

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL SUELO EN PLANTACIONES
DE *Coffea arabica* (CAFÉ) EN EL FUNDO “DOMÍNGUEZ” –
PUEBLO LIBRE - 2021”

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

TELLO DOMINGUEZ, MERCY HILEN

Tingo Maria – Perú, 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María- Perú
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 111-2023-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 13 de setiembre de 2023, a horas 7:30 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL SUELO
EN PLANTACIONES DE *Coffea arábica* (café) EN EL FUNDO
“DOMINGUEZ” – PUEBLO LIBRE – 2021”**

Presentado por la Bachiller: **TELLO DOMINGUEZ MERCY HILEN**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “MUY BUENA”.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 15 de diciembre de 2023

Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ
PRESIDENTE

Ing. M.Sc. MARCO ANTONIO DUEÑAS TUESTA
MIEMBRO

Ing. M.Sc. SANDRO JUNIOR RUÍZ CASTRE
MIEMBRO



Dr. NELINO FLORIDA ROFNER
ASESOR



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 024 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL SUELO EN PLANTACIONES DE Coffea arabica (CAFÉ) EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" – PUEBLO LIBRE - 2021	TELLO DOMINGUEZ, MERCY HILEN	16 % Dieciséis

Tingo María, 22 de enero de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

[Firma]

Dr. Tomas Menacho Mallqui
DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL SUELO EN PLANTACIONES
DE *coffea arabica* (CAFÉ) EN EL FUNDO “DOMÍNGUEZ” –
PUEBLO LIBRE - 2021”

Autor	: Bach. Tello Dominguez, Mercy
Asesor(es)	Hilen : Dr. Florida Rofner, Nelino
Programa de investigación	: Gestión de cuencas hidrográficas
Línea de investigación	: Gestión y conservación del Recurso Suelo
Eje temático	: Sistema de Información espacial de la degradación del suelo
Lugar de ejecución	: Fundo Domínguez – Pueblo Libre.
Duración de programa	: 6 meses
Financiamiento	: S/.9 973.00
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: No

Tingo Maria – Perú, 2023



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE
Y TESISISTA**

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos generales

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad : FRNR-EPG-UNAS
Título de la tesis : Distribución espacial de la calidad del suelo en plantaciones de *coffea arabica* (café) en el fundo “Domínguez” – Pueblo Libre-2021.
Objetivo general : Determinar la distribución espacial de la calidad del suelo en plantaciones de *Coffea arabica* (café) en el fundo “Dominguez” – Pueblo Libre – 2021.
Autor : Bach. Tello Dominguez, Mercy Hilén
Asesor (es) : Dr. Florida Rofner, Nelino
Programa de investigación : Gestión de cuencas hidrográficas
Línea de investigación : Gestión y conservación del Recurso Suelo
Eje temático : Sistema de Información espacial de la degradación del suelo.
Lugar de ejecución : Fundo “Domínguez” – Pueblo Libre
Duración : Fecha de inicio : Julio 2022
: Fecha de término : Febrero 2023
Financiamiento : FEDU : S/. 0,00
: Propio : S/. 9 973.00
: Otros : S/. 0,00

Tingo María, Perú, Noviembre 2023.

.....
Bach. Mercy Hilén Tello Domínguez
Tesisista

.....
Dr. Nelino, Florida Rofner
Asesor

DEDICATORIA

A mi mamita Geovanna Domínguez, por apoyarme con sus consejos brindados desde que era muy pequeña, por ser mi motivo para hacer las cosas bien, por haber hecho todo lo posible para poder estudiar y ser una persona profesional, gracias mamita por ser la madre más valiente y decidida del mundo. También dedico esta tesis a la persona que no fue su deber cuidar de mí, pero lo hizo como si fuera una hija, Julián P. sé que estas muy feliz por los logros que obtengo y sé que hubieras estado muy orgulloso de mí, un abrazo hasta el cielo.

A mi hermana Jazmín T., por ser un ejemplo a seguir, ser como una segunda mamá para mí y apoyarme moralmente desde muy pequeña. Asimismo, a mi hermana Daliz L., por ser una persona que siempre cuida y está al pendiente de mí, por estar presente en cada logro obtenido y por exigirme en terminar la tesis.

A mis hermanos Yelsín y Yelson P., porque siempre me brindan su cariño, sus abrazos, y con sus ocurrencias hacen que mis días tristes sean felices, gracias porque son el motivo para hacer las cosas bien.

A Judith Bazán por ser como una tercera hermana para mí y por compartir aquellos momentos muy divertidos desde muy pequeñas hasta el momento. A Elisa Villar, Mariluz Ventura y Mery Blacido por ser unas amigas que siempre están presentes en mi día a día.

A mis amigos Alexander Mora y Jhon Ollero por el constante apoyo moral y académico que siempre me brindan.

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque con su misericordia y amor, me permite gozar de buena salud y por consiguiente disfrutar cada uno de mis logros que son gracias a la ayuda que me brinda, gracias por enseñarme a no rendirme y cada tropiezo que tengo siempre me sirve para mejorar como persona, por permitir estar cerca de mi mamá y mis hermanos en cada logro obtenido.

Al Ing. José Manuel Tapullima Chuquipiondo por el incondicional apoyo académico que siempre me brinda, por exigirme y ayudarme a terminar la tesis, por el apoyo y los consejos brindados en mi día a día durante todo este proceso, que Dios siempre lo bendiga.

Al Dr. Florida Rofner Nelino, por la enseñanza en la formulación del proyecto de tesis, asesoramiento brindado en la ejecución, redacción y sustentación de la misma.

A mi alma mater la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a la escuela profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, por las enseñanza y formación académica brindada, gracias a los docentes que participaron en todo este proceso, ya sea indirecta o directamente, gracias a sus enseñanza y aportes que siempre nos brindan.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivo específico	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Agricultura en el Perú	3
2.2. Café.....	3
2.2.1. Café en el mundo.....	3
2.2.2. Café en el Perú.....	4
2.2.3. Calidad de suelo para café	5
2.3. Calidad de suelo.....	5
2.3.1. Indicadores físicos	5
2.3.1.1. Textura de los suelos	6
2.3.1.2. Densidad aparente (Da).....	6
2.3.1.3. Resistencia mecánica de los suelos	7
2.3.2. Indicadores químicos	7
2.3.2.1. pH del suelo.....	7
2.3.2.2. Materia orgánica de los suelos (M.O.)	8
2.3.2.3. Nitrógeno disponible en el suelo.....	8
2.3.2.4. Fósforo disponible en los suelos	9
2.3.2.5. Potasio disponible en los suelos	9
2.3.2.6. Calcio intercambiable.....	10
2.3.2.7. Magnesio intercambiable	10
2.3.2.8. Capacidad intercambiable de cationes	11
2.3.3. Indicador de calidad de suelo	11
2.3.3.1. Método SUSS.....	12
2.3.3.2. Método Cantú.....	12
2.4. Distribución espacial.....	12
2.4.1. Variabilidad espacial de los suelos.....	12
2.4.2. Sistema de información geográfica (SIG)	13
2.4.3. Metodología de interpolación.....	14
2.4.3.1. Kriging	14
2.4.3.2. IDW.....	15
2.4.4. Análisis y representación de la dependencia espacial	15

2.4.4.1.	Nugget (Co).....	16
2.4.4.2.	Meseta o sill (Co + C)	16
2.4.4.3.	Variabilidad estructural (C).....	16
2.4.4.4.	Rango	16
2.5.	Antecedentes	17
2.5.1.	Antecedente internacional	17
2.5.2.	Antecedente nacional.....	19
2.5.3.	Antecedente local	20
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1.	Área de estudio	21
3.2.	Características del área en estudio	21
3.2.1.	Clima	21
3.2.2.	Suelos	22
3.2.3.	Accesibilidad	22
3.3.	Criterio y análisis de estudio.....	22
3.3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	22
3.3.2.	Diseño de la investigación.....	22
3.4.	Materiales y equipos	23
3.4.1.	Materiales y equipos de campo	23
3.4.2.	Materiales y reactivos de laboratorio.....	23
3.5.	Metodología	23
3.5.1.	Determinación de los indicadores físicas y químicas del suelo.....	23
3.5.1.1.	Muestreo de Suelo	23
3.5.1.2.	Determinación de las propiedades físicas	23
3.5.1.3.	Determinación de las propiedades químicas	24
3.5.1.4.	Análisis estadístico de propiedades físicas y químicas	24
3.5.2.	Determinación de la calidad de suelo (metodología propuesta por Cantú y Sagarpa) 25	
3.5.2.1.	Análisis de componentes principales (ACP).....	25
3.5.2.2.	Determinación de Índice de Calidad de Suelo	25
3.5.2.3.	Índice de calidad de suelo propuesto por Cantú (2007).....	27
3.5.2.4.	Índice de calidad de suelo propuesto por Sagarpa (2012).....	28
3.5.3.	Distribución espacial de calidad de suelo a través del método Kriging	28
3.5.3.1.	Análisis exploratorio de datos	28
3.5.3.2.	Análisis estructural (calculo y modelado de superficie)	28

3.5.3.3.	Validación cruzada y predicción de superficie.	30
3.5.4.	Análisis estadístico de correlación entre los indicadores de calidad de suelo	31
3.5.4.1.	Coeficiente de correlación.....	31
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1.	Determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo	32
4.2.	Calidad del suelo mediante la metodología de Cantú y Sagarpa.	36
4.2.1.	Análisis de componentes principales.....	36
4.2.1.1.	Varianza total explicada	36
4.2.1.2.	Matriz de componentes e indicadores relevantes	38
4.2.2.	Calidad del suelo	39
4.3.	Distribución espacial de la calidad del suelo a través del método Kriging	42
4.3.1.	Análisis exploratorio de datos	42
4.3.2.	Análisis estructural (calculo y modelado de superficie).....	43
4.3.2.1.	Modelado de semivariograma en el Kriging	43
4.3.3.	Validación cruzada y predicción de superficie.....	45
4.3.3.1.	Validación cruzada.....	45
4.3.3.2.	Predicción de superficie	46
4.4.	Análisis Estadístico de Correlación	51
V.	CONCLUSIONES	54
VI.	PROPUESTAS A FUTURO	56
VII.	REFERENCIAS	57
VIII.	ANEXOS	67
8.1.	Semivariograma del análisis geoestadístico	67
8.2.	Valores de predicción obtenidos en el Kriging.....	73
8.3.	Mapas de distribución espacial de las variables evaluadas.....	78
8.4.	Datos de análisis de laboratorio obtenido	793
8.5.	Fotografías de campo.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Clasificación de la densidad aparente en los suelos	6
2. Clasificación de la acidez del suelo	8
3. Clasificación de la materia orgánica.....	8
4. Clasificación del nitrógeno	9
5. Clasificación del fósforo disponible	9
6. Clasificación del potasio disponible	10
7. Clasificación del calcio intercambiable	10
8. Clasificación del magnesio	11
9. Rango de clasificación de la capacidad de intercambio catiónico.....	11
10. Rangos Interpretativos de pendiente.....	22
11. Coordenadas UTM, WGS84, Zona 18S de puntos muestreados.....	24
12. Rangos interpretativos de coeficiente de variación.	25
13. Carga factorial según la dimensión de la muestra	25
14. Variables evaluadas para el índice de calidad de suelo	27
15. Rangos interpretativos ICS	27
16. Rangos interpretativos de ICS	28
17. Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson	31
18. Descripción estadística de los indicadores físicas y químicas.....	32
19. Varianza total explicada por el ACP	37
20. Matriz de componentes e indicadores relevantes	38
21. Resultados de índice de calidad de suelo para café de 2 años.	40
22. Resultados de índice de calidad de suelo para café de 6 años.	41
23. Análisis exploratorio de datos	42
24. Análisis estructural para el semivariograma.....	43
25. Errores y eficiencia de predicción.	45
26. Rango interpretativo para MO.....	46
27. Rango interpretativo para el pH.....	46
28. Rango interpretativo para el magnesio	47
29. Rango interpretativo para el calcio.....	47
30. Rango interpretativo para el nitrógeno	48
31. Rango interpretativo para saturación de bases	48
32. Rango interpretativo para saturación de aluminio.....	48

33. Rango interpretativo para ácidos cambiables	49
34. Rango interpretativo de aluminio	49
35. Rango interpretativo de la arena.	49
36. Rango Interpretativo de arcilla.	50
37. Rango interpretativo de limo.	50
38. Rango interpretativo de pendiente	50
39. Índice de calidad de suelo.....	51
40. Análisis de correlación entre las variables usados para indicador de calidad de suelo.	52
41. Valores de predicción obtenido de Kriging para materia orgánica y nitrógeno	73
42. Valores de predicción del magnesio y pH	74
43. Valores de predicción del calcio y saturación bases.....	75
44. Valores de predicción del aluminio y ácidos cambiables.....	76
45. Valores de predicción de saturación de aluminio y arena	77
46. Valores de predicción obtenidos del Kriging para arcilla y limo	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación del área en estudio	21
2. Estructura de un semivariograma típico (Johnston et al., 2001)	29
3. Gráfico de Sedimentación	37
4. Semivariograma obtenido de materia orgánica	67
5. Semivariograma obtenido del pH	67
6. Semivariograma obtenido del magnesio.....	68
7. Semivariograma obtenido del calcio	68
8. Semivariograma obtenido del nitrógeno.....	69
9. Semivariograma obtenido de la saturación de bases	69
10. Semivariograma obtenido de saturación de aluminio.....	70
11. Semivariograma obtenido de ácidos cambiables.....	70
12. Semivariograma obtenido de aluminio.....	71
13. Semivariograma obtenido de arena	71
14. Semivariograma obtenido de arcilla	72
15. Semivariograma obtenido de limo.....	72
16 y 17. Toma de coordenadas	95
18 y 19. Muestreo de Suelo	95
20 y 21. Embolsado de Suelo	96
22 y 23. Muestreo de Suelo para Densidad Aparente.....	96

RESUMEN

El país se caracteriza por suelos heterogéneos porque sus propiedades varían considerablemente en áreas pequeñas, entonces evaluar la calidad de suelo es esencial. Por ello se evaluó la distribución espacial de la calidad del suelo en plantaciones de *Coffea arabica* (café) en el fundo “Domínguez” – Pueblo Libre – 2021. La metodología utilizada fue no experimental, por lo que se evaluó las propiedades físicos y químicos ajustándose a un análisis geoestadístico a través del interpolador Kriging para la distribución espacial de calidad de suelo. Los resultados muestran coeficientes de variación (CV) muy bajo para pH y Da; bajo para arena, arcilla, limo, MO, N, CIC y SB; media para K, Ca y Mg; y muy alto para P, Al, AC y Sal. El ACP encontró relevancia estadística para %SAI, SB, AC, Al, Ca, Ph, Mg, N, MO, arena, arcilla y limo. A través del análisis geoestadístico la calidad del suelo varía entre muy baja calidad a baja calidad (café seis años) y de moderada calidad a alta calidad (café de 2 años) con una distribución espacial de 11,51%, 14,79%, 31,78%, 41,92% respectivamente. Los modelos con mejores ajustes son el exponencial, esférico y estable con dependencia espacial que fluctúa de bajo a medio, con eficiencia de predicción cercanos a 100, señalando que la estructura espacial no es pobre. Se concluye, que la distribución espacial de la calidad de suelo obtenido atribuye a realizar investigaciones (aplicación de fertilizantes) en el área estudiada ya que los mapas presentados muestran eficiencia de predicción cercanos a 100.

Palabra clave: propiedades físicos y químicos, calidad de suelo, geoestadística, Kriging.

ABSTRACT

The country [of Peru] is characterized by its heterogenous soil, because the properties vary considerably within small areas; thus, evaluating the soil quality is essential. In order to do this, the spatial distribution of the soil quality for *Coffea arabica* (coffee) plantations on the “Dominguez” farm in Pueblo Libre during 2021 was evaluated. The methodology that was used was non-experimental, due to the fact that the physical and chemical properties were evaluated, fitting a geostatistical analysis, using a Kriging interpolator for the spatial distribution of the soil quality. The results revealed very low coefficients of variation (CV) for pH and Da; low for sand, clay, loam, OM (MO in Spanish), N, CEC (CIC in Spanish), and SB; average for K, Ca, and Mg; and very high for P, Al, AC, and Sal. With the ACP, statistical relevance was found for %SAI, SB, AC, Al, Ca, Ph, Mg, N, OM, sand, clay, and loam. Through the geostatistical analysis, the soil quality varied between very low quality and low quality (six year [old] coffee) and moderate quality to high quality (two-year-old coffee); with a spatial distribution of 11.51%, 14.79%, 31.78%, and 41.92%, respectively. The models with the best fit were the exponential, spherical, and stable models with a spatial dependence that fluctuated between low and average; with a prediction efficiency close to 100, pointing to the fact that the spatial structure was not poor. It was concluded that the spatial distribution of the soil quality that was obtained attributed a [need] to do research (fertilizer application) in the area studied, since the maps that were presented revealed a prediction efficiency of close to 100.

Keywords: physical and chemical properties, soil quality, geostatistics, Kriging

I. INTRODUCCIÓN

Nuestro país se caracteriza por tener una estructura agrícola heterogénea y de alta complejidad, cuya función general de desempeño depende no solo de las características de la zona de producción, sino también de las diversas cadenas productivas y de valor involucradas; teniendo en cuenta los múltiples factores que intervienen en los rendimientos específicos, (Castillo, 2021). Por lo tanto, la calidad del suelo está relacionada con la capacidad de brindar condiciones para un buen desarrollo de los ecosistemas (Idowu et al., 2009; Bone et al., 2014; Balota et al., 2015), así como para diferentes rangos productivos. Ante ello la utilización de Sistema de Información Geográfica - SIG emplea herramientas geoestadísticas para poder analizar diferentes variables a través de diferentes métodos de interpolación como son el de Ponderación de distancia inversa - IDW, Kriging Simple u Ordinario, asimismo determinar diversas aproximaciones en puntos no muestreados y gracias a ello realizar una buena toma de decisiones.

El Perú es uno de los países productores de café más importantes, especialmente de la variedad arábica, brindando una perfecta composición de aroma y sabor, ocupando el segundo lugar en productor de café orgánico del mundo después de México. Crece en altitudes entre 600 y 2 000 m.s.n.m. y se cultivan unas 425 000 ha, de la cual dependen más de 2 000 000 de peruanos, (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - MIDAGRI, 2021). De igual forma, representa la primera economía de rendimientos tradicionales de exportación, para el 2020 es de 6 485 000 dólares (Banco Central de Reserva del Perú - BCRP, 2021) y (Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria - SUNAT, 2021b).

(MIDAGRI, 2020 b) indica que en el Perú se cultiva café en 15 regiones, 95 provincias y 450 distritos, con 454 400 ha, dedicadas al cultivo del café, lo que representa el 6 % de las tierras agrícolas nacionales y el 25 % de la Amazonía con cafetales establecidos. Concentración del 91% del total de productores y áreas cultivadas en las regiones de San Martín, Junín, Amazonas, Cajamarca, Huánuco, Cusco y Pasco. También señaló que el 80% de la producción nacional de café es tradicional y se cultiva café orgánico en solo 124 132 ha.

El fundo “Domínguez” maneja un aproximado de 3,65 ha de *Coffea arabica* de los cuales 1 ha tiene 6 años de edad y el restante tiene 2 años de edad, en donde el café de 6 años presenta un suelo con deficiencias nutricionales los cuales son evidenciados en los resultados de laboratorio obtenidos, es por ello que se determinará el índice de calidad de suelo usando el método propuesto por Cantú y Sagarpa, asimismo el suelo es una mezcla de propiedades físicas y químicas muy complejas que no se puede medir directamente ante ello existen diferentes técnicas de interpolación que facilita determinar distribuciones espaciales en lugares no

muestreados. Ante esta problemática, el estudio propone la siguiente pregunta ¿Cuál es la Distribución espacial de la calidad del suelo en plantaciones de *Coffea arabica* en el fundo “Domínguez” - Pueblo Libre 2021?

El trabajo se justifica realizando la distribución espacial de calidad de suelo a través del Sistema de Información Geográfica - SIG, con los análisis geoestadísticos respectivos, aplicando técnicas de interpolación como el Kriging Simple y Ordinario ya que es un método geoestadístico y no determinístico que nos ayuda a determinar diversas aproximaciones en lugares no muestreados.

