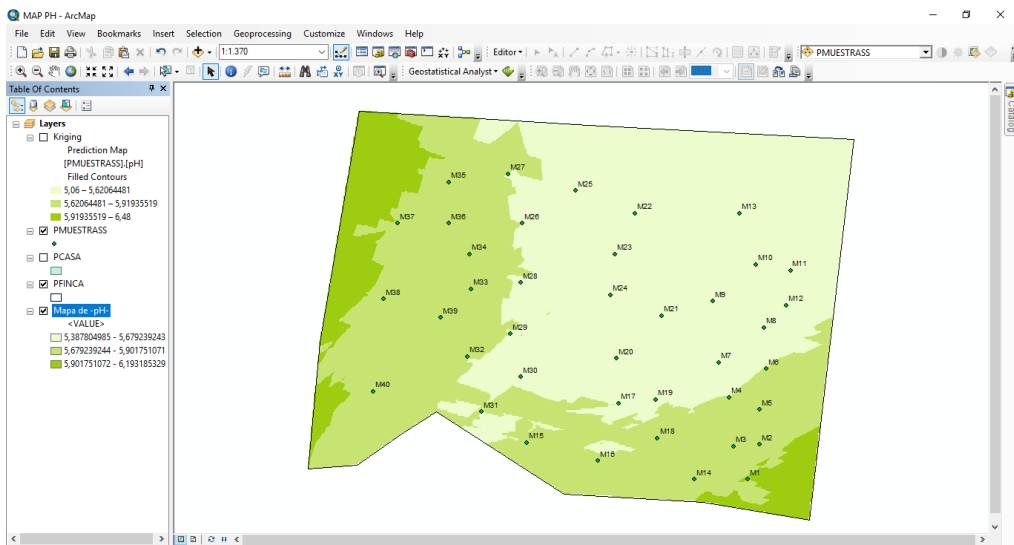


Figura 21. Método de interpolación kriging al polígono de la finca “San Ramón”.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis aplicados a las muestras recolectadas en la finca “San Ramón” dieron los siguientes resultados, expresados en rangos de (alto, medio, bajo).

Tabla 2. Requerimiento de cultivo de Cacao Nacional EET-95 y aporte nutricional del suelo de la finca “San Ramón”.

Nutrientes	Req. Cultivo Cacao*	Reserva del suelo	
		Resultado de laboratorio	kg ha ⁻¹
N	497,73	5,6 ppm	41,2
P	56,66	14,6 ppm	48,4
K	788,81	1,7 meq 100g	901,3
Ca	355,52	5,03 meq 100g	674
Mg	122,21	0,44 meq 100g	120
Mn	6,55	0,33 ppm	4,13
Zn	1,89	1,7 ppm	15,3

*Fuente: Saenz, 1990.

Los análisis aplicados a las muestras recolectadas en la finca “San Ramón” dieron los siguientes resultados, expresados en rangos de (alto, medio, bajo).

Tabla 3. Rangos establecidos de cada variable expresada en el mapa temático de la finca “San Ramón”.

Variable/Rango	Bajo	Medio	Alto
pH	5.38-5.68	5.68-5,88	5.88-6.18
MO %	1.76-2.65	2.65-3.84	3.84-5.38
N ppm	2.67-6.73	6.73-18.88	18.88-53.36
P ppm	6.43-8.40	8.40-17.00	17.00-56.71
K meq 100 g	0.55-1.46	1.46-3.02	3.02-5.70
Fe ppm	32.00-61.45	61.45-107.61	107.61-180
Cu ppm	2.97-5.13	5.13-8.84	8.84-15.2
Mn ppm	0.10-0.40	0.40-1.57	1.57-6.10
Zn ppm	0.30-0.98	0.98-5.96	5.96-7.23
Mg meq 100 g	0.27-0.52	0.52-0.88	0.88-1.42
Ca meq 100 g	2.30-3.92	3.92-4.60	4.60-6.09

El mapa temático de la finca “San Ramón” expresa de forma gráfica la variación de materia orgánica (%), pH (valor), micronutrientes (ppm), micronutrientes (meq 100 g) y clase textural.