En tal sentido la investigación logró constatar la hipótesis “que sí existe variabilidad espacial de indicador de calidad de suelo en plantaciones de *coffea arabica* (café) en el fundo “Domínguez” - Pueblo Libre 2021”. Es por ello que trabajamos con los siguientes objetivos.

1.1. Objetivo general

Determinar la distribución espacial de la calidad del suelo en plantaciones de *Coffea arabica* (café) en el fundo “Domínguez” - Pueblo Libre 2021.

1.2. Objetivo específico

- Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Determinar la calidad del suelo mediante la metodología del Cantú y Sagarpa.
- Determinar la distribución espacial de la calidad del suelo a través de interpolaciones con Kriging Simple y Ordinario.
- Realizar un análisis estadístico de correlación entre los indicadores de calidad de suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Agricultura en el Perú

En el campo agrario, las consecuencias por el aumento de precio de insumos agrícolas, especialmente el caso de la urea que incrementó en 44% en su precio internacional, al ser este un fertilizante principal en la agricultura, los impactos no se hacen esperar. Esta situación desfavorable perjudica a toda la agricultura del país, ya que la mayoría de los productores se dedican a más de un cultivo a la vez. Algunas líneas de cultivo dependen en gran medida de la fertilización es por ello que a medida que tiende a elevarse el precio de fertilizante, los costos de producción incrementan o, por el contrario, los rendimientos tienden a disminuir si no se utilizan (Pintado, 2022).

A pesar del impacto del covid-19 y cambio provocado por el alza de los precios de los recursos agrícolas, el grupo agropecuario creció un 3,5% entre enero y julio del año 2022 con respecto a lo señalado en el mismo período del año 2021 (MIDAGRI, 2022). Durante el espacio Food & Service, 2022 considerada la plataforma más importante de la industria de alimentos en Chile, productores de café y cacao de seis regiones del Perú recibieron US\$ 860 000 en oportunidades de negocios (Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERÚ, 2022). Asimismo, gracias a la calidad, variedad y competitividad de sus productos, la delegación peruana realizó 98 reuniones de negocios con clientes VIP que participaron en eventos de benchmarking de la industria chilena de alimentos y hotelería.

2.2. Café

En plantaciones de café al igual que otro producto de agricultura, las limitantes biológicas y no biológicas no solo determinan las áreas aptas para el cultivo, sino que ayudan a elevar el precio de productividad, por esa razón se debe aplicar medidas de control y manejo para evitarlas. Producir variedades que sean genéticamente resistentes a uno o más de estos factores limitantes es una aspiración de casi todos los programas de mejora genética (Cortina, et al., 2013).

2.2.1. Café en el mundo

Se divide en dos grandes grupos de producción los cuales son el arábico y robusto. El arábico, tiene diversas variedades entre ellos tenemos la Caturra, Blue Mountain, Typaca, Geisha, Bourbon, entre otros. Asimismo, la productividad en donde sobresale el café arábico es la región de América Latina. No obstante, Asia es la región en donde sobresale el café robusto, destacando con las variedades de Niaoulli, Comilón, Uganda y Kouillou.

Al terminar el año 2020/2021, la productividad internacional de café subió a 176 000 000 de sacos de 60 kg. A diferencia del año cafetero 2019/2020, el porcentaje de

aumento de la producción internacional era el 4.1% (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos - USDA, 2021). Según (USDA 2021a), la productividad del mundo cafetal del grupo Robusta al cierre del año cafetero 2020/2021 fue de 74 000 000 de sacos de 60 kg, representando una caída mínima de 0,1%, en relación al año 2020.

Brasil, que produce el 39,7% de la producción internacional de café, aumentó la producción de café en un 15,5% de 60 500 000 sacos de 60 kg a 69 900 000 sacos de 60 kg. No obstante, la productividad de café en Vietnam cayó un 7.3% de 31 300 000 sacos de 60 kg a 29 000 000 sacos de 60 kg. En Brasil y Vietnam el año cafetero también termina en junio y septiembre respectivamente.

En términos de productividad, Brasil y Vietnam tienen los rendimientos en hectáreas más altos del mundo. Así, la producción de café arábica brasileño en 2019/2020 es de 28 sacos anuales de 60 kg por hectárea. Vietnam ocupa el segundo lugar con 25 sacos anuales de 60 kg por hectárea de café Arábica. Sin embargo, en café robusta, Vietnam ocupa el primer lugar en producción con 44 sacos anuales de 60 kg por hectárea. Asimismo, Brasil ocupa el segundo lugar, con 40 sacos anuales de 60 kg por hectárea (International Trade Center - ITC, 2021).

2.2.2. Café en el Perú

El café pertenece a la categoría de cultivos perennes con un período de vegetación de hasta doce meses y un período de cosecha de varios años. Por otro lado, el costo de establecer un cultivo a largo plazo es elevado a diferencia de los cultivos temporales, debido a que los cafetos sembrados se producen en varios procesos productivos, se estima que es un activo estable. Por ello los agricultores plantan el cafeto en el primer año y trabajan para mantenerlo mientras evitan daños por condiciones climáticas adversas. Es por ello que después del comienzo del tercer año, los cultivos de café comienzan a producir granos de café por lo que los agricultores deciden cosechar el producto (Sachs et al., 2019).

En los primeros seis meses del año 2021, la productividad del grano de café en la selva norte y sur se redujo en 4,7% y 10,7%, respectivamente, en comparación con el año 2020. Consecuentemente a ello en el año 2020 las limitaciones permanentes por el Covid-19 redujeron la mano de obra, dejando inconclusas labores productivas esenciales como deshierbe, poda, fertilización, etc. y medidas de control de plagas. A nivel nacional, la producción de café cayó 12,3% interanual en el primer trimestre, pero en el segundo trimestre, cuando la productividad de café alcanzó su punto máximo, la tasa de variación fue de 1,8% interanual (MIDAGRI, 2022).

La presencia del café peruano en este mercado es cada vez mayor. Los envíos en el primer semestre del año superaron los \$2 millones, un 80% más que el año anterior. Por otro lado, en los últimos 5 años, Perú se ha posicionado como el primer proveedor de cacao en grano a Chile, lo que se refleja en la presencia de chocolaterías que enfatizan el origen de los productos peruanos (PROMPERÚ, 2022).

2.2.3. Calidad de suelo para café

El manejo de los cultivos agrícolas depende del plan de fertilización en términos de distribución de plantas, periodo de crecimiento (Sadeghian, 2012 y González, 2014), grado de sombra en sistemas agroforestales (Farfán, 2014 y Jaramillo, 2009), así como la forma del sistema productivo tradicional, tecnificado, con sombra y semisombra (Arcila et al., 2007), asimismo estas perspectivas dependen de los estados de la agroecología agrupadas en el ecosistema (Gómez et al., 1991).

La calidad del suelo, así como en otros cultivos, aporta en la preparación de la producción de café, considerando un crecimiento elevado, basándose en los indicadores físicos y químicos del suelo, de esta forma favorece a los agricultores que se dedican al cultivo de café en la Selva Central del Perú; asimismo, permite tener una base sólida para posibles efectos desfavorables climáticos o fitosanitarios que afectan y por consiguiente disminuyen los niveles de productividad. Es la calidad del suelo la que aporta a una buena productividad, la cual reduce efectos desfavorables de los factores planta y clima.

2.3. Calidad de suelo

Para estimar la calidad del suelo a través de un indicador, por lo común se inicia de un grupo reducido de valores (Chen et al., 2013) que forman los indicadores físicos, químicos y biológicos mostrando su ideal funcionamiento y situación (Rezaei et al., 2006). Estos grupos de valores son optados por su capacidad para asegurar el buen funcionamiento (Andrews et al., 2004) del ecosistema (Velásquez et al., 2007), o como advertencia al suelo (Morvan et al., 2008). Conforme a los indicadores escogidas, se desarrollan a través de un proceso de estandarización y calificación para su inclusión en el valor del índice de calidad del suelo, explicando el estado actual del recurso suelo acorde con las diferentes prácticas de manejo que se aplican en ella (Andrews et al., 2002; 2004; Idowu et al., 2009; Paz-Kagan et al., 2014a, 2014b).

2.3.1. Indicadores físicos

Estos son causantes del traslado del agua, aire, sustancias solubles y calor, en el suelo, que pueden degradarse con los diferentes tipos de plantaciones. De igual manera reduce la permeabilidad del suelo, la erosión y escorrentía (Sánchez, 1989).

2.3.1.1. Textura de los suelos

Hace referencia a las proporciones referentes de arena (A), limo (Li) y arcilla (A) presentes en el recurso suelo. Estas características hacen referencia a fragmentos o partículas cuyo diámetro son menores a 2 mm. La utilidad de comprender la clase de textura o textura, a la que forma parte un suelo es debido a que permite derivar de manera próxima a las propiedades comunes del suelo y permite adecuar los métodos de manejo requeridos (cultivo, riego, fertilización). Igualmente se puede utilizar para valorar y tasar terrenos por facilidad de uso (Henríquez y Cabalceta, 1999)

2.3.1.2. Densidad aparente (Da)

Depende de comprender el estado físico del suelo porque se realizan diferentes tipos de cambios por el actuar de factores externos e internos, dentro de ello tenemos la dispersión de partículas y compactación, asimismo la densidad aparente evidencia el comportamiento dinámico de la porosidad y la estructura (Foth, 1987). Asimismo, es la relación entre la masa seca al horno (Pss) de las partículas del suelo y su volumen total (Vt), incluido la porosidad ocupada, (Forsythe, 1980). Es expresado por la siguiente ecuación:

$$Da = Pss / Vt \text{ (g/cm}^3 \text{)}$$

En la **tabla 1** se muestra la escala de clasificación para la densidad aparente propuesto por (Sagarpa, 2012).

Tabla 1. Clasificación de la densidad aparente en los suelos

Textura	Ideal (g cm-3)	Aceptable (g cm-3)	Puede afectar el crecimiento radicular (g cm-3)	Restringe el crecimiento radicular (gcm-3)
Arena, areno - franco	Dap < 1,6	1,6 ≤ Dap <1,69	1,69≤ Dap <1,8	Dap >1,80
Franco - arenosa, franco	Dap < 1,4	1,4 ≤ Dap <1,63	1,63≤ Dap <1,8	Dap >1,80
Franco-arcilla-arenosa, franco-arcillosa	Dap < 1,4	1,4 ≤ Dap <1,6	1,6≤ Dap <1,75	Dap >1,75
Limosa	Dap < 1,3	1,3 ≤ Dap <1,6	1,6≤ Dap <1,75	Dap >1,75
Franco - limosa, franco - arcillo - limosa	Dap < 1,4	1,4 ≤ Dap <1,55	1,55≤ Dap <1,65	Dap >1,65
Arcillo - arenosa, arcillo - limosa	Dap < 1,1	1,1 ≤ Dap <1,39	1,39≤ Dap <1,58	Dap >1,58
Arcillosa (>45% arcilla)	Dap < 1,1	1,1 ≤ Dap <1,39	1,39≤ Dap <1,47	Dap >1,47

Fuente: Sagarpa (2012)

2.3.1.3. Resistencia mecánica de los suelos

La resistencia mecánica es proporcionada por la fuerza con la que el suelo se opone a la impregnación de objetos cortantes. La resistencia mecánica está expresado en kg/cm^2 . Las actividades de agricultura como la labranza, instalación de sistemas de riego y drenaje, y la cosecha mecanizada son estrechamente relacionados entre sí con los indicadores físicoquímicas del suelo, y como se explica en el uso intensivo del suelo, estas deben ser debidamente controladas (Cairo, 1995).

La corteza terrestre muestra resistencia a los cambios tanto en compresión volumétrica al igual que a la formación lineal. Para un volumen de humedad determinado, el límite elástico de ambos tipos generalmente aumenta con el volumen y la densidad aparente. Así como se agrega el contenido de agua, los suelos se vuelven más deformables y los suelos húmedos se vuelven más compactos (Porta et al., 1999). Según Gliski y Lipie (1990), la compresión se precisa a aquel aumento de la densidad aparente del suelo, envoltura más apretada de partículas, porosidad reducida especialmente con respecto a los macroporos.

2.3.2. Indicadores químicos

Las propiedades químicas son muy importantes, ya que está involucrada en la nutrición de las plantas, a continuación, se describe algunos de ellos:

2.3.2.1. pH del suelo

Mide la acidez o alcalinidad, generalmente es considerado un indicador muy fundamental porque tiende a correlacionarse con otros indicadores. Una alta concentración de iones H^+ se denomina relación ácida, y una preponderancia de iones OH^- se denomina relación alcalina. Esta relación es neutra siempre y cuando la concentración de iones H^+ es igual a la de iones OH^- (Enríquez y Cabalceta, 1999). El rango de pH del es de 1 a 14 pH. El suelo óptimo para la agricultura es 5,5-6,5 pH. Los bosques se pueden utilizar a pH 3-8. Algunas plantas no pueden tolerar un ambiente salado. Valores de pH superiores a ocho como por ejemplo los cítricos no soportan el ambiente salado, a diferencia de las palmeras de los cocos que si soportan (Watler y Thompson, 2002).

Tabla 2. Clasificación de la acidez del suelo

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	pH < 5,0
Moderadamente ácido	5,0 ≤ pH <6,5
Neutro	6,5 ≤ pH <7,3
Medianamente alcalino	7,3 ≤ pH <8,5
Fuertemente alcalino	pH ≥ 8,5

Fuente: Sagarpa (2012)

2.3.2.2. Materia orgánica de los suelos (M.O.)

Según las recomendaciones de la Soil Science of América, esta se determina como: "La fracción orgánica del suelo, incluidos los restos de plantas y animales en diversos grados de descomposición, los tejidos y células de los organismos que habitan en el suelo y las sustancias producidas por los organismos del suelo" (Fasbender et al.,1987). Asimismo, la materia orgánica en el suelo tiene diferentes tipos de funciones fundamentales, estos ayudan en la unión de partículas finas en unidades estructurales (agregados del suelo) y promoviendo la infiltración e aireación del suelo, promueve la migración descendente de agua y ácidos orgánicos. Además, los productos en estado de disgregación de la materia orgánica en el suelo disuelven el fósforo y otros nutrientes del suelo, haciéndolos disponibles para su absorción por los cultivos (FAO, 1986).

En la **Tabla 3** se muestra las 4 clasificaciones de materia orgánica propuesto por (Sagarpa, 2012).

Tabla 3. Clasificación de la materia orgánica

Rango (%)	Clasificación
MO < 0,5	Muy Bajo
0,5 ≤ MO < 1,5	Bajo
1,5 ≤ MO < 3,5	Medio
3,5 ≤ MO <6,0	Alto

Fuente: Sagarpa (2012)

2.3.2.3. Nitrógeno disponible en el suelo

Es requerido en grandes cantidades por diferentes tipos de cultivos entre ellos tenemos, la caña de azúcar, el plátano, la papa y algunas hortalizas. Este contenido de nutrientes en el suelo depende del contenido de materia orgánica. En muchas ocasiones se detectan deficiencias en suelos degradados debido a un mal manejo y falta de

disponibilidad de materia orgánica en condiciones adversos para el proceso de mineralización. La quema de rastrojos exagera las deficiencias de materia orgánica en casi todos los suelos con pendiente y es considerada por los agricultores cuando señalan que sus tierras están cansadas o agotadas (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA) y (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, 2001).

Tabla 4. Clasificación del nitrógeno

Rango (%)	Clasificación
$N < 0,05$	Muy Bajo
$0,05 \leq N < 0,10$	Bajo
$0,10 \leq N < 0,15$	Medio
$0,15 \leq N < 0,25$	Alto
$N \geq 0,25$	Muy Alto

Fuente: Sagarpa (2012)

2.3.2.4. Fósforo disponible en los suelos

En el cultivo del café, el fósforo juega un papel importante durante todo el ciclo vital de la planta, aportándole vitalidad, estimulando un buen sistema radicular y favoreciendo la floración y el desarrollo del fruto, (Arias, 2023). Estudios experimentales sobre fósforo realizados desde 1990 han demostrado que la aplicación de fertilizantes fosforados afecta el rendimiento de repollo, frijol, tomate, maíz, algodón y ajonjolí en suelos que contienen más de 10 ppm de fósforo disponible (INTA y FAO, 2001). La disponibilidad de fósforo en el suelo se distribuye en las siguientes clases.

Tabla 5. Clasificación del fósforo disponible

P (ppm)	Clasificación
$P < 7$	Bajo
$7 \leq P < 14$	Medio
$P \geq 14$	Alto

Fuente: Sagarpa (2012)

2.3.2.5. Potasio disponible en los suelos

Son nutrientes fundamentales para los cultivos agrícolas. En las regiones cafeteras de Colombia se recomienda la fertilización potásica solamente en la fase de producción. El potasio encontrado en la solución del suelo puede ser absorbido por las plantas inmediatamente, (Henao y Hernández, 2002). Cuando este nutriente del suelo supera 1,5

meq/100 g, se produce un desequilibrio de nutrientes por consiguiente los nutrientes con potasio disminuye la disponibilidad de Mg. (FAO, 1996).

Tabla 6. Clasificación del potasio disponible

K (ppm)	Clasificación
$K < 100$	Baja
$100 \leq K < 240$	Medio
$K \geq 240$	Alto

Fuente: Sagarpa (2012)

2.3.2.6. Calcio intercambiable

Este es uno de los nutrientes bastante numerosos, especialmente en los suelos de las regiones semiáridas. En cambio, acostumbra estar disponible en diferentes formas químicas de poca solubilidad, por esta razón su presencia en la solución del suelo surge ser baja, a continuación, en la **Tabla 7** se muestran la clasificación de calcio intercambiable según escala de clasificación propuesto por Sagarpa (2012).

Tabla 7. Clasificación del calcio intercambiable

Ca (cmol⁽⁺⁾·kg⁻¹)	Clasificación
$Ca < 2$	Muy Baja
$2 \leq Ca < 5$	Baja
$5 \leq Ca < 10$	Media
$Ca \geq 10$	Alta

Fuente: Sagarpa (2012)

2.3.2.7. Magnesio intercambiable

Este nutriente es particularmente beneficioso para varios tipos de cultivos, ya que se encuentra en la parte de la molécula de clorofila y, por lo tanto, está estrechamente relacionado con la fotosíntesis. En suelos arenosos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), a menudo sucede que el Mg apenas es de poca disponibilidad. En la **Tabla 8** se muestran las clases para magnesio intercambiable según escala propuesto por Sagarpa (2012).

Tabla 8. Clasificación del magnesio

Mg (cmol⁽⁺⁾·kg⁻¹)	Clasificación
Mg < 0,5	Muy Baja
0,5 ≤ Mg < 1,3	Baja
1,3 ≤ Mg < 3,0	Media
Mg ≥ 3,0	Alta

Fuente: Sagarpa (2012)

2.3.2.8. Capacidad intercambiable de cationes

Según (INTA y FAO, 2001), es uno de los indicadores químicos de fundamental importancia, por lo que diferentes autores y científicos la equiparan con la fertilidad del suelo. El mecanismo de intercambio lo llevan a cabo los fragmentos de tamaño mínimo del suelo, entre ellos tenemos el humus y la arcilla mineral, en cierta medida disuelta en el agua del suelo señalados como complejos arcilla humina. El CIC se conceptualiza como la cabida del suelo para almacenar y proporcionar nutrientes cargados positivamente, conocido como cationes.

Tabla 9. Rango de clasificación de la capacidad de intercambio catiónico.

CIC (Cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹)	Clasificación
CIC < 5	Muy baja
5 ≤ CIC < 15	Baja
15 ≤ CIC < 25	Media
25 ≤ CIC < 40	Alta
CIC ≥ 40	Muy alta

Fuente: Sagarpa (2012)

El CIC se debe a los indicadores específicos de los complejos coloidales del suelo con carga electrostática y gran área superficial. Las sustancias orgánicas, las arcillas y los hidróxidos actúan como intercambiadores (Fassbender, 1987).

2.3.3. Indicador de calidad de suelo

Se conoce como índice de calidad a una herramienta que indica la condición en que se encuentra un suelo, tanto en términos de disponibilidad de minerales, indicadores físico-químicas, materia orgánica, desarrollo de las plantas y actividad microbiana. Es por ello que los indicadores anteriores nos permiten evaluar el grado de deterioro que las

actividades humanas han causado a diversas actividades al emprender procesos de reparación que mejoran o mitigan los impactos desfavorables sobre los stocks (Acevedo et al, 2005).

2.3.3.1. Método SUSS

El Subíndice de Uso Sostenible del Suelo (SUSS) se puede utilizar para determinar el Índice de Calidad del Suelo, ya que resume los indicadores físico-químicos asociados con la calidad del suelo, mediante el promedio de los valores normalizados de cada indicador del suelo explicado. La clasificación de los rangos interpretativos se encuentra en la **Tabla 14**.

2.3.3.2. Método Cantú

Los programas que se han desarrollado por parte de las organizaciones se presentan una relación de indicadores con ello estimar la calidad del medio ambiente (Cantú et al. 2009), tales como, FAO, Banco Mundial, Programas de Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) y el Programas de Naciones Unidas para medio ambiente (PNUMAD). Cuyos rangos interpretativos propuestos por Cantú se muestran en la **Tabla 13**.

2.4. Distribución espacial

La distribución espacial es la presentación de la variabilidad espacial, ya que nos permite medir de forma indirecta los lugares no muestreados de aquellos recursos e individuos que no pueden ser medidos a pequeña escala, entre ellos tenemos propiedades del agua, suelo, entre otros.

2.4.1. Variabilidad espacial de los suelos

La variación de los distintos indicadores del suelo es una condición inherente, estando influenciado por condiciones naturales es decir por los componentes del proceso de formación del suelo, entre ellos materiales parentales, clima, relieve, organismos y tiempo (Jaramillo, 2012), como también por condiciones inducidas por el uso, manejo del mismo, y diferentes tipos de tecnología utilizados en la labranza. (Déleg, 2018).

El convenio que existe entre la variabilidad del suelo desde un punto hacia otro punto del paisaje de distintos tipos de orígenes, por características significativas del proceso de formación, como la litología, el clima, la topografía, la actividad biológica y la actividad humana, (Jaramillo, 2012; Déleg, 2018), gracias a aquellos procesos de formación mencionados se genera la variación espacial que incluye la heterogeneidad en medidas mínimas y entre otros que ocasionan la dependencia espacial de extensión mayor (Ulloa, 2002; Jaramillo, 2012). No obstante, la magnitud de estos cambios no fue la misma para todos los indicadores de calidad del suelo, ya que las propiedades químicas muestran una mayor variabilidad que las propiedades físicas al igual que los suelos intervenidos con labor agrícola (Jaramillo, 2012).

Los suelos de la agricultura para su obtención de las variaciones espaciales son estudiados a través de los diferentes métodos de la geoestadística (Vásquez, 2010). El análisis geoestadístico es útil porque determina la realidad de la distribución espacial de las medidas estudiadas, lo cual es una herramienta muy importante para los estudios descriptivos de la variabilidad espacial de las propiedades del suelo. La ubicación de los puntos de muestreo se puede utilizar para interpretar los resultados obtenidos y se grafican en un área de acuerdo con su distribución espacial (Vendrusculo, 2001). Este proceder depende de muchos factores. Por lo tanto, según Jaramillo (2012), su análisis requiere un conocimiento a gran escala de las características y factores que influyen. La variabilidad total se expresa como:

$$\text{Variación total} = T + DE + \text{azar}$$

Donde:

T = tendencia espacial

DE = dependencia espacial

Azar= Variaciones aleatorias que no se deben a una causa conocida

2.4.2. Sistema de información geográfica (SIG)

Tecnología informática unificada por cuatro componentes básicos: hardware, software, datos, recursos humanos y procedimiento. Los recursos humanos son responsables del diseño, implementación y uso de SIG y es esencial que tenga un buen conocimiento no solo de administración de software sino también relacionados con el análisis de problemas de conocimiento (Redrován, 2018).

SIG es un marco que posibilita el análisis, presentación e interpretación de hechos relacionados con la corteza terrestre por medio de hardware y software específicamente diseñados para la recopilación y gestión de valores cartográficos (Olaya, 2014). SIG utiliza herramientas para manipular y analizar información espacial para generar información para la toma de decisiones. Los datos de SIG tienen una amplia gama de usos y crean alternativas para resolver una variedad de problemas. Las herramientas utilizadas para realizar estudios espaciales son principalmente los sistemas de información geográfica (SIG), incluidos los estudios de detección remota y criterios múltiples. El alcance del trabajo limitó la exploración y los insumos producidos en la escala 1:100 000 o 1:500 000 mostraron pocos detalles necesarios para conceptualizar ocupaciones alternativas a nivel local, solo ocupaciones alternativas en paisajes de grado (Aguilar & Ramírez, 2015). De manera similar, la precisión

del análisis de datos espaciales depende de la disponibilidad y calidad de los insumos utilizados. (Olaya, 2014), los componentes esenciales de un SIG son:

- Hardware: Equipos donde se opera el SIG.
- Software: Programas informáticos (ArcGis, QGis, Envi, Autocad, etc)
- Datos: Información geográfica para aplicaciones SIG.
- Recursos Humanos: Los que operamos el software
- Métodos: Formulaciones y metodologías para obtener resultados óptimos.

2.4.3. Metodología de interpolación

Las estimaciones puntuales no muestrales se determinan con base en valores experimentales o reales de una población de muestras (Olaya, 2014). Por tanto, existen muchos métodos de interpolación, pero algunos son más utilizados en SIG por su afinidad y adaptabilidad al tipo de información que se estudia. Una aplicación SIG típica es una capa ráster 2D. Los SIG han utilizado una variedad de herramientas para mejorar la recopilación, recuperación, análisis y decisión en el análisis de la variabilidad espaciotemporal de datos, las proyecciones aproximadas y presentarlas en mapas digitales (Garbanzo et al., 2017). Por lo tanto, a partir de una muestra y una observación dada, posibilita la interpolación y por consiguiente estimar los valores de los puntos no muestreados (Déleg, 2018), dichos valores de las variables pueden calcularse a partir de los valores teóricos o conocidos de su entorno. (Blanco, 2015; Déleg, 2018).

2.4.3.1. Kriging

El método de interpolación con más uso integra al grupo Kriging (Villatoro, 2008), término acuñado por mérito de su autor (Ing. D.G. Krige). Actualmente, el método de interpolación geoestadística de Kriging Group proporciona predicciones para una variedad de temas y presenta variantes que los representan en regiones de respuesta y mapas de probabilidad. El Kriging regular se puede aplicar a nivel global y local. Según Olaya (2014), este es un método geoestadístico, con muchas variaciones, ya que da el mejor peso entre diferentes puntos de muestra en el interpolador local. La precisión de este método depende de las siguientes propiedades: Los métodos de inferencia espacial utilizan información de muestras para estimar los valores de las variables en ubicaciones no muestreadas. Este método proporciona el mejor estimador lineal insesgado con la varianza más pequeña (Porrás, 2016).

La geoestadística se encarga de realizar una interpolación espacial para predecir valores para ubicaciones no muestreadas. El interpolador Kriging es el más conveniente para un estimador lineal ya que se puede verificar mediante el error conocido como varianza Kriging. Este error estimado se ve afectado por el modelo de semivariograma

ajustado y la ubicación de los datos muestreados. Los métodos Kriging se basan en conocer el comportamiento espacial de una variable con medida de la covarianza entre los puntos muestreados y los puntos cuyos valores son el resultado de la predicción (Balzarini, 2014).

Este procedimiento descarta muestras innecesarias y pondera de manera ambigua muestras que están demasiado cerca unas de otras o en lados opuestos del punto predicho por la interpolación (Parra & Benítez, 2021). Para Olaya, (2014) estas técnicas son útiles para analizar valores a lo largo del tiempo para mapear con precisión las variaciones espaciotemporales que se encuentran en la corteza terrestre, por lo que el error de pronóstico es un factor importante lo cual debe ser mínimo. Las muestras más cercanas tienden a tener valores más grandes que los puntos más lejanos. Si hay puntos cercanos a una dirección, la influencia de los puntos en la misma dirección debe atenuarse. El valor del punto lejano con un punto cercano similar está agrupado estrechamente para reducir la distorsión debido al sobre muestreo.

2.4.3.2. IDW

Cuando se utiliza el método de interpolación IDW, los puntos de muestra se ponderan durante la interpolación. Así, la influencia de un punto en relación a otros puntos disminuye a medida que aumenta la distancia entre ellos. El método de interpolación IDW le permite especificar un valor de potencia llamado factor de distancia P. El valor predeterminado es 2. Los valores más altos de P dan más énfasis o peso a los puntos cercanos que se evalúan, lo que da como resultado estadísticas más pronunciadas. superficie del agua. Los valores más pequeños de P enfatizan el conjunto de muestras y suavizan la superficie. Se usa comúnmente en procesos de interpolación cuando los conjuntos de datos disponibles para la interpolación son ricos, están distribuidos uniformemente en el espacio y no tienen grandes distancias entre sus ubicaciones, (Estévez 2019).

Los puntos de apoyo se ponderan durante la interpolación. Así, la influencia de un punto en relación a otros puntos disminuye o disminuye a medida que aumenta la distancia entre ellos. El método de interpolación IDW le permite especificar un valor de potencia llamado factor de distancia P. El valor predeterminado es 2. Los valores más altos de P dan más énfasis o peso a los puntos cercanos que se evalúan, lo que da como resultado estadísticas más pronunciadas. superficie del agua. Los valores más pequeños de P enfatizan el conjunto de muestras y suavizan la superficie (Tucla, y Tipanquiza, 1998).

2.4.4. Análisis y representación de la dependencia espacial

Reconociendo el grado de correlación de los datos, menciona la importancia de determinar el nivel de dependencia espacial. Este valor se obtiene dividiendo el

efecto pepita por el estado estacionario y expresando el resultado en porcentaje. Si el resultado es inferior al 27% del 25%, la dependencia espacial es alta; si está entre 26% y 75%, la dependencia espacial es media; si es superior al 76%, la dependencia espacial es baja (Cambardella et al., 1994).

La geoestadística estudia la dependencia espacial de los indicadores de calidad del suelo, especialmente la herramienta básica semivariograma, cuyo producto final es el semivariograma. Para ello se deben cumplir dos condiciones: a) los datos deben estar normalmente distribuidos, b) los datos deben ser estacionarios o distribuidos simétricamente (Jaramillo, 2012), por lo que los datos presentados deben ser al menos simétricos o normales. distribución. También deben tener la misma varianza y valor medio en todos los grupos de distancia definidos (Jaramillo, 2012). En general, según (Villatoro, 2008), (Jaramillo, 2012), (Déleg, 2018) y (Chinea & Rodríguez, 2021), el semivariograma tiene los siguientes elementos:

2.4.4.1. Nugget (Co)

Indica la varianza mínima y el punto donde la línea cruza el eje y debido a un error de medición o variación de microescala en el semivariograma. Esta discontinuidad puede deberse a una mala precisión analítica o a un error de medición debido a la escala utilizada.

2.4.4.2. Meseta o sill (Co + C)

Resultante de la adición de pepitas + variación estructural (C). Si se cumple la suposición de estacionalidad, las mesetas se asemejan mucho a la varianza normal de esa variable. Si la meseta no es estable, se entiende que esto se debe a la distancia utilizada en el muestreo y que la variación espacial del área de muestra no puede resolverse de manera que un modelo lineal simple pueda ajustarse mejor a la distribución de los datos.

2.4.4.3. Variabilidad estructural (C)

Determina cuánto se debe aumentar la variabilidad de los datos hasta que no haya igualdad entre la variabilidad de las muestras.

2.4.4.4. Rango

Esta es la distancia donde el valor es estable y las muestras tienen dependencia espacial. Refleja el efecto espacial de la autocorrelación entre variables, es decir, cuánto afecta cada punto a su entorno. También muestra que la variabilidad de un hecho geográfico no aumenta con la distancia, por lo que los valores del hecho son independientes entre sí cuando están separados por esta distancia. Por lo tanto, la autocorrelación ocurre solo en el rango del semivariograma.

2.5. Antecedentes

2.5.1. Antecedente internacional

Barrera (2022), en su tesis “Distribución Espacial de Minador de la Hoja (*Leucoptera Coffeella* Guérin - Méneville, 1842) en el Cultivo de Café en el Estado de México” Se concluyó que la geoestadística ha demostrado ser una herramienta eficaz para determinar el comportamiento espacial de las poblaciones y el daño del cicadélido en el cultivo del café, utilizando la geoestadística, la realidad de las estructuras agregadas donde las poblaciones se dividen en varias bandas agregadas, las cuales se pueden obtener de la siguiente manera. El modelado de Kriging visual también muestra un alto grado de dependencia espacial en los mapas resultantes. Finalmente, con la ayuda de los mapas obtenidos, se pudo estimar el área de ataque del minador y la estabilidad espacial y temporal, lo que evidenció que la polilla ala blanca no fue detectada en el 100% del terreno censado, por lo que fue no es necesario utilizar el método de control de forma uniforme.

Farfán & Sanches (2018), en su investigación “Distribución de Nutrientes en el Suelo y Producción de Café en Sistemas Agroforestales” Los Santos - Santander – Colombia, concluyeron que, las diferentes técnicas de distribución espacial con análisis geoestadístico permiten evaluar su comportamiento de la producción de café, con ello evaluar áreas para el manejo definido de cada lote. Los indicadores químicos presentaron valores bajos y altos dentro de un mismo lote, con tratamientos iguales, dando como resultado una variabilidad en la producción, por lo cual se pudo concluir que esta amplitud justifica la aplicación diferenciada y localizada de fertilizantes.

Maharjan et al. (2018) en su indagación “Mapeo digital de suelos en el distrito de Bara de Nepal utilizando la herramienta Kriging en ArcGIS”, mencionaron que los mapas esperados se estudiaron utilizando geoestadística Kriging Simple y el software ArcGIS 8.1. Aquí concluyen que los índices del suelo tienden a ser espacialmente dependientes en promedio a las distancias más pequeñas de la superficie terrestre debido a los efectos del manejo de la tierra.

Panday et al. (2018) realizó un estudio Mapeo digital de suelos en el distrito de Bara de Nepal utilizando la herramienta Kriging en ArcGIS, en ello concluyó que los enfoques geoestadísticos como la estadística descriptiva y el análisis de semivariogramas ayuda en la descripción de la variabilidad espacial de los indicadores químicos de suelo. Asimismo, se demostró que las estadísticas descriptivas mostraron distribución anormal y el los valores de fósforo eran muy diferentes, los modelos con mejores ajustes se adecuaron con

exponenciales (N), esféricos (K_2O) y Gaussianos (P_2O_5) a los semivariogramas de las variables del suelo.

Déleg (2018), En su artículo "Determinación de la variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo en parcelas experimentales Irquis", señala coeficiente de variación medios y bajos que muestran variabilidad en el área de estudio, lo que sugiere que el tamaño de la muestra tiene suficiente resolución para detectarlo. Los modelos teóricos que mejor se ajustan a ellos son el modelo exponencial, el modelo circular, el modelo gaussiano y el modelo esférico. Para la mayoría de los indicadores, el rango fue >20 m el intervalo de muestreo (10 m) fue suficiente para identificar las dependencias espaciales. Los mapas resultantes muestran un patrón de variación similar entre los dos métodos de interpolación, y el Kriging convencional proporciona el rendimiento más predecible.

Garbanzo et al. (2017) en su investigación "Validación de modelos geoestadísticos y convencionales en la determinación de la variación espacial de la fertilidad de suelos del Pacífico Sur de Costa Rica", usaron el método Kriging para interpolar y consecuente a ello determinar la variabilidad de la fertilidad. Algunos indicadores estudiados fueron Zn, Ca, pH, Cu, %AC, K, P, Fe, Mn y Mg. Estos indicadores no se distribuyeron normalmente; también detectaron cambios en el pH del suelo; la validación cruzada y los mapas resultantes nos brindaron información confiable y útil para elaborar diagnósticos de fertilidad en la región.

Rueda & Valera (2016), en su estudio, "Distribución espacial, composición y densidad de edafofauna en la hojarasca de bosque y café (Montenegro, Colombia)", concluyeron que la estructura del bosque es más difícil de ver debido a los pequeños parches en el bosque. La dispersión fue mayor en las plantaciones de café para todos los taxones excepto Acaridida y Formicidae, y de manera similar, el establecimiento de plantaciones de café causó diversos grados de daño a los taxones y grupos funcionales de edafofauna. Forma la base para determinar los efectos de los cambios en el uso de la tierra y los factores ambientales en la distribución espacial de los animales ecológicos.

Rodríguez (2015), en su trabajo "Variación espacial de las características físicas y químicas del rendimiento y calidad del café" Bogotá-Colombia, concluyó que la concentración de aluminio y el pH tienen algún efecto sobre la toxicidad del cultivo, pero no existe una correlación entre ellos y la rentabilidad del cultivo, pero sí para el porcentaje de carbono (CO) y Ca es la característica que más afecta la reducción del rendimiento. Los métodos de análisis espacial y agRupación permiten generar regiones con características

similares, que reducen la variabilidad de los datos en el área de estudio y permiten un uso más eficiente de los recursos.

2.5.2. Antecedente nacional

Inocencio & Florida (2022), en su investigación “Comportamiento espacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo de las plantaciones de cacao en Padre Abad, Ucayali, Perú” concluyó que, la calidad del suelo varió de baja a muy baja calidad, lo cual demuestra una variabilidad media, es decir que existe heterogeneidad y demuestra que existe variedad en la distribución espacial entre los cuales el 52,24 % de calidad baja y 47,76% del área en estudio fue de muy baja calidad. El ACP demostró que los principales componentes en este estudio fueron los indicadores arena, limo, MO, N, K, Al, CIC, %AC, %BC y %Sal. Los resultados de interpolación muestran una mejor predicción de errores usando Kriging Ordinario para arena y limo y el Kriging Simple para los otros indicadores, y a través de los análisis geoestadísticos los modelos que mejor se ajustan son el exponenciales y lineales, con fuerte dependencia espacial para arena, limo y K, moderada para MO, N, Al, CIC, SAI e ICS, y débil para BC y AC.

Gonzales (2015), en su tesis “Distribución espacial por unidades fisiográficas, las propiedades físicas y químicas de los suelos con palma aceitera (*Eiaeis guineensis* Jacq.), Nueva Requena Ucayali” encontró colina baja, ligeramente a moderadamente disecada, montañosa y terraza baja inundable a no inundable, y el suelo es de textura franco a franco arenosa franco, contenido de MO medio a bajo, pH extremadamente ácido, fósforo bajo a muy bajo, potasio muy bajo, nitrógeno medio a bajo, CIC baja, baja en BC, consideró estos suelos no muy fértiles.

Villacorta (2014), en su tesis “Distribución Espacial de las Propiedades Físico Químicas del Suelo de los Palmicultores de Shambillo” Padre Abad, Ucayali, concluyó que, con las 150 muestras extraídas del terreno de palma aceitera perteneciente a la Asociación de Palmicultores de Shambillo fue muy variable en cuanto a contenido de materia orgánica y nitrógeno, con un 54% del área que va desde 3305 a 3820; en cambio, en este caso, el 43% presentaba niveles bajos de fósforo y potasio. Luego encontramos que estos suelos eran poco fértiles y se determinó una calidad textural arcillosa del 62%, a diferencia de una clase textural franco-arenosa, que alcanzó el 36,67% en las muestras, la relación entre rendimiento y propiedades del suelo está representada por la ecuación de la siguiente forma: Rendimiento (Kg/Ha) = - 407.955 0.001 L 3.249 pH.

2.5.3. Antecedente local

Junco et al. (2017) en su investigación “Distribución Espacial de las Propiedades Físicas y Químicas del Suelo de la Microcuenca Rio Bella-Distrito Mariano Dámaso Beraún - Las Palmas” se encontró un área de 3463.48 ha, perímetro de 29,4 km, forma de redondo ovalado a oblongo. Suelos de textura franco, arenoso y en menor medida arcillosos, tanto la MO como N se encuentran en el rango mayor a 4 % equivalente al 81 % del área total; presenta niveles altos de P y niveles bajos de K+ esto equivalente al 90 % del área total, por lo que se consideró suelos poco fértiles.