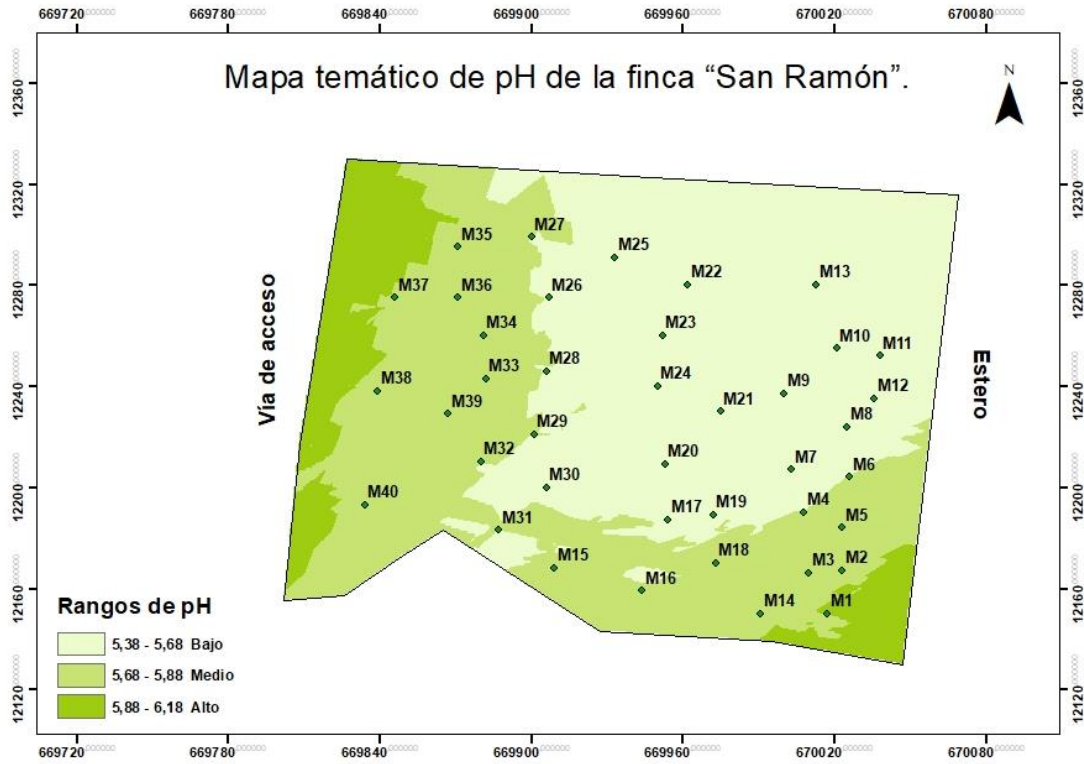


Figura 22. Mapa temático de variación de pH en la finca “San Ramón”.

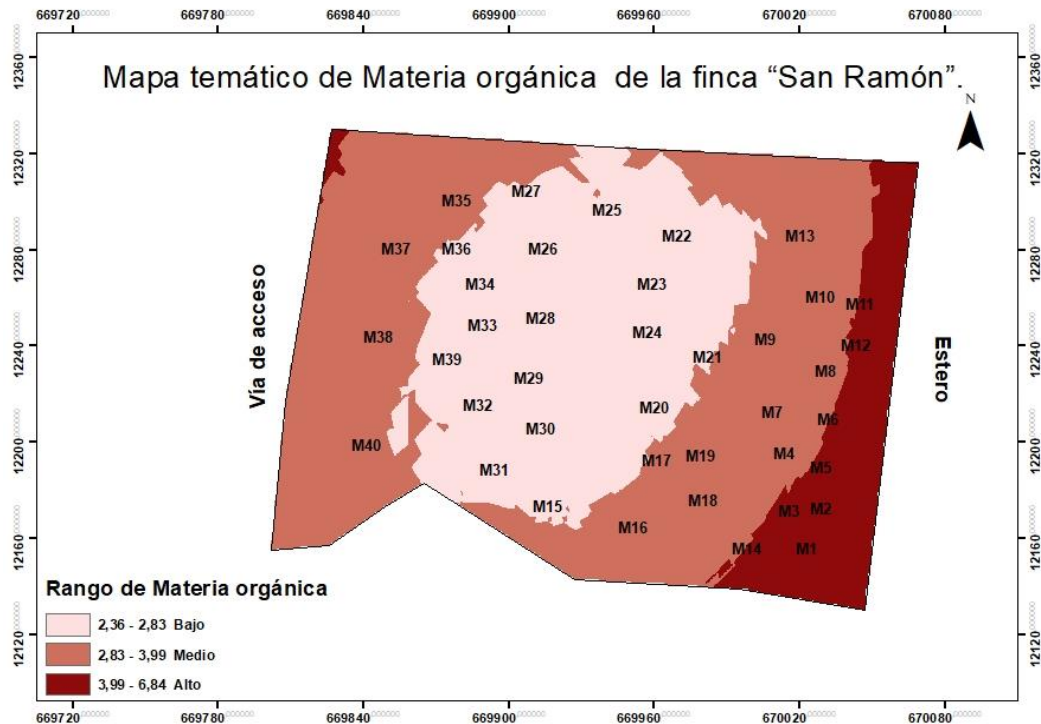


Figura 23. Mapa temático de variación de MO en la finca "San Ramón".

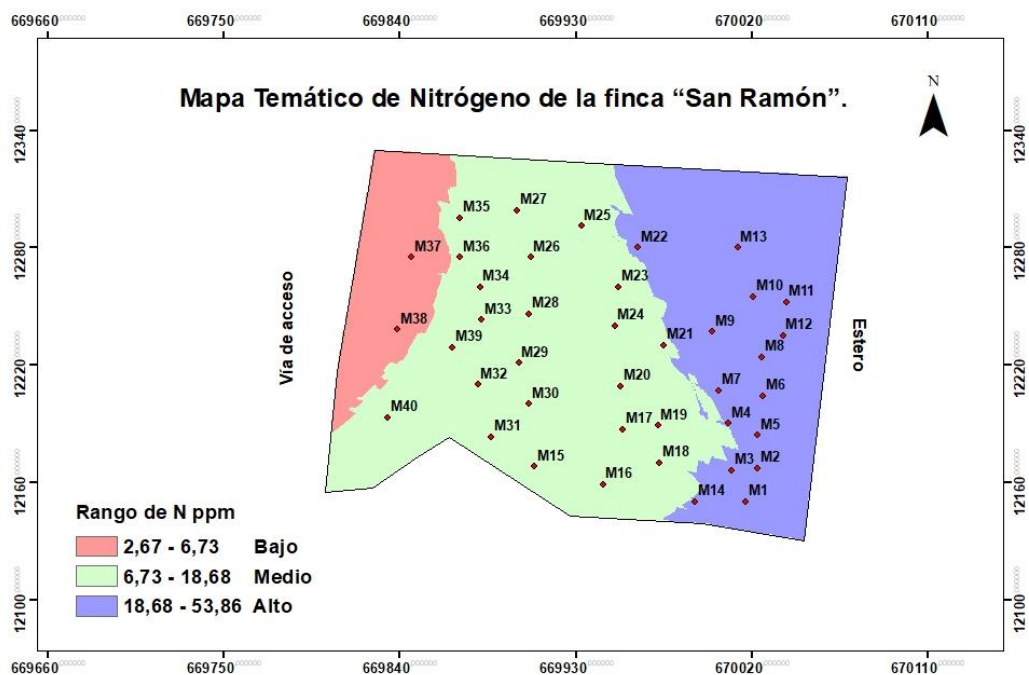


Figura 24. Mapa temático de variación de N en la finca "San Ramón".

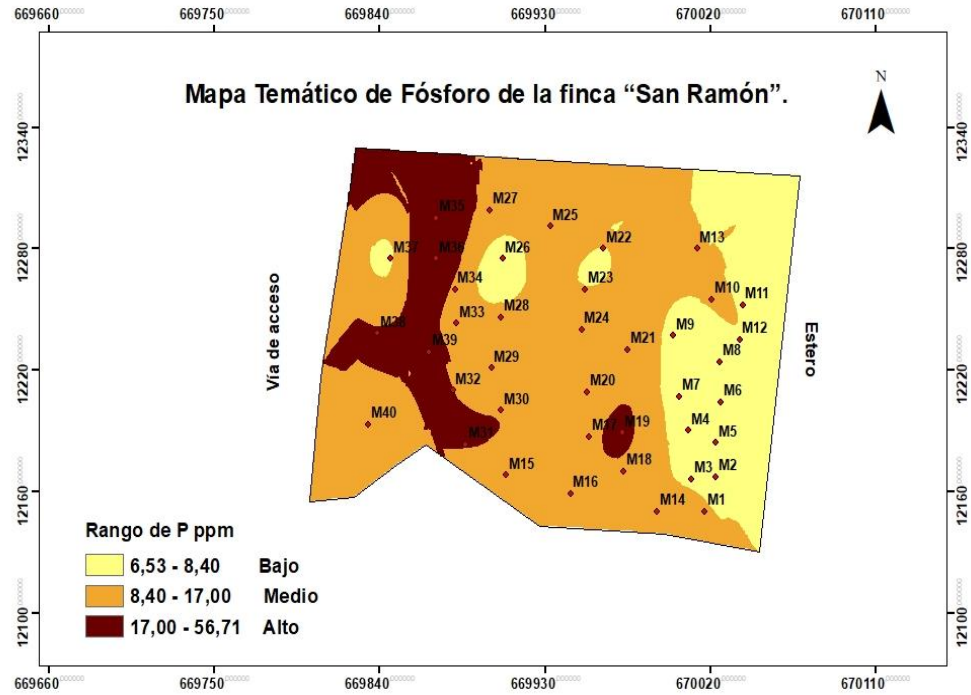


Figura 25. Mapa temático de variación de P en la finca "San Ramón".