Soto (2016), en su tesis “La distribución espacial de las propiedades físico-químicas de los suelos por su fisiografía en la microcuenca Las Pavas, distrito Mariano Dámaso Beraún – Las Palmas”, demuestra que la el área tiene fisiografía medianamente plana, con terrazas planas, altas y onduladas, seguidamente colinas onduladas, colinas de división baja a moderadamente distribuidas, colinas altas ligeras, moderada y fuertemente divididos, y montañas altas y bajas. Los mapas obtenidos de distribución espacial de los indicadores físicas demuestran que hay parcelas homogéneas en la microcuenca. De igual forma, los mapas de distribución espacial de los indicadores químicos demuestran que 89.90 % de la microcuenca "Las Pavas" mantiene un pH moderadamente ácido, pH neutro y fuertemente ácido. Además, mantiene el contenido de MO en una escala de moderado a alto, nitrógeno de alto a muy alto, contenido de fósforo alto y una disponibilidad de potasio con escala de medio y alto, y por último el porcentaje medio de CIC es de 98,15 %.

Bardales (2015), en su tesis “Carbono almacenado y distribución espacial de las propiedades del suelo de los cultivos de naranja, guayaba y bambú en la microcuenca del rio Supte, Tingo María”, quien concluyó que la distribución espacial en cultivos de Naranja presenta M.O. de bajo a medio, clase textural la MO, textura franco arcilloso arenoso y franco arcilloso y arcilla arenosa y pH de medianamente y ligeramente ácido; asimismo los suelos con guayabo presentaron textura , franco arcilloso arenoso, franco arcilloso y franco arenoso arcilloso y pH ligeramente ácido; y por último las áreas con bambú revelan un suelo con rango interpretativo de pH fuertemente y medianamente ácido y con clase textural de franco arcilloso limoso y arcilla limoso.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El trabajo de investigación en estudio se encuentra ubicado en el caserío de Pueblo Libre, políticamente localizado en el Distrito de Chaglla, Provincia de Pachitea, Departamento de Huánuco. El área investigada pertenece a la Señora Geovanna Domínguez Arostegui.

El área estudiada del fundo “Domínguez” tiene una extensión de 3,65 hectáreas y geográficamente se localiza, entre las siguientes coordenadas UTM Este: 413986,90, Norte: 8951319,40, a una altura de 1200 m.s.n.m.

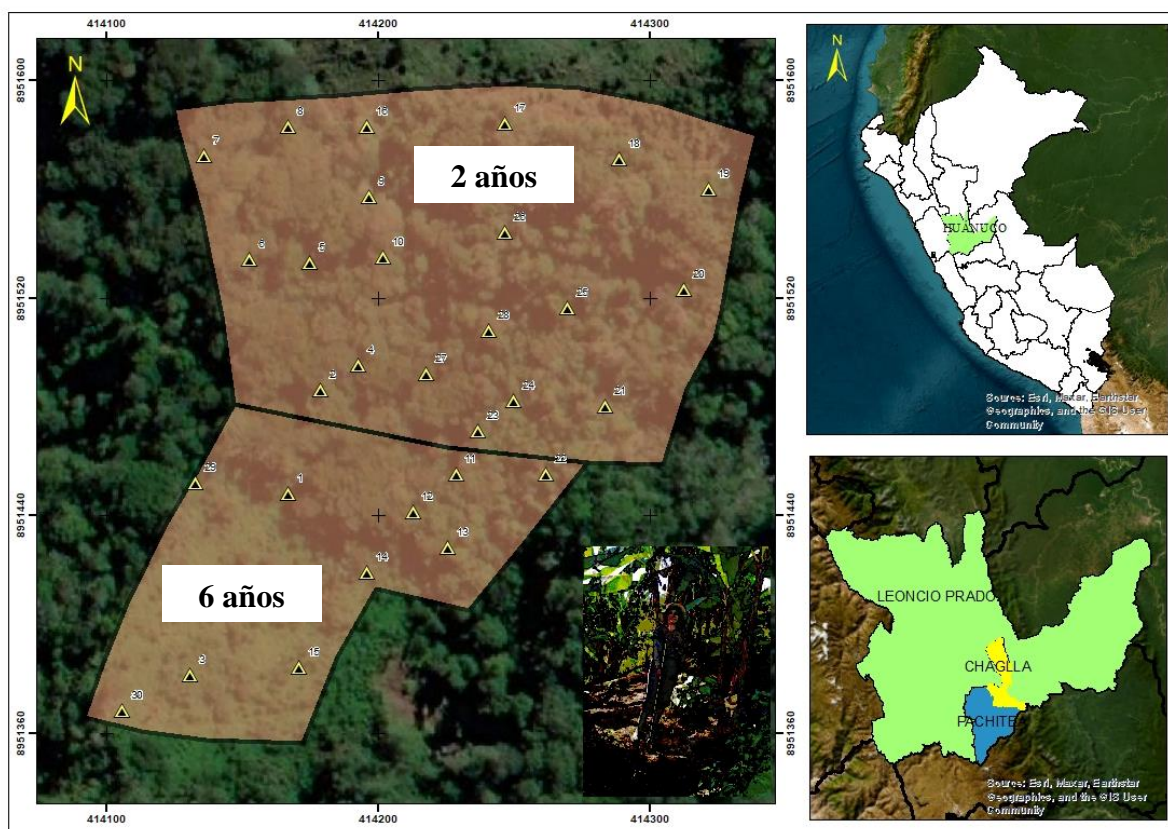


Figura 1. Localización del área en estudio

3.2. Características del área en estudio

3.2.1. Clima

El distrito de Chaglla presenta un clima cálido, con inviernos largos, fríos, húmedos y nublados y veranos cortos, frescos, secos y mayormente nublados. La temperatura anual suele variar de 6 ° C a 18 ° C y pocas veces cae por debajo de los ° C o supera los 20 ° C. Suele estar entre los 1 100 y 2 000 m.s.n.m. Presenta un comportamiento térmico casi uniforme durante todo el año. Por otro lado, las precipitaciones son estacionales, donde las mayores

precipitaciones se encuentran en los meses de verano, (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, 2019).

3.2.2. Suelos

Los suelos en el área estudiada están en proceso de formación, son suelos que anteriormente no tenía ningún tipo de cultivo, es decir era un bosque primario, las pendientes del terreno son muy variables en donde varía de fuertemente inclinado a muy escarpado.

Tabla 10. Rangos Interpretativos de pendiente.

Rangos	Clasificación
0 – 2%	Nivel
2.1 – 5%	Suavemente Inclinado
5.1 – 10%	Inclinado
10.1 – 15%	Moderadamente Inclinado
15.1 – 30%	Fuertemente Inclinado
30.1 – 60%	Escarpado
> 60%	Muy escarpado

Fuente: FAO 2009

3.2.3. Accesibilidad

El recorrido para acceder al lugar de ejecución del proyecto (fundo Domínguez) se parte de la ciudad de Tingo María por un acceso asfaltado durante 15 minutos hasta llegar al centro poblado de Supte San Jorge, luego continúa el trayecto por una trocha carrozable, durante 4 horas en carro aproximadamente, seguidamente se realiza una caminata de 20 minutos hasta llegar al área de cultivo de café.

3.3. Criterio y análisis de estudio

3.3.1. Tipo y nivel de investigación

Es de tipo descriptivo y explicativo ya que se realiza una descripción de los resultados obtenidos de la investigación, asimismo se explica y determina la clase de calidad de suelo. También se explica los mapas obtenidos de distribución espacial de calidad de suelo.

3.3.2. Diseño de la investigación

El estudio realizado es no experimental, porque se hizo la interpolación con el software ArcGIS 10.8, a través del método geoestadístico de Kriging Simple y Ordinario, empleando los resultados obtenidos de los indicadores físicos y químicos analizados en el laboratorio de suelos.

3.4. Materiales y equipos

3.4.1. Materiales y equipos de campo

Muestras de suelo, cilindro metálico, bolsas plásticas de 2 kg o 3kg, machete, pala recta, wincha, cámara fotográfica, GPS marca Gamín, libreta de campo, bolígrafo.

3.4.2. Materiales y reactivos de laboratorio

Tamiz, Matraz de Erlenmeyer, probeta graduada, vaso precipitado, tubo de ensayo, papel filtro #40, varilla, Hidrómetro, Termómetro, balanza de precisión, estufa, ácido sulfúrico, difenilamina sulfúrica, Hexametáfosfato de sodio, sal de Mohr, cloruro de potasio, pH, agua destilada, Espectro fotómetro de absorción atómica y Espectro fotómetro UV-VIS.

3.5. Metodología

3.5.1. Determinación de los indicadores físicas y químicas del suelo

3.5.1.1. Muestreo de Suelo

Se saco un total de 30 muestras, 10 muestras por hectárea, que posteriormente fue llevado al laboratorio de suelos, para sus respectivos análisis químicos. El método de muestreo que se usó fue aleatorio (promedio de distancia 25 metros) ya que es un terreno con pendientes variable, suelos en proceso de formación, además que el café es de diferentes edades. Para el (Ministerio de Energía y Minas – MIEM, 2000) y Porras (2017); el muestreo aleatorio se basa en la teoría de la probabilidad y las necesidades de un análisis estadístico preciso con ello permitiendo todo tipo de posibles combinaciones de unidades muestrales a seleccionar donde el número de combinaciones posibles está limitado únicamente por las dimensiones de la muestra. Las coordenadas de los puntos de muestreo se muestran en la **Tabla 11**

3.5.1.2. Determinación de las propiedades físicas

Las propiedades físicas que se evaluaron fueron la densidad aparente determinado metodológicamente por la Parafina y la textura de suelo se realizó por metodología del hidrómetro. Los métodos fueron propuestos por (Bazán, 2017).

Tabla 11. Coordenadas UTM, WGS84, Zona 18S de puntos muestreados.

M	E	N	Z	M	E	N	Z	M	E	N	Z
1	414167	8951448	1207	11	414229	8951455	1247	21	414284	8951480	1284
2	414179	8951486	1234	12	414213	8951441	1239	22	414262	8951455	1276
3	414131	8951381	1231	13	414226	8951428	1248	23	414237	8951471	1260
4	414193	8951495	1236	14	414196	8951419	1234	24	414250	8951482	1271
5	414175	8951533	1230	15	414171	8951384	1230	25	414270	8951516	1281
6	414153	8951534	1223	16	414196	8951583	1193	26	414247	8951544	1269
7	414136	8951572	1218	17	414247	8951584	1232	27	414218	8951492	1250
8	414167	8951583	1223	18	414289	8951571	1272	28	414241	8951508	1267
9	414197	8951557	1230	19	414322	8951560	1289	29	414133	8951452	1238
10	414202	8951535	1230	20	414313	8951523	1292	30	414106	8951368	1241

M: Muestra, E: Este, N: Norte, Z: Altitud

3.5.1.3. Determinación de las propiedades químicas

Los resultados de los indicadores químicos se determinaron por la metodología propuestos por (Bazán, 2017), en el laboratorio de suelos de la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. El pH del suelo se determinó por el método del potenciómetro, la conductividad eléctrica método electrométrico, materia orgánica metodología de Walkley y Black, fósforo metodología de Olsen modificado, potasio disponible, calcio, magnesio y capacidad de intercambio catiónico por metodología de acetato de amonio.

3.5.1.4. Análisis estadístico de propiedades físicas y químicas

Los análisis estadísticos de las propiedades físicos y químicos fueron realizados en el Software de SPSS, en donde se determinó los valores mínimos, medios, máximos y coeficiente de variación para cada una de las propiedades. Asimismo, la interpretación del Coeficiente de Variación fue interpretado por los rangos establecidos por (Larreal, 2005).

Tabla 12. Rangos interpretativos de coeficiente de variación.

Rangos	CV
0 a 15%	Muy bajo
15-30	Bajo
30-45	Mediano
45-60	Alto
> 60	Muy alto

Fuente: Larreal (2005)

3.5.2. Determinación de la calidad de suelo (metodología propuesta por Cantú y Sagarpa)

Para la determinación de índice de calidad de suelo se efectuó el análisis de componentes principales con la siguiente metodología:

3.5.2.1. Análisis de componentes principales (ACP)

Para el ACP se usó el software SPSS, en ello se efectuó la varianza total y el gráfico de sedimentación para todos los indicadores evaluados según la carga factorial de (>0.75) mostrado en la **Tabla 13**.

En la **Tabla 13** se observa la carga factorial a través del tamaño de muestra estos fueron comparados con los valores obtenidos de las comunalidades. Para determinar cuáles son los componentes principales se comparó con la carga factorial 0.75 ya que el tamaño de muestra fue menor de 50. Los valores menores de 0.75 son carentes de explicación.

Tabla 13. Carga factorial según la dimensión de la muestra

Carga factorial	Tamaño de muestra
0,30	350
0,35	250
0,40	200
0,50	150
0,55	120
0,60	85
0,65	70
0,70	60
0,75	50

Fuente: Hair et al. (1999)

3.5.2.2. Determinación de Índice de Calidad de Suelo

Se efectuó a través de la metodología del SUSS propuesto por Sagarpa, (2012).

$$SUSS = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

Donde:

P: media de los parámetros normalizados

i : Indicador analizado

n: Número total de indicador analizado

Para efectuar el SUSS lo primero deben calcular los valores normalizados de cada indicador.

$$P = \frac{\sum_{j=1}^n Rn_j}{rn}$$

Donde:

Rn : Valor del parámetro normalizado

rn : Número de muestras analizadas

j : Es cada muestra de suelo

Una vez que se encuentra el valor P, se puede calcular el parámetro de normalización de cada indicador.

$$Rn_j = 1 - \left(\frac{Vr_j - d_j}{c_j - d_j} \right)$$

Donde:

Rn: Resultado normalizado

Vr: Valor del indicado.

d: Valor deseable del indicador

c: Valor de corte del indicador

j: cada muestra de suelo

Para obtener los resultados del índice de calidad de suelo se calcularon con los valores medios finales obtenidos, empleando los intervalos de calidad del SUSS, planteado por (Cantú et al., 2007) y (Sagarpa, 2012).

Tabla 14. Variables evaluadas para el índice de calidad de suelo

Indicador	Unidad	Rango Deseable	Valor de Corte
M.O	%	M.O > 5	0,5
Da	G cm ³	Da < 1,1	1,47
CE	dS m ⁻¹	CE < 1	4,1
pH	pH	6 < Ph < 7	5 < pH < 8,5
P	ppm	P > 5,5	0
Mg	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	Mg > 0,3	0
Ca	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	Ca > 5	0
CIC	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	CIC > 15	5
N	%	N > 0,2	0,05
Arena*	%	70	30
Arcilla*	%	10	40
Limo*	%	70	30
SB**	%	100	50
Sat, Al***	%	10	50
AC°	%	0	50
Al°	Cmol(+)/kg	0	2

Fuente: Sagarpa (2012), *FAO (2009), **Cantú et al (2007), ***Encarnación (2022), °Propuesto por el autor

3.5.2.3. Índice de calidad de suelo propuesto por Cantú (2007)

Tabla 15. Rangos interpretativos ICS

Clase	Escala
Muy alta calidad	0,80 - 1,00
Alta calidad	0,60 - 0,79
Moderada calidad	0,40 - 0,59
Baja calidad	0,20 - 0,39
Muy baja calidad	0,00 - 0,19

Fuente: Cantú et al, (2007)

3.5.2.4. Índice de calidad de suelo propuesto por Sagarpa (2012)

Tabla 16. Rangos interpretativos de ICS

	Descripción
Buena ($0,95 < \text{SUSS} \leq 1,0$)	La calidad del suelo es apta para la actividad agrícola.
Aceptable ($0,80 < \text{SUSS} \leq 0,95$)	La calidad del suelo es casi perfecta. La variable es ligeramente diferente del valor correcto.
Sensible ($0,65 < \text{SUSS} \leq 0,78$)	Los parámetros medios a veces difieren de los valores óptimos.
Marginal ($0,45 < \text{SUSS} \leq 0,65$)	Los indicadores están lejos del valor ideal.
Pobre ($0 < \text{SUSS} \leq 0,45$)	La calidad del uso agrícola se ve amenazada o afectada. Los indicadores no están en absoluto al nivel ideal.

Fuente: Sagarpa (2012)

3.5.3. Distribución espacial de calidad de suelo a través del método Kriging

3.5.3.1. Análisis exploratorio de datos

Consiste en analizar la distribución de los datos obtenidos, en 4 pasos, primero se visualiza si los datos cumplen o no con una distribución gaussiana a través del histograma sino cumple con la distribución se realiza una transformación, luego se detecta valores extremos locales y globales a través del gráfico de probabilidad normal QQ, luego se examina la autocorrelación espacial y variación direccional de los datos mapa de voronoi y por último tenemos el análisis de tendencia.

3.5.3.2. Análisis estructural (cálculo y modelado de superficie)

Para realizar un cálculo y modelado de superficie se usó la interpolación geoestadística Kriging Simple y Ordinario, ya que este nos permite realizar un análisis geoestadístico a consecuencia de ello la obtención de predicción aceptable.

La utilización del Kriging se realiza en dos etapas:

a) Modelado del semivariograma

Para ello se calcula el semivariograma empírico y luego el semivariograma teórico ajustando los datos de los diferentes modelos de dependencia espacial. El semivariograma empírico permite la autocorrelación espacial, donde la mitad de la diferencia al cuadrado asociada con cada par de posiciones se representa en el eje Y y en el eje X con la distancia que los separa. La fórmula de distancia euclidiana se utiliza para calcular la distancia entre dos lugares (Moreno, 2008):

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Para efectuar el semivariograma empírica, la formula general es:

$$\gamma = 0.5 * \text{promedio}((\text{valor del lugar } i - \text{valor del lugar de } j)^2)$$

Existen varios modelos de funciones para el semivariograma teórico, aunque el esférico y el exponencial son los más utilizados los cuales son presentados a continuación:

- **Esférico**

$$\gamma(h) = \left\{ \theta_s \left[\frac{3 \|h\|}{2 \theta_r} - \frac{1}{2} \left(\frac{\|h\|}{\theta_r} \right)^3 \right] \text{ si } 0 \leq \|h\| \leq \theta_r \right.$$

$$\left. \gamma(h) = \theta_s \text{ si } \theta_r < \|h\| \right.$$

Donde $\theta_s \geq 0$ es el parcial sill (meseta parcial) y $\theta_r \geq 0$ es el rango (alcance).

- **Exponencial**

$$\gamma(h) = \theta_s \left[1 - \exp\left(-\frac{3\|h\|}{\theta_r}\right) \right]$$

Para todas las h, donde $\theta_s \geq 0$ es el parcial sill (meseta parcial) y $\theta_r \geq 0$ es el rango (alcance).

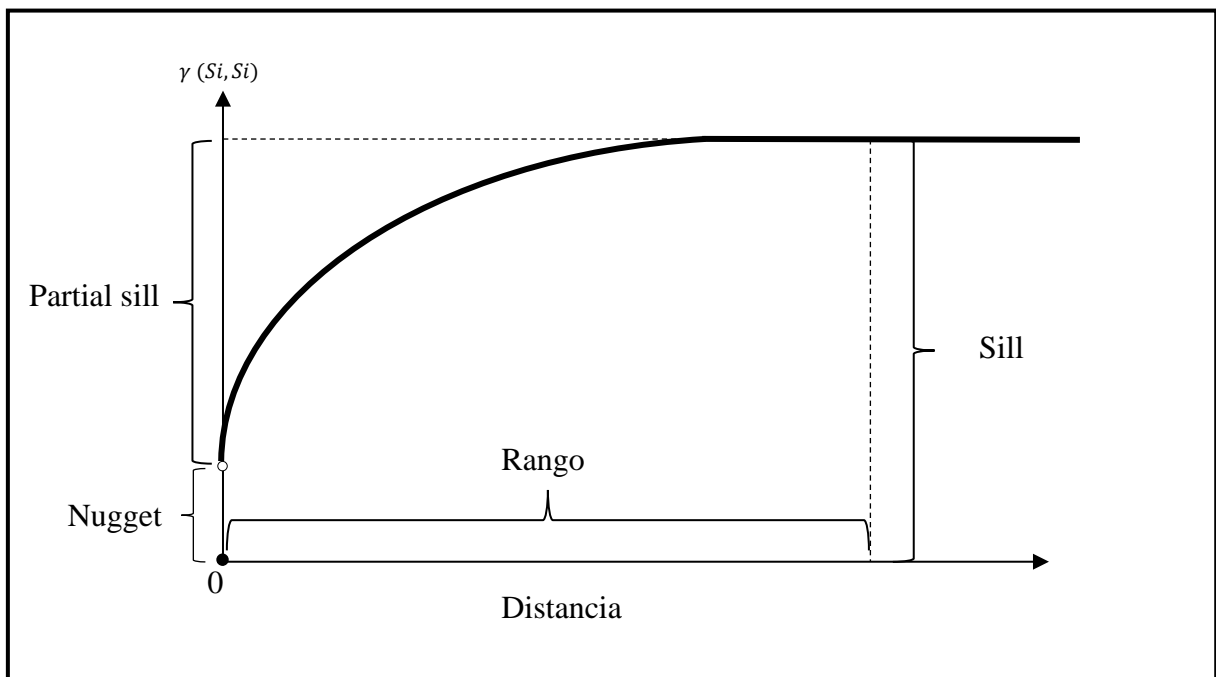


Figura 2. Estructura de un semivariograma típico (Johnston et al., 2001)

b) Elección del tamaño de vecindad.