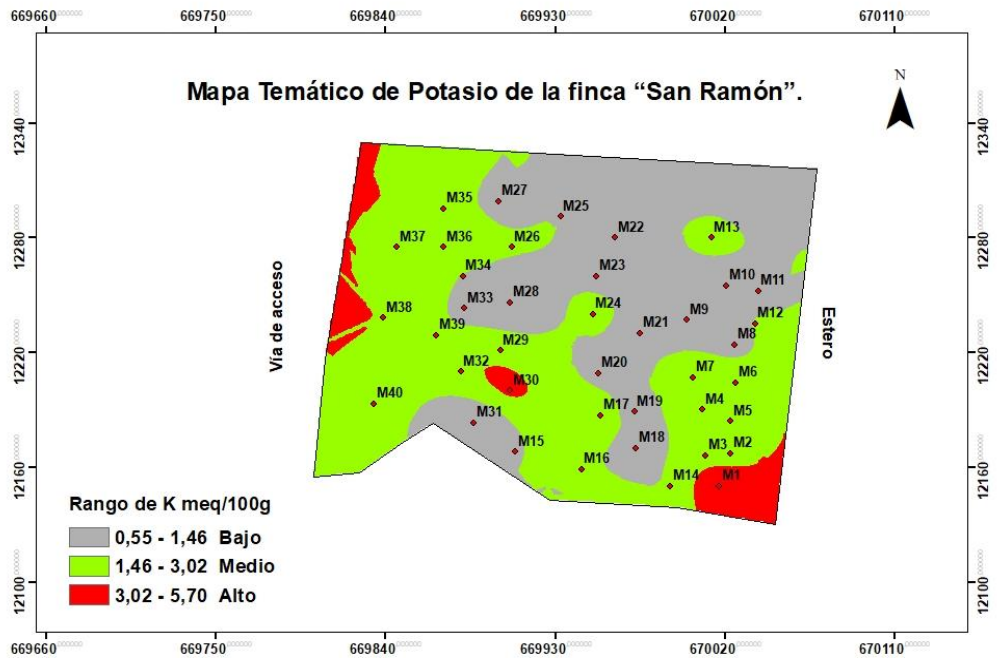


Figura 26. Mapa temático de variación de K en la finca "San Ramón".

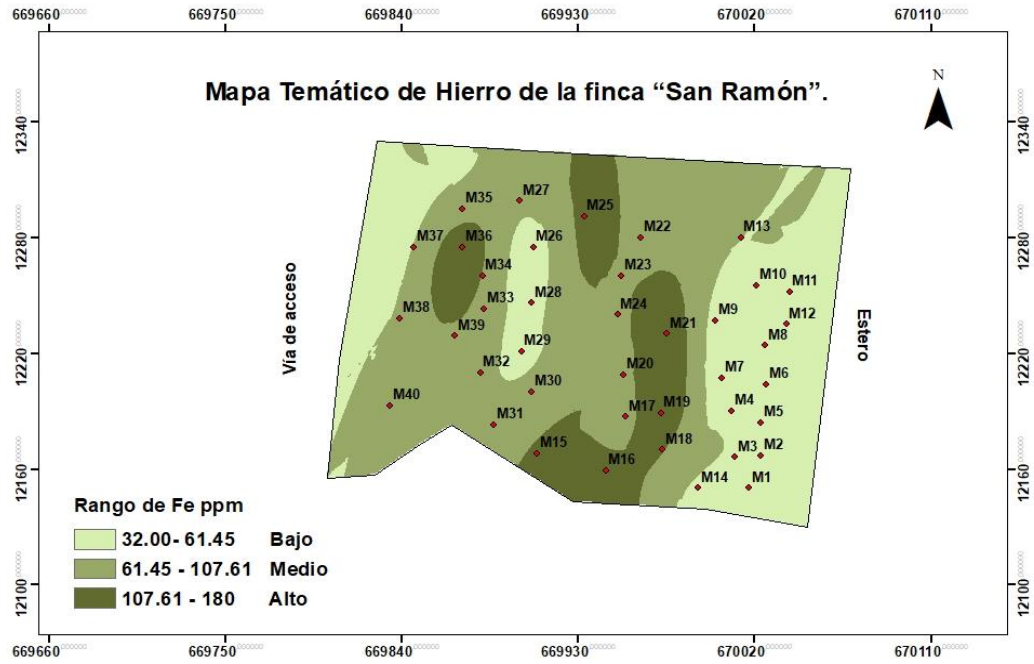


Figura 27. Mapa temático de variación de Fe en la finca "San Ramón".

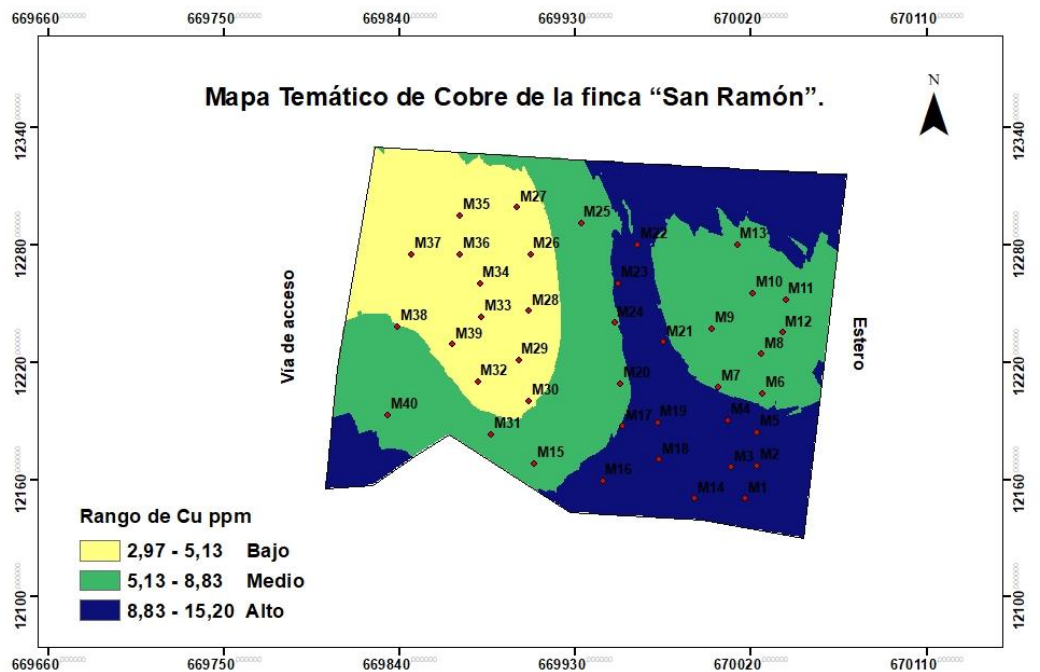


Figura 28. Mapa temático de variación de Cu en la finca "San Ramón".

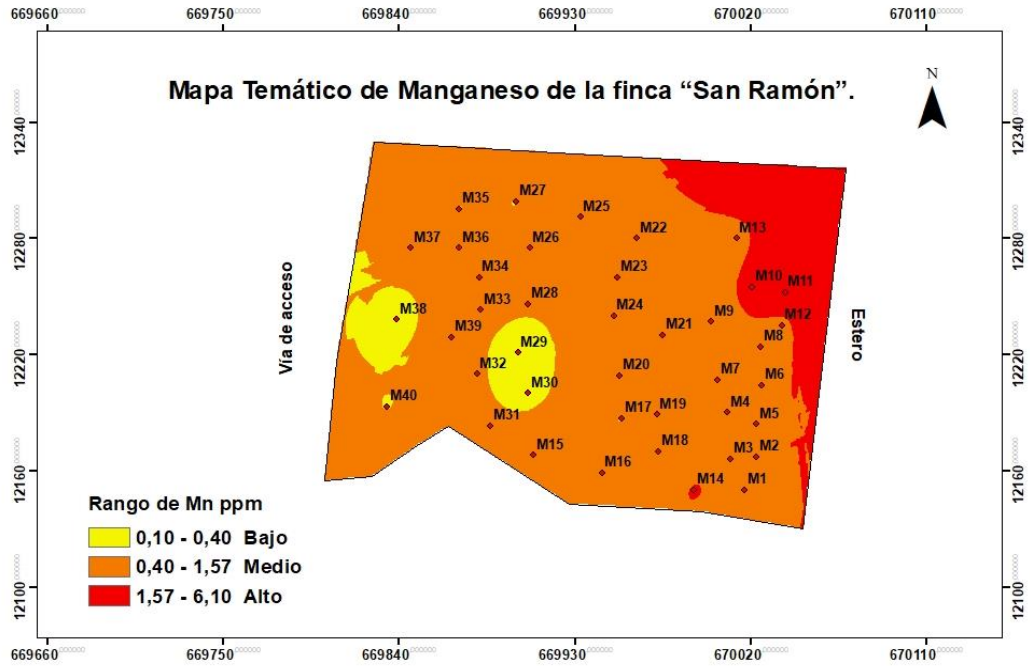


Figura 29. Mapa temático de variación de Mn en la finca "San Ramón".