Según (Moreno, 2008) la forma de la búsqueda de vecindad se basa en el conocimiento de la localización de los lugares y la autocorrelación espacial de los datos, que se obtiene mediante el Análisis exploratorio de Datos y mediante el asistente geoestadístico.

3.5.3.3. Validación cruzada y predicción de superficie.

Según (Moreno, 2008) para que las predicciones sean insesgadas, se evalúa lo siguiente.

a) **Media de los errores:** el valor tiene que ser cerca de 0

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i))}{n}$$

b) **Media estandarizada de los errores:** el valor tiene que ser cerca de 0

$$MEE = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i)) / \hat{\sigma}(s_i)}{n}$$

c) **Error cuadrático medio:** Cuanto más pequeño su valor, mejores predicciones tendrán.

$$ECM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i))^2}{n}}$$

d) **Error típico medio:** Este error tiene que estar próxima al error cuadrático medio.

$$ETM = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{\sigma}(s_i)}{n}$$

e) **Error cuadrático medio estandarizado:** Si sus valores están próximos a 1, los errores de predicción son válidos.

$$ECME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(\hat{Z}(s_i) - z(s_i)) / \hat{\sigma}(s_i)]^2}{n}}$$

Donde:

$\hat{\sigma}(s_i)$ = Desviación estándar

$\hat{Z}(s_i)$ = Valor promedio observado

$z(s_i)$ = Valor observado de la variable en el punto s_i

n = Numero de observaciones

- f) **Eficiencia de predicción (EP):** Un valor de 100 indica predicciones perfectas, valores más bajos o valores negativos indican una estructura espacial deficiente y no se pueden agrupar estrechamente para crear un mapa, y en su lugar se usa el promedio general (Kravchenco, 2003).

$$EP = (1 - \{ \sum_{i=1}^n [z(s_i) - zpred.]^2 / \sum_{i=1}^n [z(s_i) - \hat{Z}(s_i)]^2 \}) * 100$$

Donde:

$\hat{Z}(s_i)$ = Valor promedio observado

$z(s_i)$ = Valor observado de la variable en el punto s_i

$zpred.$ = Valor predicho en el punto s_i

n = Numero de observaciones

3.5.4. Análisis estadístico de correlación entre los indicadores de calidad de suelo

3.5.4.1. Coeficiente de correlación

Es una medida estadística que indica la relación entre dos variables y está representado por la siguiente formula:

$$r = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \sqrt{n(\Sigma y^2) - (\Sigma y)^2}}$$

Tabla 17. Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson

Valor del coeficiente r	Significado
-1,00	Correlación negativa perfecta.
-0,90	Correlación negativa muy fuerte.
-0,75	Correlación negativa considerable.
-0,50	Correlación negativa media.
-0,25	Correlación negativa débil.
-0,10	Correlación negativa muy débil.
0,00	No existe correlación alguna entre las variables
0,10	Correlación positiva muy débil.
0,25	Correlación positiva débil.
0,50	Correlación positiva media.
0,75	Correlación positiva considerable.
0,90	Correlación positiva muy fuerte.
1,00	Correlación positiva perfecta.

Fuente: Hernández et al. (2014)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo

Lo resultados logrados fueron elaborados en el software SPSS con el fin de realizar todos los cálculos correspondientes que llevaron al resultado obtenido para cada uno de ellos, en la **Tabla 18** se relacionan los resultados alcanzados para cada propiedad.

Tabla 18. Descripción estadística de los indicadores físicas y químicas

Indicador	Mínimo	Máximo	Media	CV	Clase media
Arena (%)	18,96	54,96	32,23±9,34	28,99	Franco Arcilloso
Arcilla (%)	19,76	53,76	33,96±8,13	23,93	
Limo (%)	23,28	49,28	33,81±5,56	16,43	
pH	4,10	6,98	5,64±0,72	12,70	Moderadamente ácido
MO (%)	1,97	5,62	3,84±0,90	23,56	Alto
N (%)	0,10	0,28	0,19±0,05	23,52	Alto
P (ppm)	0,37	20,49	5,74±4,63	80,66	Bajo
K ⁺ (ppm)	59,17	279,64	175,07±68,65	39,21	Alto
Ca ²⁺ (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	1,63	8,18	4,83±1,70	35,24	Bajo
Mg ²⁺ (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	0,27	1,98	1,05±0,46	43,66	Bajo
Al ³⁺ (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	0,00	4,00	0,65±1,15	176,22	Alto
CIC (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	3,85	9,47	6,97±1,22	17,53	Bajo
SB (%)	33,42	100,00	87,59±20,87	23,83	Alto
AC (%)	0,00	66,57	12,4±20,87	168,22	Bajo
Sal (%)	0,00	57,67	10,51±17,72	168,61	Bajo
Da g/cm ³	0,5	1,07	0,81±0,12	14,49	Ideal

CV: Coeficiente de Variación, MO: Materia orgánica, N: nitrógeno, P: Fósforo, K: Potasio, Ca: Calcio, Mg: Magnesio, Al: aluminio, CIC: Capacidad de intercambio catiónico, SB: Saturación de bases, AC: Ácidos cambiables, Sal: Saturación de Aluminio, Da: Densidad aparente.

En los resultados de textura según los análisis de laboratorio tenemos suelos entre Franco arcilloso, Arcilloso, Franco arcillo arenoso y Franco arcillo limoso siendo la textura de clase media “Franco arcilloso”. (Loli, 2012) indica que las mejores texturas para cultivar café son suelos Francos y Franco arcilloso, por lo que según los resultados obtenidos se puede afirmar que la textura es apta para café en el área estudiada. Los rangos de coeficiente de variación para esta propiedad varían de muy bajo a bajo, según escala de CV propuesto por (Larreal, 2005).

Los resultados de pH varían desde 4,10 a 6,98, el promedio de pH se encuentra en clase “moderadamente ácida” estos resultados de pH muestra que algunos suelos considerados para muestreo no son aptos para café ya que el pH óptimo es de 4,9 a 5,6, por lo que la planta tiene mayor capacidad de absorber nutrientes señala (Marcos, 2019); Sin embargo (MINAGRI, 2017) señala que el pH óptimo para café esta entre 4,5 y 5,5 estando en las regiones Naturales de Selva alta o Rupa Rupa que se encuentran a una altitud entre 1000 a 2000 m.s.n.m. También

señala que las zonas con altitudes $>$ a 1 200 m.s.n.m. son climas apropiados para la productividad de café con calidad excelente. Por lo tanto, se podría afirmar que el área estudiada se encuentra óptimo para cultivo de café ya que se encuentran altitudes superiores a 1200 msnm y pH promedio 5,64. Asimismo (Loli, 2012) indica que pH menores que 5 es muestra de toxicidad de aluminio o manganeso y falta de magnesio, fósforo, potasio, calcio, cobre y zinc. Sin embargo, tenemos media \pm desviación estándar es $5,64 \pm 0,72$, seguidamente el coeficiente de variación con valor de 12,70% lo indica que se encuentra en rango muy bajo, es decir que existe homogeneidad de pH en el suelo. Según (Cox et al., 2006) el pH es una de los indicadores químicos del suelo, que su variación es mínima por lo que su CV se encuentra de 2% a 15% y se debe al hecho que se cuantifica a una escala logarítmica es por ello que la expresión de la variabilidad se reduce, este resultado está posiblemente asociado al parámetro de pH obtenido en el área estudiada.

La materia orgánica en el área estudiada varía desde 1,97 a 5,62% y en promedio 3,64% lo cual refleja que se encuentra en clase “alto”, esto de acuerdo a los rangos de interpretación por (Sagarpa, 2012), con una desviación estándar de 0,90 y un coeficiente de variación 23,56% perteneciendo a un rango de CV muy bajo según (Larreal, 2005), por lo tanto, se señala que existe homogeneidad en el suelo de las muestras realizadas. Los valores de variabilidad encontrados son similares a los que indica (Ruffo et al., 2005) ya que en su investigación encontró M.O. con CV (7 a 28%). Por su parte (MINAGRI, 2017) establece rangos mínimos y máximos para el contenido de materia orgánica de los suelos en el café debe estar entre 2 y 4 %, es así que algunos muestreos realizados no estarían cumpliendo con ese requerimiento ya que tenemos un límite mínimo de 1,97%, pero a su vez tenemos M.O. promedio de 3,84% lo cual este si se encuentra dentro del rango establecido por (MINAGRI 2017). Algunos muestreos realizados de M.O. concuerdan con lo encontrado por (Quispe y Florida, 2013) en sistema de manejo tradicional en la localidad de Hermilio Valdizan que obtuvieron resultados de 2,34 y 1,94% a una profundidad de 0-10 y 0-20cm respectivamente. También (Huisa y Paucar 2020), encontraron valores similares que fluctúan entre 1,31 a 2,28% de M.O. a una profundidad de 0-30cm, en su investigación de “calidad del suelo de café (*Coffea arabica*) VAR. CATIMOR en Satipo. Los resultados de MO obtenidos por (Julca y Lévano, 2019) en el Caserío de Yurimaguas fluctúan entre 2,27, 2,45 y 4,01 para manejo convencional a la edad de 3, 5 y 7 años respectivamente; y para el manejo orgánico varían de 2,58, 2,41 y 2,61 a una edad de 3,5 y 7 años respectivamente; estos resultados concuerdan con lo obtenido en el área estudiada con la única diferencia que este lleva un manejo tradicional (rozo, tala y quema), esto también sería un reflejo de que los suelos del Caserío de Pueblo Libre sí son aptos

para Café; sin embargo (Herrera y Lévano, 2019) en su investigación de “Evaluación de indicadores de calidad de suelo en parcelas de manejo orgánico y convencional en el Caserío Tingo De Uchiza” encontraron resultados en promedio 3,25 y 2,17% para el manejo orgánico y convencional respectivamente, lo cual se debe a que los resultados muestreados estarían a una edad de 3 años ya que los manejos convencionales empiezan a dar buenos resultados a partir de los 4 o 5 años así como demuestra (Julca y Lévano, 2019).

Los resultados de nitrógeno en el área estudiada tienen un límite mínimo y máximo de 0,10% y 0,28% respectivamente y en promedio de 0,19% lo cual indica una clase “alto” según escala de clasificación (Sagarpa, 2012). Asimismo, encontramos desviación estándar de 0,05 y un coeficiente de variación 23,52%, encontrándose en un rango interpretativo de 15% a 30% lo cual indica que el área estudiada tiene un coeficiente de variación “bajo” por lo tanto el nitrógeno en el área estudiada es homogéneo, cabe resaltar que el nitrógeno es un nutriente necesario en cultivo de café ya que ayuda en el crecimiento y aumenta el contenido de proteínas y la producción de hojas, por lo tanto en promedio el nivel de nitrógeno obtenido beneficia al cultivo de café así como indica (Quintana, 2017), estos resultados concuerdan con lo obtenido por (Julca y Lévano, 2019) quienes obtuvieron un resultado de 0,39% lo que corresponde a un nivel alto de Nitrógeno, utilizando un manejo convencional en 7 años de café.

En la **Tabla 18** se observa que el fósforo fluctúa entre 0,37 y 20,49 ppm, obteniendo una media \pm desviación estándar de $5,74 \pm 4,63$ respectivamente, lo cual indica que el fósforo se encuentra en clase bajo, rango establecido por (Sagarpa 2012), seguidamente se muestra el coeficiente de variación de 80,66% encontrándose en un rango “Muy alto” lo que indica que el fósforo es extremadamente heterogéneo en el área estudiada. Esto concuerda con el estudio obtenido por (Vásquez et al., 2010) ya que indica que $CV\% > 60\%$ (humedad, Mn, Na+, K+, CIC, P, Zn y Fe) son extremadamente heterogéneos. Por su parte (Julca, 2019) encontró fósforo en clase media de 13,58 a 13,98 ppm en el caserío de Yurimaguas y estos resultados concuerdan con lo obtenido en el área estudiado, por su parte (Quintana, 2018) en su exploración demuestra que el café con aplicación de pulpa de café aumenta de manera considerable en la disponibilidad de fósforo ya que encontró 17,59 ppm y 278,09ppm con aplicación y sin aplicación respectivamente.

El potasio en el área estudiada varía desde 59,17 a 279,64 ppm, y la media que se obtuvo fue de 175,07 ppm, lo cual indica que se encuentra en clase medio según escala de clasificación (Sagarpa, 2012). Se obtuvo un CV de 39,21% lo que señala que son suelos con K^+ moderadamente heterogéneos. Estos resultados se encuentran en los rangos reportados por (Lince & Sadeghian, 2015) con CV 39% en finca el cortijo para café de 36 meses con manejo

agronómico, pero también reporto CV 55% en finca Buenos Aires café de 26 meses con plena exposición solar.

En cuanto a las propiedades químicas de Ca^{2+} Mg^{2+} se encuentran en clase bajo ya que la media es de 4,83 y 1,03 respectivamente, obteniendo un coeficiente de variación de 35,24% y 43,66% respectivamente es decir están en variabilidad media. La concentración de estos indicadores por lo común presentan baja o media variabilidad según (Sánchez et al., 2011) y (Najafian et al., 2012), sin embargo (Cortés et al., 2013) encontró valores superiores a lo indicado por lo que señaló que la modificación de estas propiedades puede ocurrir de forma natural, principalmente por la topografía, el material de origen y las condiciones climáticas de la zona de estudio o las diferentes actividades, en particular el manejo de diferentes cultivos (maíz, hortalizas, patatas, frutales, etc.) y la ganadería. Las respuestas obtenidas en Ca^{2+} y Mg^{2+} concuerdan con lo indicado por (Inocencio y Florida, 2022) ya que encontraron CV% media.

El contenido de aluminio presenta un CV 176,22% lo que indica que son fuertemente heterogéneos en el área estudiada, estos resultados son superiores a los encontrados por (Sadeghian y Lince, 2014) en suelos andisoles en Colombia, sin embargo, la escala de CV% propuesto por (Rafael et al., 2010) los califica como fuertemente heterogéneos ya que son >60%. Según (Castro & Munévar, 2013) el Al^{3+} es un factor limitante en los suelos para la agricultura por lo que es manejable con el aumento de cal, ya que proceden como bases fuertes, que hidrolizan el agua produciendo iones hidroxilos (OH^-), que neutralizan la acidez activa (H^+) y precipitan el Al^{3+} en forma de oxihidróxidos ($\text{Al}(\text{OH})_3$).

La capacidad de intercambio catiónico presentó una variabilidad de 17,45%, lo que indica que se encuentra en una escala bajo, igualmente a lo reportado por (Silva et al., 2017) pero diferente a los resultados de (Rodríguez & Garay et al., (2016) que fue media. Los límites máximos y mínimos obtenidos fueron de 3,85 y 9,47 ($\text{Cmol}^{(+)}/\text{Kg}$) respectivamente. El nivel óptimo de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) para el desarrollo de las plantas de café en América es de 13,92 a 18,56 ($\text{Cmol}^{(+)}/\text{Kg}$), con valores de niveles bajos según (Romero, 2015). Sin embargo, (Agrobanco, 2012), en su guía técnica señala que la escala óptima de la CIC en cultivo de café se encuentra de 13 y 25 (meq/100 gr). En contexto, los resultados obtenidos de CIC no son óptimos para café.

El contenido de saturación de bases varía desde 33,42 a 100%, con promedio de 87,59%, encontrándose en una clase promedio “alto” establecido por (Sagarpa, 2012) y con variabilidad de 23,83% lo que significa que son moderadamente heterogéneo. (López et al., 2010) afirma que un porcentaje elevado de saturación de bases es por la ausencia de iones de H y Al en los coloides y mayor presencia de cationes metálicos. Un suelo bueno para café debe

ser > 60% de saturación de bases según (Huisa, 2020) por lo que en su estudio concluyeron que encontraron buena fertilidad por ende alta calidad de suelo en este parámetro.

Los ácidos cambiables y Saturación de Aluminio en el área estudiada presentan un promedio de clase “bajo” en ambos parámetros. Según (Paitan, 2010) los cultivos de café, piña y otras especies de pasturas raras veces presentan una adaptación a la cal, inclusive en suelos con alto porcentaje de saturación de aluminio.

Los análisis de densidad aparente en el área estudiada nos indican que son ideales, según la tabla interpretativo realizado por (Sagarpa 2012). Asimismo, señaló que un suelo de buena calidad tiene valores bajos de densidad aparente, lo que se refleja en un suelo poroso, bien aireado y bien drenado consecuentemente a ello un crecimiento radicular adecuado, favoreciendo el desarrollo del cultivo. Y cuando representan valores elevados nos indica que el suelo está compactado. (Salamanca, 2004) señaló que el mayor crecimiento de las plantas se observa cuando la densidad sea menor, y conforme aumenta la densidad se reduce de manera proporcional la altura de las plantas. Asimismo, los resultados obtenidos por (Salamanca, 2004) concuerdan con lo obtenido en el área estudiada.

4.2. Calidad del suelo mediante la metodología de Cantú y Sagarpa.

Para poder determinar la calidad de suelo se requiere de un análisis de componentes principales (ACP).

4.2.1. Análisis de componentes principales

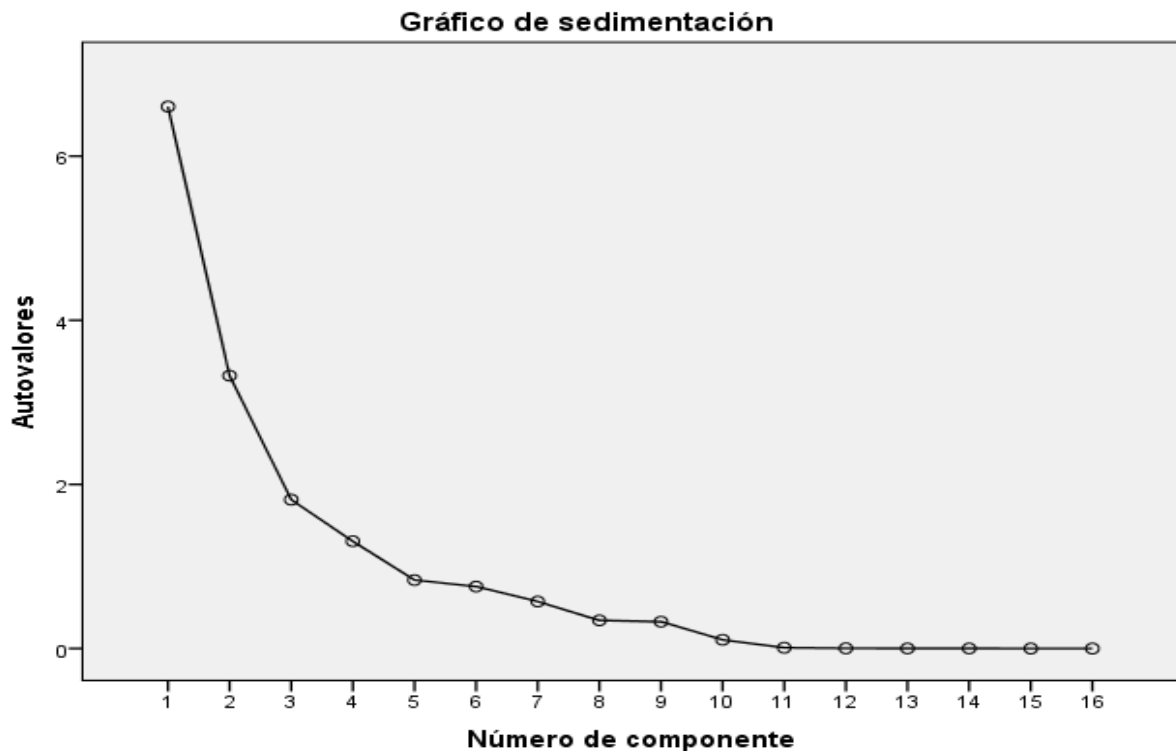
El análisis de Componente Principal nos permite encontrar cuales son las propiedades que siguen una secuencia de vectores ortogonales que expliquen de la forma más eficiente la varianza de las observaciones. Este análisis se realizó mediante el software Spss.

4.2.1.1. Varianza total explicada

En la **Tabla 19** y en la **Figura 3** se observa la varianza asociada a cada factor esto con el fin de determinar cuántos factores deben retenerse, para los cuales en este estudio tienden a ser cuatro factores que deben retenerse, porque el componente 1, 2, 3, y 4 tienen una varianza de 6,60, 3,33, 1,81 y 1,31 respectivamente y estas varianzas son autovalores recomendados para conservar ya que son mayores que 1 y entre los cuatro componentes recogen el 81,56% de la varianza total.

Tabla 19. Varianza total explicada por el ACP

Componente	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	6,604	41,274	41,274	6,558	40,988	40,988
2	3,325	20,779	62,053	2,455	15,344	56,332
3	1,814	11,335	73,387	2,120	13,253	69,585
4	1,307	8,169	81,556	1,915	11,971	81,556
5	0,835	5,216	86,772			
6	0,755	4,721	91,493			
7	0,573	3,579	95,072			
8	0,343	2,141	97,213			
9	0,327	2,042	99,255			
10	0,106	0,661	99,917			
11	0,009	0,058	99,975			
12	0,003	0,017	99,991			
13	0,001	0,005	99,997			
14	0,001	0,003	100,000			
15	0,000	0,000	100,000			
16	0,000	0,000	100,000			

**Figura 3.** Gráfico de sedimentación

4.2.1.2. Matriz de componentes e indicadores relevantes

Tabla 20. Matriz de componentes e indicadores relevantes

Indicador	Componente y/o factor			
	1	2	3	4
SAI (%)	-,975*	-,014	-,088	,073
SB (%)	,974*	,018	,093	-,083
AC (%)	-,974*	-,018	-,093	,083
Al ³⁺ (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	-,951*	-,040	-,103	,149
Ca ²⁺ (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	,905*	,086	,091	,270
pH	,900*	,062	-,228	,047
Mg ²⁺ (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	,800*	-,138	-,002	,128
N (%)	-,071	,948*	-,217	-,042
MO (%)	-,054	,942*	-,211	-,055
P (ppm)	,354	,683	-,068	,311
Arena (%)	,009	,173	-,935*	,253
Arcilla (%)	,036	-,230	,857*	,241
Da g/cm ³	,259	-,277	,445	-,304
Limo (%)	-,069	,045	,319	-,778*
K ⁺ (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	-,218	,068	,147	,662
CIC (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	,533	,056	-,003	,650

*Indicador relevante por ACP (carga factorial > 0,75)

En la **Tabla 20** se muestra los resultados de un Análisis Componente Principal (ACP), donde la mayor variación en el componente 1 son saturación bases, calcio, pH, magnesio, saturación de aluminio, acidez cambiante y aluminio. Asimismo, se aprecia que la saturación de aluminio, acidez cambiante y aluminio tienen una relación negativa lo que indica que mientras mayor sea los contenidos de estas propiedades menor será el contenido de saturación bases, calcio, pH, y magnesio. El componente 2 está representado por el nitrógeno y materia orgánica, en este indicador no existe contraposición en relación a las variables, por lo tanto, mientras mayor es el contenido de materia orgánica y nitrógeno, menor será la acidificación del suelo. Para el componente 3, tenemos la arena y arcilla, en este componente si existe contraposición ya que la arena tiene relación negativa lo que indica que mientras mayor sea el contenido de arena, el de arcilla tenderá a disminuir. Por último, tenemos el componente 4 y aquí solo el limo es el indicador relevante ya que su valor es -0,778.

Estos resultados son similares a los obtenidos por (Inocencio y Florida, 2022) ya que nos indica que los indicadores relevantes en su estudio demostrado son AC, BC y SAI para el Factor 1, MO y N para el Factor 2, CIC y Al para el Factor 3, arena y

limo para el Factor 4 y K+ para el factor 5. Cabe resaltar que las cargas factoriales obtenidas por Varimax nos permite determinar cuáles son los valores relevantes o correspondientes en cada componente teniendo en cuenta cargas factoriales de 0.75 porque el número de muestras realizadas es menor a 50.

4.2.2. Calidad del suelo

Para los resultados de índice de calidad de suelo se tuvo en cuenta todos los indicadores relevantes analizados en la **Tabla 20**.

En la **Tabla 21** se observan los resultados de indicador de calidad de suelo del café de 2 años siendo su valor medio $0,60\pm 0,13$ lo que nos indica que el índice de calidad es Marginal según (Sagarpa, 2012), y según (Cantú, 2007) este suelo presenta índice de calidad alta y se encuentra en clase 4. Los rangos de límite mínimo y máximo fluctúan de 0,31 a 0,79. En la **Tabla 21** también se observa el coeficiente de variación siendo su valor 21.82% por lo tanto pertenece a una clasificación de CV bajo escala propuesta por (Larreal, 2005), por lo tanto, el índice de calidad de suelo en el área estudiada es homogéneo.

En la **Tabla 22** se observan los resultados de indicador de calidad de suelo del café de 6 años, siendo su valor medio $0,36\pm 0,26$ lo que nos indica que el suelo es de calidad pobre y baja calidad según Sagarpa y Cantú respectivamente. Los rangos de límite máximo y mínimo fluctúan de 0,04 a 0,70. asimismo, se observa el coeficiente de variación que es de 72,96% perteneciendo a una clasificación muy alto, lo que significa que esta calidad en el área estudiado es heterogénea.

El valor medio obtenido para el café de dos años **Tabla 21** concuerda con (Mora, 2023) ya que, según el tratamiento de manejo tradicional de cacao de 8 años, parcela de cacao de 4 años y parcela de cacao de 8 años encontró calidad marginal y alta según Sagarpa y Cantú respectivamente. Sin embargo (Huisa, 2020) encontró ICS moderado en campos de agricultura intensiva de café en Alto Picuna. Asimismo (Prieto, 2013) señaló que el suelo de cebadera tiene un índice de calidad promedio de 0,50, ubicándose en clase 3 moderada calidad, y su valor ICS está muy influenciado por el índice COS, que es la característica más afectada por este tratamiento del suelo. No obstante, los resultados de ICS de la **Tabla 22** concuerdan con los obtenidos por (Estrada et al. 2017) ya que encontró el 62 % de los ICS de suelos agrícolas y degradados se encuentran en clases de calidad baja, muy baja, de exceso y déficit lo que significa que una proporción importante de esos suelos no son las condiciones de fertilidad óptimas para el buen desarrollo de los cultivos potenciales de la Mixteca Alta Oaxaqueña.

Tabla 21. Resultados de índice de calidad de suelo para café de 2 años.

M	Indicadores para café de 2 años																							ICS	
	MO	Rn	Ph	Rn	Mg	Rn	Ca	Rn	N	Rn	SB	Rn	Sal	Rn	AC	Rn	Al	Rn	Ao	Rn	Ar	Rn	Li.		Rn
M2	2,6	0,48	5,4	0,19	1,05	-0,32	4,49	0,90	0,13	0,55	83,06	0,66	16,23	0,84	17	0,66	1,15	0,43	29	-0,03	42	-0,06	29	-0,02	0,36
M4	3,6	0,69	5,8	0,40	1,05	-0,32	5,04	1,01	0,18	0,87	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	41	0,27	30	0,34	29	-0,02	0,62
M5	5,2	1,04	5,4	0,20	0,78	-0,41	5,34	1,07	0,26	1,39	92,74	0,85	4,93	1,13	7	0,85	0,34	0,83	31	0,02	28	0,41	41	0,28	0,64
M6	3,4	0,65	5,6	0,30	1,60	-0,13	5,24	1,05	0,17	0,81	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	19	-0,28	32	0,27	49	0,48	0,62
M7	4,5	0,89	6,2	0,60	0,86	-0,38	5,07	1,01	0,22	1,17	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	25	-0,13	44	-0,13	31	0,03	0,61
M8	4,8	0,96	6,4	0,70	0,65	-0,45	6,56	1,31	0,24	1,28	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	31	0,02	36	0,14	33	0,08	0,69
M9	5	1,00	6,4	0,70	1,08	-0,31	6,38	1,28	0,25	1,33	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	39	0,22	30	0,34	31	0,03	0,74
M10	3,8	0,74	5,6	0,30	1,17	-0,28	5,10	1,02	0,19	0,94	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	33	0,07	32	0,27	35	0,13	0,62
M16	3,7	0,71	5,6	0,30	1,51	-0,16	6,68	1,34	0,19	0,90	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	31	0,02	34	0,21	35	0,13	0,64
M17	4,8	0,95	6,2	0,60	1,62	-0,13	6,44	1,29	0,24	1,26	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	21	-0,23	46	-0,19	33	0,08	0,66
M18	2,6	0,46	5,6	0,30	1,01	-0,33	8,18	1,64	0,13	0,53	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	31	0,02	36	0,14	33	0,08	0,59
M19	2,9	0,54	4,8	-0,10	0,72	-0,43	4,79	0,96	0,15	0,64	85,90	0,72	10,50	0,99	14	0,72	0,70	0,65	19	-0,28	50	-0,33	31	0,03	0,34
M20	2,9	0,53	6	0,50	1,12	-0,29	6,27	1,25	0,14	0,62	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	21	-0,23	54	-0,46	25	-0,12	0,50
M21	2,9	0,52	5,8	0,40	1,54	-0,15	4,77	0,95	0,14	0,62	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	23	-0,18	44	-0,13	33	0,08	0,53
M23	4,8	0,96	6,4	0,70	1,04	-0,32	6,21	1,24	0,24	1,28	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	35	0,12	32	0,27	33	0,08	0,72
M24	4	0,78	6,3	0,65	1,43	-0,19	5,04	1,01	0,20	1,00	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	45	0,37	24	0,54	31	0,03	0,70
M25	2,9	0,53	5	0,00	0,64	-0,45	2,57	0,51	0,14	0,62	77,39	0,55	20,57	0,74	23	0,55	0,91	0,55	19	-0,28	38	0,07	43	0,33	0,31
M26	4,3	0,84	5,8	0,40	1,78	-0,08	5,39	1,08	0,21	1,09	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	21	-0,23	44	-0,13	35	0,13	0,61
M27	3,2	0,60	6,4	0,71	1,33	-0,22	5,29	1,06	0,16	0,73	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	39	0,22	28	0,41	33	0,08	0,65
M28	4,7	0,93	7	0,99	1,34	-0,22	5,93	1,19	0,23	1,22	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	55	0,62	20	0,67	25	-0,12	0,79
Valor de índice calidad suelo	Máximo = 0,79											Min= 0,31					Medio = 0,60±0,13								
CV																								21,82	
Clase o nivel de Calidad de Suelo	*Marginal											**Alta Calidad													

ICS: Indicador de Calidad de Suelo, CV: Coeficiente de Variación, *Sagarpa (2012), **Cantú (2007)

Tabla 22. Resultados de índice de calidad de suelo para café de 6 años.

M	Indicadores para café de 6 años																								ICS
	MO	Rn	Ph	Rn	Mg	Rn	Ca	Rn	N	Rn	SB	Rn	Sal	Rn	AC	Rn	Al	Rn	Ao	Rn	Ar	Rn	Li.	Rn	
M1	2	0,33	5,1	0,05	0,89	-0,37	2,78	0,56	0,10	0,32	56,79	0,14	33,85	0,40	43	0,14	2,35	-0,18	31	0,02	38	0,07	31	0,03	0,13
M3	5,6	1,14	4,5	-0,28	0,36	-0,55	1,96	0,39	0,28	1,54	42,09	-0,16	48,31	0,04	58	-0,16	3,17	-0,59	51	0,52	26	0,47	23	-0,17	0,18
M11	3,8	0,73	6	0,50	1,98	-0,01	6,14	1,23	0,19	0,92	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	45	0,37	26	0,47	29	-0,02	0,70
M12	4,5	0,89	4,9	-0,05	0,79	-0,40	3,23	0,65	0,22	1,17	73,21	0,46	23,44	0,66	27	0,46	1,40	0,30	27	-0,08	36	0,14	37	0,18	0,37
M13	3,2	0,59	6,1	0,55	0,91	-0,36	5,33	1,07	0,16	0,72	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	35	0,12	26	0,47	39	0,23	0,64
M14	3,6	0,69	5,1	0,05	0,66	-0,45	2,46	0,49	0,18	0,87	85,72	0,71	12,98	0,93	14	0,71	0,50	0,75	31	0,02	28	0,41	41	0,28	0,46
M15	4,6	0,90	4,1	-0,45	0,27	-0,58	1,63	0,33	0,23	1,18	35,18	-0,30	57,68	-0,19	65	-0,30	3,47	-0,74	31	0,02	30	0,34	39	0,23	0,04
M22	3,5	0,66	6,5	0,75	1,68	-0,11	6,33	1,27	0,17	0,83	100,00	1,00	0,00	1,25	0	1,00	0,00	1,00	39	0,22	30	0,34	31	0,03	0,69
M29	4,6	0,90	4,7	-0,17	0,30	-0,57	2,50	0,50	0,23	1,18	62,30	0,25	31,07	0,47	38	0,25	1,50	0,25	35	0,12	28	0,41	37	0,18	0,31
M30	3,3	0,63	4,5	-0,24	0,38	-0,54	1,78	0,36	0,17	0,77	33,43	-0,33	55,82	-0,15	67	-0,33	4,00	-1,00	35	0,12	34	0,21	31	0,03	0,04
Valor de índice calidad suelo							Máximo = 0,70							Min= 0,04							Medio = 0,36±0,26				
CV																								72,96	
Clase o nivel de Calidad de Suelo												*Pobre						**Baja Calidad							

ICS: Indicador de Calidad de Suelo, CV: Coeficiente de Variación, *Sagarpa (2012), **Cantú (2007)

4.3. Distribución espacial de la calidad del suelo a través del método Kriging

4.3.1. Análisis exploratorio de datos

Para obtener de manera eficiente una distribución espacial necesariamente se realiza el análisis exploratorio de datos tal y como se observa en la **Tabla 23**, dicha tabla nos señala que las variables mostradas evidencian que sí existe una distribución normal ya que la media y mediana coinciden a excepción de la saturación de aluminio, ácidos cambiabiles y aluminio estos presentan una distribución normal estándar ya que tienen una mediana de 0, el coeficiente de asimetría están próximo a 0 lo que representa una distribución normal, las variables de M.O, pH, Mg, Ca, SB y Ao tienen coeficiente de asimetría inferiores a 0 lo que significa que tienen una asimetría negativa, sin embargo, la variable N, Sal, AC, Al, Ar y Li. tiene una asimetría positiva ya que su valor (0,12) es superior a 0. La curtosis mide la concentración de valores en una parte de la distribución de frecuencias, si este tiene un valor de 3 o muy cercano a 3, nos indica que tiene una distribución normal (Moreno, 2008).

Según (Moreno, 2008) señala que para obtener los valores más cercanos a una distribución normal se realiza transformaciones de los datos, en nuestra investigación se realizó dichas transformaciones, ya que las variables sin transformaciones no presentaban una distribución o probabilidad normal, dichas transformaciones son evidenciados en la columna TF de la **Tabla 23**, donde para M.O., Mg, SB, Ao, Ar y Li se usó transformación Logarítmica, para pH, Ca y N se usó transformación Box Cox, y para Sal, AC y Al se usó transformaciones de NS (puntuación normal o Normal Score).

Tabla 23. Análisis exploratorio de datos

Análisis exploratorio de datos					
	TF	Media	Mediana	Asimetría	Curtosis
M.O.	Log	1,75	1,73	-0,26	2,35
Ph	Box Cox 0,4	1,72	1,74	-0,56	2,51
Mg	Log	-0,06	0,04	-0,85	3,03
Ca	Box Cox 0,4	2,11	2,32	-0,8	2,5
N	Box Cox 0,7	-0,98	-0,98	0,12	2,19
SB	log	4,43	4,6	-1,92	5,49
Sal	NS	10,57	0	1,6	4,31
AC	NS	12,4	0	1,58	4,18
Al	NS	0,65	0	1,79	4,99
Ao	Log	3,43	3,43	-0,12	2,3
Ar	Log	3,49	3,45	0,16	2,56
Li	Log	3,51	3,51	0,07	3,27

TF: Transformación, NS: Normal score

4.3.2. Análisis estructural (calculo y modelado de superficie)

4.3.2.1. Modelado de semivariograma en el Kriging

En la **Tabla 24** se muestra los resultados de semivariograma que se usó para interpolación geoestadística del área estudiada. El tipo de Kriging que se usó para determinar la interpolación fueron Kriging Ordinario (M.O., pH, N, AC, Al, Ar, Li) y Kriging Simple (Mg, Ca, SB, Sal, Ao). Para (Moreno, 2008) el Kriging es una variable predictora y no requiere que los datos sean normales tanto en el Ordinario como en el Simple, ante ello se calcula el semivariograma empírico, pero abordamos el ajuste de una función matemática (modelo) que indique el semivariograma teórico, esto nos permite describir la continuidad espacial de los datos y ver si esta cambia o no con la distancia y la dirección. Asimismo, Kriging es adecuado para modelar con precisión un comportamiento uniforme en una región en lugar de modelar fenómenos que varían ampliamente, y es útil debido a su naturaleza predictiva cuando la muestra tiene pocos datos (<50) (Oliver, 1990).

En esta investigación los modelos que se utilizó para el semivariograma fueron el esférico (M.O, SB y Al), exponencial (Mg, N, AC, Ao, Ar), Estable (pH, Ca y Limo), y Gaussiano para el Sal. El modelo Stable no muy usado, pero en nuestro caso fue el que mejor se ajustó al semivariograma experimental. Los resultados obtenidos para M.O., SB, Mg y N concuerdan con (Webster y Oliver, 2007) dado que indican que los modelos de semivariograma más comunes en el estudio de propiedades específicas del suelo son los modelos esférico y exponencial, además señala que estos modelos deben preferirse sobre los demás. Sin embargo, (Inocencio y Florida, 2022) encontraron el mejor ajuste en modelos lineales para Arena, Limo, N, K, Al, CIC, BC, AC, Sal; y exponencial para M.O. Asimismo (Rodríguez et al., 2016) encontró el mejor ajuste en modelos Gaussiano, exponencial y esférico y señaló que los modelos de mayor ajuste son gaussiano y exponencial. También (Jaramillo, 2012) encontró el mejor ajuste al semivariograma empírico en modelo exponencial y esférico, en su investigación variabilidad espacial de las bases en un andisol de la zona cafetera central colombiana.

Tabla 24. Análisis estructural para el semivariograma

Indicador	Tipo	Modelo	Nugget	Rango	Sill	GDE
MO (%)	KO	Spherical	0,08	104,63	0,14	54,40
Ph	KO	Stable	0,00	56,20	0,01	0,00
Mg ²⁺	KS	Exponential	0,08	305,47	0,14	59,53
Ca ²⁺	KS	Stable	0,09	77,95	0,23	37,76
N (%)	KO	Exponential	0,00	114,97	0,00	41,87

SB	KS	Spherical	0,01	73,34	0,02	46,26
Sal	KS	Gausiano	0,82	84,15	1,14	71,97
AC	KO	Exponential	1,12	260,13	1,34	83,58
Al ³⁺	KO	Spherical	0,14	97,50	0,23	62,15
Arena	KS	Exponential	0,01	77,95	0,08	11,22
Arcilla	KO	Exponential	0,02	86,47	0,04	46,98
Limo	KO	Stable	0,00	58,95	0,03	0,00

GDE: Grado de dependencia espacial

Existen varios modelos de funciones, pero hay algunos parámetros que son comunes a todo, los cuales son el efecto pepita o nugget, meseta parcial o sill, alcance o rango y meseta o sill. En la **Tabla 24** se muestran los valores obtenidos de nugget que son muy cercanos a 0 en todas las variables evaluadas, varían de 0,00 a 1,12 a diferencia de (Inocencio y Florida, 2022) que encontró valores de 0,5, 0,8 y 71,39 en M.O., N y SB respectivamente, (Jaramillo, 2012) y (China & Rodríguez 2021, citado por Inocencio y Florida, 2022) recomendaron tener un nugget muy cercano a 0 o valores menores en comparación al sill. Asimismo, (Jaramillo, 2012) señaló que valores altos de nugget expresan alta variabilidad en campo y posibles errores en la medición. El efecto pepita de pH en nuestra medición es inferior a lo obtenido por (Rodríguez, 2016) ellos usaron un modelo gaussiano, también sucede lo mismo con el Mg, para el calcio (Rodríguez, 2016) uso el modelo esférico obteniendo un valor de 0,22 lo cual es superior a lo obtenido en nuestra investigación (modelo Estable), el efecto nugget o pepita en M.O. fue menor a lo obtenido por (Vicente, 2022) usaron el modelo gaussiano en su investigación, sin embargo usó el mismo modelo para el N y los resultados coinciden con nuestra investigación, en nuestro caso usamos el modelo exponencial.