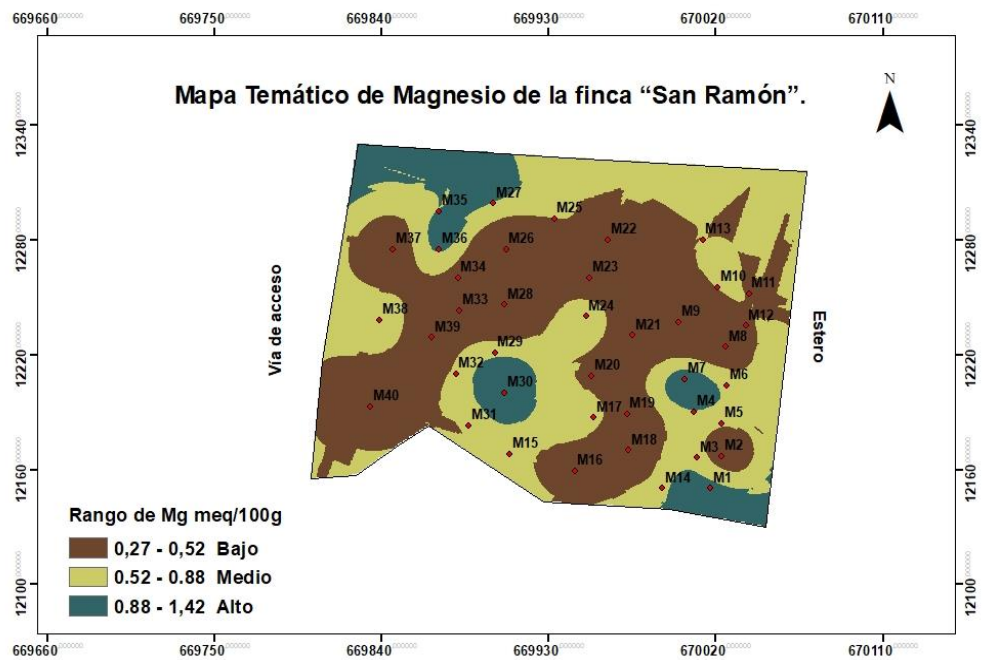


Figura 30. Mapa temático de variación de Mg en la finca "San Ramón".

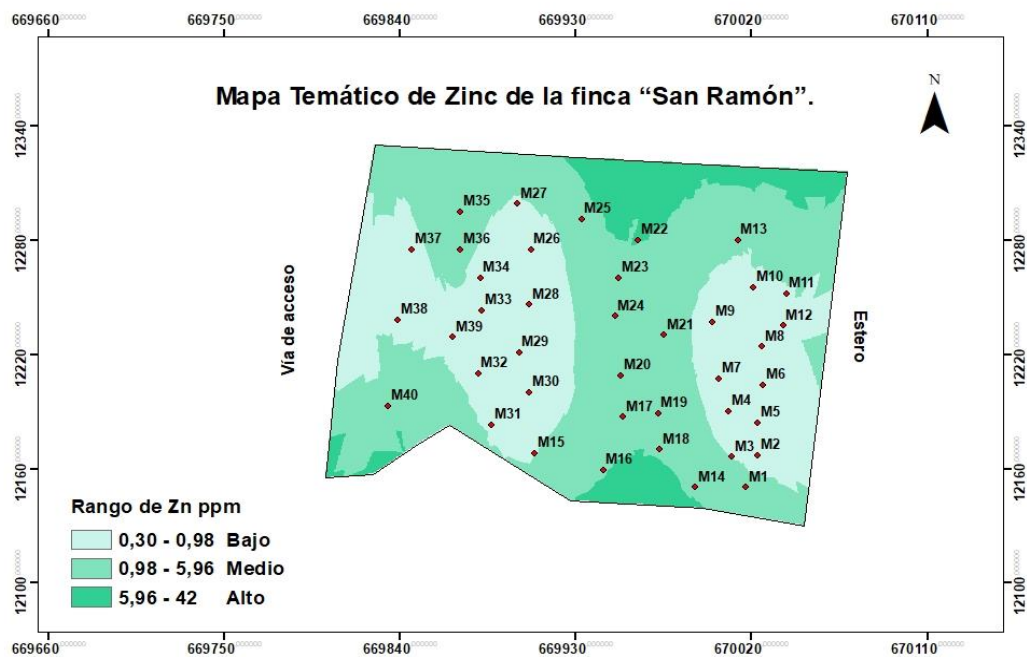


Figura 31. Mapa temático de variación de Zn en la finca "San Ramón".

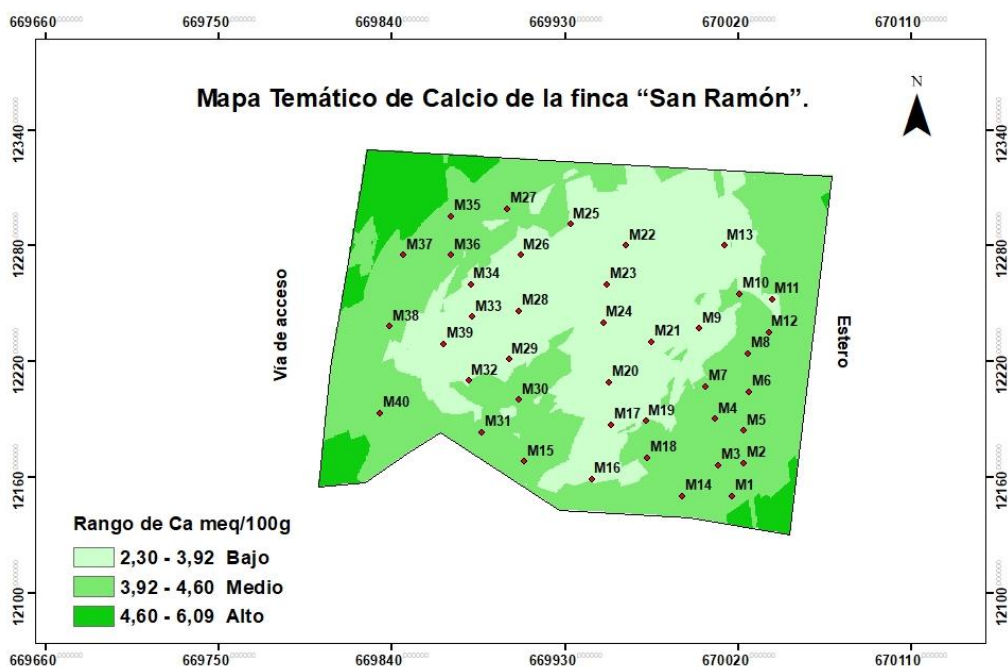


Figura 32. Mapa temático de variación de Ca en la finca "San Ramón".