En nuestra investigación el parámetro rango o alcance fluctúa de 56,20 a 305,47 los cuales son muy parecidos a los obtenidos por (Inocencio y Florida 2022) asimismo, señaló que dichos valores son muy altos en comparación a las distancias muestreadas (30m). (Silvia, 2011), señaló que un rango alto indica datos homogéneos, mientras que un rango pequeño expresa alta variabilidad de muestreo. Los resultados obtenidos son superiores a los obtenidos por (Deleg, 2018) ya que en su investigación indica que la fluctuación del rango de los parámetros evaluados fue de 19,9 a 45,03m a excepción de la densidad aparente y resistencia a la penetración teniendo en cuenta las distancias muestreadas a 10m.

Dentro de la meseta o sill se puede cuantificar el grado de dependencia espacial, no obstante (Zimback, 2001; citado por Córdoba et al., 2019) establece que el grado de dependencia espacial es clasificado como $\leq 25\%$ bajo, entre 25% y 75% medio y $\geq 75\%$ alto. Por lo tanto, en su mayoría nuestras variables evaluadas se encuentran en un

grado de dependencia espacial media, a excepción del pH y Limo que es de dependencia espacial bajo, y los ácidos cambiables con dependencia espacial alto. Estos resultados se pueden constatar con (Inocencio y Florida, 2022) ya que encontraron dependencia espacial moderada para M.O. y N resultados similares fueron obtenidos por (Deleg, 2018).

4.3.3. Validación cruzada y predicción de superficie

4.3.3.1. Validación cruzada

Para que las predicciones sean insesgadas (Moreno, 2008) propuso que la media estandarizada de los errores debe ser 0 o cerca de 0, el error cuadrático medio estandarizado debe ser 1 o cerca de 1, y la diferencia de error típico medio y el error cuadrático medio debe ser mínima. En la **Tabla 25** se muestra los resultados obtenidos de la validación cruzada y observamos que las diferencias del error cuadrático medio y el error típico medio son mínimas en todas las variables evaluadas, asimismo la media estandarizada fluctúa de -0,14 a 0,01 dichos valores están muy cerca de 0 en todas las variables sin excepción, también observamos el error medio estandarizado que fluctúa de 1.06 a 1.44 los cuales también están cerca de la unidad en todas las variables.

Tabla 25. Errores y eficiencia de predicción.

Variable	Media de los errores	Error cuadrático medio	Error típico medio	Media estandarizada de los errores	Error cuadrático medio estandarizado	Eficiencia de Predicción
MO (%)	-0,01	0,93	0,82	-0,04	1,12	70,73
Ph	0,01	0,58	0,51	-0,03	1,23	99,84
Mg ²⁺	0,01	0,39	0,37	-0,14	1,44	63,47
Ca ²⁺	0,06	1,17	1,08	0,01	1,06	90,87
N (%)	0,00	0,05	0,04	0,01	1,15	83,11
SB	0,51	10,30	10,37	-0,01	1,19	94,80
Sal	-0,18	9,79	7,69	-0,02	1,27	99,98
AC	0,29	11,63	9,30	0,03	1,23	89,35
Al ³⁺	0,01	0,58	0,48	0,03	1,20	91,81
Arena	0,73	9,02	8,76	0,03	1,04	98,19
Arcilla	-0,11	6,61	7,29	-0,04	0,95	85,75
Limo	0,00	6,25	5,03	0,00	1,21	99,95
ICS						88,99

ICS: índice de calidad de suelo

Asimismo, se observa la eficiencia de predicción usando la fórmula de (Kravchenco, 2003), este autor nos señala que un valor de 100 indica predicciones perfectas, valores inferiores o negativos indican una estructura espacial deficiente, por lo que no es posible crear un mapa con un muestreo denso, sino que se utiliza el promedio general de

los datos. Los límites mínimos y máximos de la eficiencia de predicción obtenida es 63.47 (Mg) y 99.98 (Sal) respectivamente. Los valores de predicción de M.O., Ca, N y SB también están muy cercanos a 100 lo que indica que la estructura espacial no es pobre. (Inocencio y Florida, 2022) encontró valores de 13,35 y 10,14 para M.O. y N, los cuales son inferiores a los valores obtenidos en esta investigación.

4.3.3.2. Predicción de superficie

En la **Tabla 26** y **Mapa 1** se muestra la predicción de superficie de la variable materia orgánica los cuales pertenecen a una clasificación medio y alto propuesto por (Sagarpa, 2012), asimismo la clasificación alta abarca en mayor porcentaje de área 36.20% y 24,13% de 2 y 6 años respectivamente. (Inmecafé Nestlé, 1990 citado por Rosas, 2006) recomienda una fertilización completa en suelos de café con contenido menores del 7% de MO, mientras que contenidos mayores al 10% de MO propuso no realizar fertilización. En Brasil, el campo de café ideal debe incluir aproximadamente 5 % de MO, (Carvajal, 1984) citado por Rosas, 2006). Sin embargo, (MINAGRI, 2017) establece rangos mínimos y máximos para el contenido de Materia Orgánica (MO) de los suelos por lo que señala que el café debe estar entre 2 y 4 %, los cuales si concuerdan con la investigación.

Tabla 26. Rango interpretativo para MO.

Variable	Descripción		Café 2 años		Café 6 años	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
MO (%)	1,5 - 3,5	Medio	1,08	29,64	0,37	10,03
	3,5 - 6	Alto	1,32	36,2	0,88	24,13

En la **Tabla 27** y **Mapa 2** se observa la distribución espacial del pH. Asimismo, se observa que el café de 6 años tiene un mayor porcentaje de pH en clasificación fuertemente ácido a diferencia del café de 2 años que presenta un pH moderadamente ácido. Esto se debe a que el café no lleva una fertilización, por lo que conforme se saca el producto en grano este tiende a disminuir.

Tabla 27. Rango interpretativo para el pH

Variable	Descripción		Café 2 años		Café 6 años	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
pH	0 - <5	Fuertemente ácido	0,01	0,16	0,64	17,55
	≤5 - <6,5	Moderadamente ácido	2,38	65,39	0,6	16,33
	≤6,5 - <7,3	Neutro	0,01	0,28	0,01	0,28

En la **Tabla 28** y **Mapa 3** se observa la distribución espacial del contenido de Magnesio en cultivo de café. Se puede apreciar que el contenido de magnesio varía de clase baja a media para café de 2 años y para café de 6 años presenta contenido de magnesio que van de muy bajo a medio. Esto indica una deficiencia de magnesio a medida que pasa el año. Para corregir esta deficiencia, se deben utilizar materiales de piedra caliza ricos en magnesio, especialmente la piedra caliza dolomita cuando se necesita corregir la acidez del suelo, (Cenicafe, 2017).

Tabla 28. Rango interpretativo para el magnesio

Variable	Descripción		Café 2 años		Café 6 años	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Mg ²⁺	<0,5	Muy bajo	0	0	0,48	13,22
	≤0,5 - <1,3	bajo	1,78	48,67	0,72	19,87
	≤1,3 - <3	Medio	0,63	17,18	0,04	1,07

La **Tabla 29** y **Mapa 4** presenta el contenido de calcio para café de 6 años en su mayoría se encuentra en una clase Muy bajo y Bajo, a diferencia del café de 2 años que presenta una clase media en su mayoría del área. Para evitar la reducción de Ca se plantea la corrección de la acidez del suelo, se puede usar un fertilizante como el sulfato de calcio si el pH es correcto siempre y cuando teniendo en cuenta en el análisis del suelo (Cenicafe, 2017).

Tabla 29. Rango interpretativo para el calcio.

Variable	Descripción		Café 2 años		Café 6 años	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Ca ²⁺	<2	Muy bajo	0	0	0,29	7,94
	≤2 - <5	Bajo	0,54	14,86	0,78	21,4
	≤5 - <10	Medio	1,86	50,98	0,18	4,82

De manera generalizada no se observan diferencias significativas de deficiencia al pasar los años en el contenido de Nitrógeno **Tabla 30** y **Mapa 5** ya que en su mayoría presentan nitrógeno alto según escala de clasificación (Sagarpa, 2012). Asimismo, se observa que el café de 2 años tiene mayor porcentaje de nitrógeno en clase media en comparación con el café de 6 años. (Sadeghian 2010) señala que las deficiencias en los micronutrientes (Ca, Mg, N) no son comunes para el cultivo de café, por lo que estos normalmente no se incluyen en los planes de fertilización. En nuestros resultados se puede

observar que el calcio disminuye más que el nitrógeno al pasar los años, por lo que se podría realizar planes de fertilización para este elemento.

Tabla 30. Rango interpretativo para el nitrógeno

Variable	Descripción		Café 2 años		Café 6 años	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
N (%)	0,1 - <0,15	Medio	0,6	16,53	0,04	1,02
	0,15 - <0,25	Alto	1,77	48,48	1,14	31,14
	≥0,25	Muy Alto	0,03	0,82	0,07	1,99

La saturación de bases es menor en el café de 6 años a diferencia del café de dos años **Tabla 31** y **Mapa 6** el café de dos años en toda el área tiene una saturación de bases alto y el café de seis años presenta clase bajo, medio y alto, eso debido a que no se aplica ningún manejo orgánico o inorgánico.

Tabla 31. Rango interpretativo para saturación de bases

Variable	Descripción		Café 2 años		Café 6 años	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
SB (%)	0 - 35	Bajo	0	0	0,05	1,47
	35 - 50	Medio	0	0	0,36	9,79
	50 - 100	Alto	2,4	65,84	0,83	22,89

El porcentaje de saturación de aluminio se puede observar en la **Tabla 32** y **Mapa 7**, ahí se evidencia que el café de 2 años tiene bajo porcentaje de saturación de aluminio y el café de 6 años en la mayoría de su área presenta clase alto de saturación de aluminio, lo cual es normal ya que los contenidos de bases eran menores para esta área.

Tabla 32. Rango interpretativo para saturación de aluminio

Variable	Descripción		Café 2 años		Café 6 años	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Sal (%)	0 - 15	Bajo	2,29	62,77	0,24	6,62
	15 - 30	Medio	0,11	3,07	0,28	7,68
	30 - 60	Alto	0	0	0,72	19,86

En la **Tabla 33** y **Mapa 8** se muestran los rangos interpretativos para ácidos cambiables, por lo que se evidencia que los ácidos cambiables para café de dos años son bajos en toda su área estudiada a diferencia del café de 6 años que tiene ácidos cambiables bajo, medio y alto.

Tabla 33. Rango interpretativo para ácidos cambiabiles

Variable	Descripción		Café 2 años		Café 6 años	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
AC (%)	0 - 35	Bajo	2,4	65,84	0,51	14,02
	35 - 50	Medio	0	0	0,38	10,32
	50 -100	Alto	0	0	0,36	9,82

En la **Tabla 34** y **Mapa 9** se observa que el aluminio presenta una clase muy alto, medio y bajo para café de 6 años, asimismo el café de 2 años tiene clase muy alto, alto, medio y bajo, con la diferencia de que en el café de 6 años en su mayoría de área presenta aluminio muy alto y el café de 2 años en su mayoría del área estudiada presenta aluminio bajo.

Tabla 34. Rango interpretativo de aluminio

Variable	Descripción		Café 2 años		Café 6 años	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Al ³⁺ (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	<0,1	Bajo	2,04	56	0,2	5,39
	0,1 - 0,5	Medio	0,06	1,59	0,01	0,28
	0,5 - 1	Alto	0,13	3,6	0	0
	>1	Muy alto	0,17	4,66	1,04	28,47

En la **Tabla 35** y **Mapa 10** se observa que el porcentaje de arena varia de clase bajo, medio y alto para el café de 2 años y para el café de 6 años varia de medio a alto.

Tabla 35. Rango interpretativo de la arena.

Variable	Descripción		Café 2 años		Café 6 años	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Arena (%)	0 - 20	Bajo	0,18	5,02	0	0
	20 - 50	Medio	2,216	60,77	1,243	34,08
	50 - 85	Alto	0,002	0,05	0,003	0,07

En la **tabla 36** y **Mapa 11** se muestra los resultados obtenidos de la distribución espacial de la arcilla en el área estudiada, donde nos señala que el café de 6 años en toda su área presenta arena de clase media, y el café de 2 años presenta arena de clase bajo medio y alto.

Tabla 36. Rango Interpretativo de arcilla.

Variable	Descripción		Café 2 años		Café 6 años	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Arcilla (%)	0 - 20	Bajo	0,04	1,19	0	0
	20 - 50	Medio	2,17	59,5	1,25	34,16
	50 - 85	Alto	0,19	5,15	0	0

En la **Tabla 37** y **Mapa 12** se muestra la distribución espacial del Limo, donde nos indica que el 100% del área estudiada presenta limo de clase medio.

Tabla 37. Rango interpretativo de limo.

Variable	Descripción		Café 2 años		Café 6 años	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Limo (%)	20 - 50	Medio	2,4	65,84	1,25	34,16

En la **Tabla 38** y **Mapa 13** se muestra los rangos interpretativos de pendiente, donde nos indica que el 94% de toda el área estudiada presenta pendientes que varían de clase fuertemente inclinado a muy escarpado.

Tabla 38. Rango interpretativo de pendiente

Variable	Descripción		Café	
	Intervalo	Clase	Área (ha)	Área (%)
Pendiente (%)	0 - 2%	Nivel	0.01	0.19
	2.1 - 5%	Suavemente Inclinado	0.02	0.48
	5.1 - 10%	Inclinado	0.04	1.06
	10.1 - 15%	Moderadamente Inclinado	0.14	3.97
	15.1 - 30%	Fuertemente Inclinado	0.78	21.41
	30.1 - 60%	Escarpado	1.95	53.34
	>60%	Muy escarpado	0.71	19.47

En la **Tabla 39** y **Mapa 14** se muestra la distribución espacial de calidad de suelo para el café de seis años y dos años en donde se encuentra en un rango de clase muy baja calidad, baja calidad, moderada calidad y alta calidad. Se puede evidenciar que el café de seis años en su mayoría del área estudiada presenta clase de muy baja y baja calidad. No obstante, el café de dos años en su mayoría del área estudiada presenta alta y moderada calidad.

Tabla 39. Índice de calidad de suelo

Variable	Descripción		Área (ha)	Área (%)
	Intervalo	Clase		
ICS	0 - \leq 0,19	Muy baja calidad	0.42	11.51%
	0,20 - \leq 0,39	Baja calidad	0.54	14.79%
	0,40 - \leq 0,59	Moderada calidad	1.16	31.78%
	0,60 - \leq 0,79	Alta calidad	1.53	41.92%
Total			3,65	100

4.4. Análisis Estadístico de Correlación

En la **Tabla 40**, tenemos los resultados de los análisis de correlación utilizados para la distribución espacial de índice de calidad de suelo.

El análisis de correlación muestra que la arcilla y limo tiene una correlación negativa considerable y media respectivamente con la arena, lo que nos indica que estas variables son altamente significativas evaluando al ($P < 0,01$).

El nitrógeno tiene una correlación positiva muy fuerte ($r = 0.998$) con la materia orgánica y correlación negativa débil con la arena ($r = -0.372$), esto determina que las variaciones del contenido de nitrógeno están relacionadas por la dinámica de la materia orgánica en el suelo. Resultados similares fueron encontrados por (Arteaga, 2016) en su estudio “Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia”. Según (Fassbender y Bornemisza, 1994 citado por Arteaga, 2016) el 95 -98% del nitrógeno total este añadido a sustancias orgánicas, transformando a la materia orgánica como fuente primaria de este elemento.

El análisis de correlación **Tabla 40** del calcio alcanzó una correlación positiva considerable y altamente significativo con el pH ($r = 0.792$), (Arteaga, 2016), indica que la acidez del suelo, está asociado con las bases intercambiables ante todo con el calcio ($r = 0,56$) y el potasio ($r = 0,47$). Resultados similares fueron obtenidos por (Geissert e Ibáñez, 2000 citado por Arteaga, 2016), en su trabajo de calidad y ambiente físico-químico de los suelos cafeteros y forestales. Del mismo modo, dichos valores, señalan que, en comparecencia de altos niveles de pH la absorción de bases cambiabiles aumenta en la reacción del suelo, disminuyendo pérdida de nutrientes por fenómenos de lixiviación (Tamhane, 1979 citado por Arteaga, 2016).

Tabla 40. Análisis de correlación entre las variables usados para indicador de calidad de suelo.

		Correlaciones										
V		Ao	Ar	Li	pH	M.O	N	Ca	Mg	Al	SB	AC
Ar	Correlación de Pearson	-,806**										
	Sig. (bilateral)	0.000										
Li	Correlación de Pearson	-,502**	-0.106									
	Sig. (bilateral)	0.005	0.576									
pH	Correlación de Pearson	0.238	-0.097	-0.259								
	Sig. (bilateral)	0.205	0.611	0.167								
M.O.	Correlación de Pearson	0.347	-0.358	-0.059	0.088							
	Sig. (bilateral)	0.061	0.052	0.758	0.642							
N	Correlación de Pearson	0.355	-,372*	-0.053	0.067	,998**						
	Sig. (bilateral)	0.054	0.043	0.783	0.727	0.000						
Ca	Correlación de Pearson	-0.001	0.127	-0.184	,792**	-0.007	-0.015					
	Sig. (bilateral)	0.997	0.504	0.330	0.000	0.971	0.937					
Mg	Correlación de Pearson	-0.002	0.063	-0.090	,669**	-0.159	-0.174	,663**				
	Sig. (bilateral)	0.992	0.739	0.638	0.000	0.401	0.359	0.00				
Al	Correlación de Pearson	0.109	-0.079	-0.069	-,802**	0.038	0.057	-,820**	-,678**			
	Sig. (bilateral)	0.565	0.679	0.718	0.000	0.841	0.765	0.000	0.000			
SB	Correlación de Pearson	-0.092	0.096	0.014	,837**	-0.056	-0.075	,858**	,717**	-,991**		
	Sig. (bilateral)	0.627	0.612	0.941	0.000	0.767	0.692	0.000	0.000	0.000		
AC	Correlación de Pearson	0.092	-0.096	-0.014	-,837**	0.056	0.075	-,858**	-,717**	,991**	-1,000**	
	Sig. (bilateral)	0.627	0.612	0.940	0.000	0.767	0.692	0.000	0.000	0.000	0.000	
Sal	Correlación de Pearson	0.086	-0.099	-0.001	-,838**	0.060	0.078	-,861**	-,717**	,990**	-,998**	,998**
	Sig. (bilateral)	0.650	0.604	0.995	0.000	0.752	0.681	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

* significativo (P<0,05), ** altamente significativo (P<0,01)

El Magnesio presenta una correlación positiva media y altamente significativa con el pH (0.669) y el calcio (0.663). Arteaga (2016) en su estudio de Comportamiento de variables químicas de un suelo, encontró correlación solo entre Magnesio y calcio. Lo mismo sucedió con, Valbuena et al (2017) encontró correlaciones solo entre el magnesio y calcio, más no con el pH. Y Silva (2017) et al, no encontró ninguna correlación entre estas variables en su estudio de Variables suelo en café orgánico. Sin embargo, nuestros resultados concuerdan con Rodríguez et al (2016), ya que encontró correlación entre el Magnesio con pH ($r = 0.76$) y Ca (0.78), lo que significa que los escasos de estos elementos en el suelo no son muy significativos. Los resultados obtenidos por Arteaga (2016), Valbuena (2017) y Silva (2017) señalan que los suelos estudiados tienen escasos de magnesio ya que no encontraron correlación.