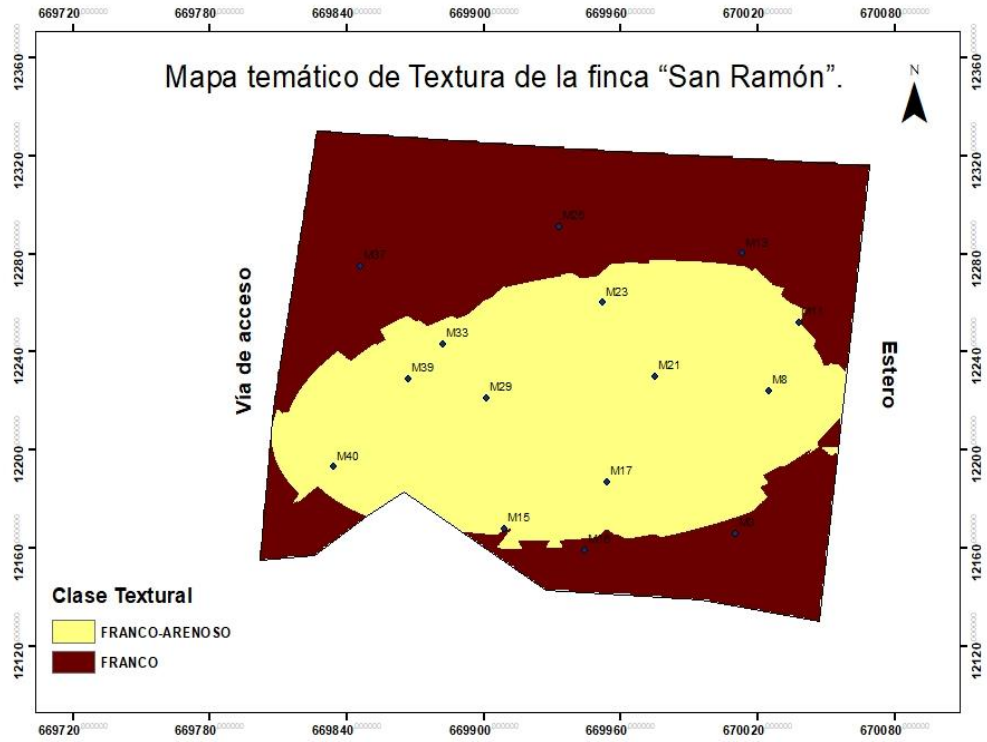


Figura 33. Mapa temático de variación de Textura en la finca "San Ramón".

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base a los resultados obtenidos en la investigación del presente proyecto técnico, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

De los resultados obtenidos se observó que los nutrientes N y P, se encuentran muy deficientes, Mg y Mn se encuentran al mismo nivel de los requerimientos nutricionales del Cacao Nacional EET-95. El K, Ca y Zn tienen un nivel adecuado para el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo. Los valores de pH oscilan en un máximo de 6.18 y un mínimo de 5.38 y el porcentaje de materia orgánica presenta un máximo de 5.38% y un mínimo de 1.76%. La clase textural se determinó suelo franco-arenoso y franco.

Los mapas temáticos de los Macronutrientes: N, P, K, Ca y Mg, micronutrientes: Fe, Cu, Mn y Zn, Materia orgánica y pH muestran de manera clara y concisa la distribución de los nutrimentos del suelo, por ende, permiten la generación de planes de fertilización que permitan el mejor aprovechamiento de la fertilización y la obtención de mayores rendimientos económicos para el productor.

Se recomienda aplicar esta metodología en fincas de grandes extensiones de terreno, debido a que permite la aplicación adecuada de la fertilización, porque toma en consideración la cantidad de nutrientes que tiene el suelo.

BIBLIOGRAFÍAS

- AGROCALIDAD. (2016).Manual de aplicabilidad de buenas practicas agricolas para el cacao. Quito: INTERCALIDAD .
- Arias, J.A. (2007). Suelos Tropicales. San Jose : Editorial Universidad Estatal a distancia.
- Calvache, M. (2013). Aplicaciones de las sondas Electromagnéticas y de Neutrones en la ingeniería agrícola. Quito: EDITORIAL UNIVERSITARIA.
- Calvache, M. (2013). Riego Andino Tecnificado. Quito: Editorial Universitaria.
- Campaña, A. (2009). Tipos de suelo en el Ecuador . Quito : EDAFOS.
- Cañada, R. (2010). Interpolacion espacial y visualizacion cartografica. Canada: Sevilla.
- Franquis, D. L. (12 de Marzo de 2012). CONFECCION DE MAPAS TEMATICOS PARA EVALUAR LA FERTILIDAD DEL SUELO EN LAS AREAS AGRICOLAS DEL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRICOLAS. Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de SCIELO: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362012000100002&script=sci_arttext&tIng=en
- García, A. G. (2000). El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Barcelona: Mundi-Prensa.
- Guerrero, G. (2009). El Cacao ecuatoriano y su historia . LIDERES, 23-24.
- INIAP. (02 de Febrero de 2010). INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. Recuperado el 26 de Noviembre de 2017, de INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS: <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/laboratorio-de-suelos-toma-de-muestras-para-analisis-de-suelo.pdf>

- Montenegro, A. (2003). Muestreo de suelos para análisis químico y recomendación de fertilización y enmiendas. Lima : CPA-D.
- Moreno, J. A. (2008). Sistema y análisis de la información geográfica . Mexico: Alfaomega.
- Navarro, B. S. (2000). El suelo y los elementos esenciales de la vida vegetal. Madrid: Mundi-Prensa.
- Puerta, R. (2011). ArcGIS Basico 10 . Lima: EsRI.
- Suquilanda, M. (29 de Octubre de 2008). Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/3.-Ing.-Manuel-Suquilanda.pdf>
- Suquilanda, M. (31 de Octubre de 2008). SECSUELO. Recuperado el 03 de Diciembre de 2017, de SECSUELO: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/3.-Ing.-Manuel-Suquilanda.pdf>
- Valdiviezo, M. B. (2017). Manejo Agroecológico de Suelos. Quito: Medios Públicos EP.
- Zavaleta, J. (23 de Septiembre de 2010). PRO-ARCGIS. Recuperado el 2017 de Diciembre de 05, de PRO-ARCGIS: <http://tikhonov.fcencias.unam.mx/presentaciones/2010sep23.pdf>