El aluminio presenta una correlación negativa considerable con el pH y Ca, y con el Mg presenta una correlación negativa media, asimismo cuando el porcentaje de saturación de Al intercambiable está por encima de 25%, el Al^{3+} es el catión predominante en el complejo de cambio, disminuyendo los niveles de Calcio (Castro & Munévar, 2013).

Con respecto a la Saturación de Bases este tiene una correlación positiva considerable Altamente Significativa con el pH ($r = 0,837$) y el Calcio ($r = 0,858$), correlación positiva media Altamente Significativa con el Magnesio ($r = 0,717$). Los resultados obtenidos de correlación obtenidos por Valbuena et al (2017) entre Saturación de bases con Calcio ($r = 0,75$) y Magnesio ($r = 0,51$) son menores a nuestros resultados, pero se encuentran en una correlación positiva considerable y media, el mismo rango que nuestros resultados.

Los ácidos cambiables tienen una correlación negativa considerable con el pH y Ca, correlación negativa media con el Mg, correlación positiva muy fuerte con el aluminio y correlación negativa perfecta con SB. Asimismo, la saturación de aluminio tiene correlación negativa considerable con el pH y Ca, correlación negativa media con el Mg, correlación positiva muy fuerte con Al y AC, y correlación negativa muy fuerte con la SB.

V. CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas como la textura y densidad se encuentran en los rangos óptimos para el cultivo de café. Asimismo, las propiedades químicas presentan diferencias estadísticas significativas con pH moderadamente ácido; materia orgánica, nitrógeno, SB y aluminio alto, potasio medio; fósforo calcio, magnesio, CIC, AC y Sal Bajo. Con coeficientes de variación bajos para ph, materia orgánica, nitrógeno, SB, CIC; potasio, calcio y magnesio medios y altos para fósforo, aluminio, ácidos cambiables y saturación de aluminio.
2. Para determinar el índice de calidad de suelo se realizó el análisis de componente principales dentro de ello la varianza total explicada, por lo que se determinó que 4 factores se retienen ya que recogen el 81.56% de la varianza total. Ante ello nos determinó que las propiedades o variables relevantes a utilizar en el índice de calidad de suelo en el área estudiada son: SB, Ca^{2+} , Ph, Mg^{2+} , N, MO, Ao, Ar, Li, Sal, Al y AC. Con las variables relevantes obtenidos nos determinó que la calidad de suelo promedio en el área estudiada para (Cantú, 2007) es de moderada calidad y para (Sagarpa, 2012) es Marginal. Asimismo, que varían desde muy baja calidad a alta Calidad (Cantú, 2007) y de pobre a sensible (Sagarpa, 2012); esto se determinó usando los valores mínimos y máximos del ICS.
3. Para la Distribución espacial de Calidad de Suelo se usó el Kriging Simple y Ordinario, ya que este es un método de interpolación geoestadístico, que nos permite estudiar la autocorrelación espacial de las variables. Asimismo, en el semivariograma se usó los modelos esférico, estable, exponencial y gaussiano porque con estos modelos se logró ajustar el semivariograma teórico al semivariograma experimental, por consiguiente, menor error de predicción. Para la eficiencia de predicción se usó la formula propuesto por (Kravchenco 2003) y nos determinó una eficiencia de predicción que varía desde 63.47 a 99.84. obteniendo un promedio de predicción de ICS 88.99. El índice de calidad de suelo presento un mayor porcentaje en clase alta calidad con 41.92%, asimismo la clasificación moderada calidad tuvo un área de 31.78%, baja calidad con 14.79% y muy baja calidad con 11.51%.
4. En el análisis de correlación se determinó que el nitrógeno tiene correlación positiva con la materia orgánica, al igual que el calcio con el ph, asimismo el magnesio tiene correlación positiva con el ph y el calcio, la variable saturación de bases tiene una correlación positiva con el ph, calcio y magnesio, los ácidos cambiables tienen una

correlación negativa considerable con el pH y Ca, correlación negativa media con el Mg, correlación positiva muy fuerte con el aluminio y correlación negativa perfecta con SB. Asimismo, la saturación de aluminio tiene correlación negativa considerable con el pH y Ca, correlación negativa media con el Mg, correlación positiva muy fuerte con Al y AC, y correlación negativa muy fuerte con la SB.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Aplicar la geoestadística para generar modelos de superficie con áreas deficientes en la producción del café, por consiguiente, visualizar la variabilidad espacial y con ello determinar los tipos de abonos que se podría aplicar para la mejora de su producción y calidad.
2. Realizar una comparación de interpolaciones entre los métodos deterministas (IDW o polinómicas) y geoestadísticos (Kriging Simple, Ordinario y Universal), con ello determinar cuál es el interpolador deseable para generar los mejores modelos de superficie utilizando la fórmula de eficiencia de predicción propuesto por Kravchenko, 2003.
3. Aplicar abonos orgánicos que mejoren los niveles de pH, materia orgánica, calcio y magnesio al café de 6 años ya que se puede visualizar que la calidad del suelo en el área es pobre y baja calidad.
4. Optimizar la eficiencia en la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos, ante ello aumentar la calidad de suelo y por consiguiente el aumento de producción y rendimiento de *coffea arabica* en la zona, ya que los estudios geoestadísticos nos sirven como referencia para los agricultores de la zona.
5. Realizar un estudio de distribución espacial de factores de formación de suelo (clima, organismos, relieve) ya que nos permitirá determinar una calidad de suelo con mejor detalle.

VII. REFERENCIAS

- Acevedo, E., Carrasco, A., León, O., Silva, P., Castillo, G., Borie, G., Martínez, E., González, S. & Ahumada, I. (2005). Criterios de calidad del suelo agrícola. [En línea]: USDA, <http://soils.usda.gov/sqi/informe>, 22 Feb. 2020
- Aguilar G. & Ramírez, (2015). Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAvH). Bogotá D.C., Colombia. 250 pp.
- Aguilera, C.; & Martínez, E.; (1990). Relaciones Agua, Suelos, Planta y Atmósfera. Departamento de Enseñanza Investigación y Servicio en Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 321p.
- Arcila et al., (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. Fitotecnia, Prácticas de cultivo, Caficultura, Manejo de cafetales. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/720/1/Sistemas%20producci%C3%B3n%20caf%C3%A9%20Colombia.pdf>
- Arias, M.; (2023). Hongos del suelo que facilitan fósforo en los cafetales. México. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/bienesmuebles-inmuebles/17-ciencia-hoy/2048-hongos-del-suelo-que-facilitan-f%C3%B3sforo-en-los-cafetales>
- Arteaga, et al.; (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a06.pdf>
- Balota, E.; Yada, H.; Amaral, A.; Nakatani, M; Hungria, R & Dick, M., (2015). Soil quality in relation to forest conversion to perennial or annual cropping in southern Brazil. Rev. Bras. Ciênc. Solo 39:1003-1014.
- Balzarini, M., (2014). Análisis de la variabilidad espacial en lotes agrícolas. Manual de buenas prácticas. Córdoba, Argentina.: Eudecor. https://www.researchgate.net/profile/MarianoCordoba/publication/341281987_Analisis_de_la_variabilidad_espacial_en_lotes_agricolas/s/links/5eb88b4092851cd50da89c45/Analisis-de-la-variabilidad-espacial-enlotesagricolas.pdf
- Bardales, C., (2015). Carbono almacenado y distribución espacial de las propiedades del suelo en diferentes tipos de cultivos en la microcuenca del río Supte, Tingo María. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/1096>

- Barrera, A. (2022) Distribución Espacial de Minador de la Hoja (*Leucoptera Coffeella* Guérin - Méneville, 1842) en el Cultivo de Café en el Estado de México. 7(217), disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/137191/TESIS%20ALEJANDRA%20CORRECTA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Blanco, A. (2015). Estudio de la distribución espacial y cartografía digital de algunas propiedades físicas, químicas e hidrodinámicas de suelos de la Cuenca del Segura. Facultad de Biología. Retrieved from https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/46968/1/TESIS_ARANTZAZU_2015.pdf
- Bone, J., D. Barraclough, P. Eggleton, M. Head, D. Jones, and N. Voulvoulis. 2014. Prioritising soil quality assessment through the screening of sites: the use of publicly collected data. *Land Degradation Develop.* 25:251-266.
- Cairo P. 1995. La Fertilidad Física de suelo y la Agricultura Orgánica en el Trópico. UNA - Managua, Nicaragua. 228p.
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., & Konopka, A. E. (1994). Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501–1511. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- Cantú, M., Becker, A., Bedano, C., & Schiviano, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices en la Pampa Argentina. *Ciencia Suelo*. 25: 173-178
- Carvajal (1984) citado por Rosas, (2006) relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v26n4/v26n4a10.pdf>
- Castillo, M., (2021) La agricultura peruana Situación Post COVID-19 y Perspectivas <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/peru/18971.pdf>
- Cenicafe, (2017), Síntomas visuales de deficiencias nutricionales en café Diagnóstico y manejo <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0478.pdf>
- Chen et al.; (2013), Gestión Ambiental Y Desarrollo Agropecuario Sostenible. 2.3. Calidad del suelo en cultivos de *Coffea Arabica* L. Var. Caturra, en tratamientos de fertilización orgánica y convencional en Pitalito, Huila. [nlopezvas, +ARTE+FINAL+22-gestion-ambiental-y-desarrollo-agropecuario.pdf](https://www.redalyc.org/journal/5862/586269368001/html/)
- China, A., & Rodríguez, L. (2021). Comportamiento geoespacial de algunas propiedades del suelo en el cultivo de la caña de azúcar. *Revista Ingeniería Agrícola*. 11(1), e01. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586269368001/html/>

- ComexPerú, (2022). Exportaciones de café crecen un 328% en el primer semestre de 2022
<https://www.comexperu.org.pe/articulo/exportaciones-de-cafe-crecen-un-328-en-el-primer-semester-de-2022>
- Cortés et al., (2013). spatial relation between electrical conductivity and some chemical soil properties. Colombia (2013).
<https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/912/1098>
- Cortina, H., Acuña, J., Moncada, M., Herrera, J., Molina, D., (2013) Variedades de café Desarrollo de variedades
https://biblioteca.cenicafe.org/jspui/bitstream/10778/4333/1/cenbook-0026_09.pdf
- Cox, M.; Gerard, P.; Melinda, A.; (2006). Selected soil properties variability and their relationships with yield in three Mississippi fields. Soil Sci. 171:541-551. https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2006/07000/SELECTED_SOIL_PROPERTIES_VARIABILITY_AND_THEIR.4.aspx
- Déleg, X. (2018) “Determinación de la variabilidad espacial de las características físicas del suelo en la parcela Experimental Irquis. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio UCUENCA
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30227/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Estévez R. (2019). Interpolación espacial en QGIS: métodos, procesos y evaluación. Centro de Investigación en Geografía y Geomática. <http://www.geomapik.com/analisis-gis/como-realizar-interpolacion-espacial-qgis-metodos/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1986). Guía de Fertilizantes y Nutrición Vegetal. Tipo-lito SAGRAF - Napoli. Vía delle Terme di Caracalla, 00100 roma, Italia. 198p.
- FAO, (1996). Planificación y manejo integrados de cuencas hidrográficas en zonas áridas y semiáridas de América Latina. Primera Edición. Santiago de Chile. 230p.
- Farfán, V.; F.; Sánchez A., P. M. (2018). Distribución de nutrientes en el suelo y producción de café en sistemas agroforestales. Revista Cenicafé 69(2):17-27. 2018, disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/Revista69%282%29-Web1.pdf#page=16>
- Farfán, F.; (2014) y Jaramillo. R.; (2009). Sombrío para el cultivo de café según nubosidad de la región. Avances Técnicos Cenicafé 379:1-9.

- Fassbender, H. W; Bormesza E. (1987). Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Editorial Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José Costa Rica. 440p.
- Forsythe Warren, 1980. Física de Suelo, manuela de laboratorio. Editorial II CA San José Costa Rica. 212 pp.
- Foth, H. (1987). Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Compañía editorial Continental, S.A. de C.V. Calz. De Tlalpan número 4620, México 22, D.F. 433p.
- Gamble, J. D., Feyereisen, G. W., Papiernik, S. K., & Wentz, C. B. (2018). Regression-Kriged Soil Organic Carbon Stock Changes. *Soil & Water Management & Conservation*, 1-10. https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/247/Updates/2018_Gamble_Regressionkriged.pdf
- Garbanzo, G., Alemán, B., Alvarado, A., Henríquez, C. (2017). Validación de modelos geoestadísticos y convencionales en la determinación de la variación espacial de la fertilidad de suelos del Pacífico Sur de Costa Rica. *Investigaciones Geográficas*. 93, <http://dx.doi.org/10.14350/ig.54706>
- Gavande, A. (1987). Física de Suelos, principios y aplicaciones. editorial LIMUSA, S.A. de C.V., Balderas 95, primer piso, 06040, México, D.F. 352p.
- Gliski, J.; & Lipie, J.; (1990). Soil Phifical Condition y Plant Ruots. C. R. C. Presa Inc. Florida, 250 pp
- Gómez et al., (1991). Ecotopos cafeteros de colombia. Bogotá: CENICAFÉ: FNC, 1991. 138 p. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/818/1/lib13731.pdf>
- Gonzales, S.; (2015). Distribución espacial por unidades fisiográficas, las propiedades físicas y químicas de los suelos con palma aceitera (*Eiaeis guineensis* Jacq.), Nueva Requena Ucayali. (Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/397/T.CSA134.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Henao, T.; Hernández G.; (2002). Disponibilidad de potasio en suelos derivados de cenizas volcánicas y su relación con la nutrición del café en la etapa vegetativa. *Cenicafé* 53(4):293- 305. 2002. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053%2804%29293-305.pdf>
- Henriquez, H., y Cabalceta, G., (1999). Guía práctica para el estudio Introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. 1ra. Edición- San José Costa Rica: ACC. 111 pp.
- Huisa, A.; & Paucar, P.; (2020). Investigación La calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) VAR. CATIMOR en el anexo Alto Pitocuna del distrito

de Río Negro. Satipo. Perú. Tesis.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8447/4/IV_FIN_107_TE_Huisa_Altamirano_2020.pdf

- Idowu, O.J., H.M van Es, G.S. Abawi, D.W. Wolfe, R.R. Schindelbeck, B.N. Moebius-Clune, and B.K. Gugino. 2009. Use of an integrative soil health test for evaluation of soil management impacts. *Renew Agric. Food Syst.* 24:214-224.
- Inocencio, E.; y Florida, N.; (2022). Distribución espacial de indicadores de calidad fisicoquímica del suelo en el fundo “Cárdenas”, en Nuevo Progreso Padre Abad 2022. (Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2210>
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) y FAO. (2001). Manejo integrado de la fertilidad de los suelos de Nicaragua. Proyecto (Manual del extensionista) GCP /NIC /025 /NOR. INTA/ FAO. Gobierno de Nicaragua y Noruega. 130 pp.
- ITC (International Trade Center). (2021). The coffee guide. International Trade Center. <https://intracen.org/media/file/5718>
- Jaramillo, D. (2012). Variabilidad espacial del suelo: bases para su estudio. *Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.* <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/view/49004/50077>
- Julca, R; y Levano, C.; (2019). Investigación Evaluación De Prácticas De Manejo Orgánico Y Convencional Sobre La Calidad Del Suelo en el caserío de Yurimaguas, Distrito de Rupa Rupa. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1519/LKCA_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Junco, W. Rengifo, J. P., Rengifo, A. (2017). Distribución espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo de la microcuenca Río Bella-Distrito Mariano Dámaso Beraún - Las Palmas. *Investigación y Amazonía*, 7(3), 20-29. <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/171/155>
- Kravchenko, (2003) citado por René et al (2011) Niveles De Carbono Orgánico Y Ph En Suelos Agrícolas De Las Regiones Pampeana Y Extrapampeana Argentina. [Niveles de carbono.pmd \(scielo.org.ar\)](https://scielo.org.ar/niveles-de-carbono.pmd).
- Larreal, M. (2005). Definición y establecimiento de la serie San Francisco en la altiplanicie de Maracaibo, sector semiárido. Facultad de Agronomía. Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela. 106 p. [file:///C:/Users/Mercy/Downloads/Dialnet-VariabilidadDeAlgunasDeLasPropiedadesFisicasDeUnSu-3394191%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Mercy/Downloads/Dialnet-VariabilidadDeAlgunasDeLasPropiedadesFisicasDeUnSu-3394191%20(1).pdf)

- Loli, F. (2012). Analisis de suelos y fertilización en el cultivo de café. Perú. Expositor. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/011-c-cafe.pdf>
- López, B. (2016). Et al. Propiedades de los suelos cafetaleros en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. Revista mexicana. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263145554011.pdf>
- Maharjan, B., Panday, D., Chalise, D., Shrestha, R. K., & Twanabasu, B. (2018). Digital soil mapping in the Bara district of Nepal using Kriging tool in ArcGIS. PLOS ONE ORG. Obtenido de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0206350>
- Marcos, A. (2019). Cultivo de Café: Cómo Mejorar la Calidad Del Suelo. Perú. Revista <https://perfectdailygrind.com/es/2019/10/22/cultivo-de-cafe-como-mejorar-la-calidad-del-suelo/#:~:text=Un%20cafeto%20saludable%20necesita%20m%C3%A1s,relacionados%20con%20plagas%20y%20enfermedades.>
- Meza, M. (2019). Análisis De La Distribución Espacial De Parámetros Físico-Químicos En El Suelo Aplicando Sig, Utcubamba, Amazonas, Perú. <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1960/Meza%20Mori%20Gerson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). (2022). Observatorio de Commodities – Café <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3454999/Commodities%20Caf%C3%A9%20ene-mar%202022.pdf?v=1667000131>
- MIEM (Republica Del Peru Ministerio De Energia Y Minas). (2000) <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/regionales/Publicaciones/GUIA%20HIDROCARBUROS%20XVII.pdf>
- MINAGRI (2017). Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de café. Perú. Revista. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/419911/ficha-tecnica07-cultivo-cafe.pdf>
- Moreno, J. (2008). Sistema y Análisis de la Información Geográfica (Manual de autoaprendizaje con ArcGIS) 2^{da} edición.
- Olaya, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf.
- OIC (Organización Internacional del Café). (2022a, enero). Informe del mercado de café. <https://www.ico.org/documents/cy2021-22/cmr-0122-c.pdf>
- Panday, D., Maharjan, B., Chalise, D., Shrestha, R. K., & Twanabasu, B. (2018). Digital soil mapping in the Bara district of Nepal using Kriging tool in ArcGIS. (U. D. Richard

- Mankin, Ed.) PLOS ONE, 1-20.
<https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0206350&type=printable>
- Parra, C. A. & Benítez, K. S. (2021). Aplicación de la técnica Kriging para desarrollo de modelos geoestadísticos para Nitrógeno, Fósforo y Potasio en suelos ganaderos en el municipio de Suesca, departamento de Cundinamarca. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD]. Repositorio UNAD
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/41912/caparrad.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Pintado, M. (2022). Pronósticos de café peruano 2022: Retos y oportunidades
<https://camcafeperu.com.pe/ES/articulo.php?id=160>
- Porras, A. (2016). Método Kriging de inferencia espacial. Centro de Investigación en Geografía y Geomática.
<https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/160/1/16-M%C3%A9todo%20Kriging%20de%20Inferencia%20espacial%20-%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf>
- Porras, V. (2017). Tipos de muestreo. Diplomado de análisis de Información Geoespacial.
<https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/163/1/19-Tipos%20de%20Muestreo%20-%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf>
- Porta, J.; López, M.; y Roquero, C.; (1999). Edafología para la Agricultura y el medio ambiente. Mudi – Presa México S.A. de C.V Río Pánuco, 141 – Col. Cauhtémoc. 06500 México D.F. 849 pp.
- PROMPERÚ (Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo). (2022), Café y cacao peruanos generan potencial de negocios de \$860 mil en feria alimentaria líder de Chile. <https://www.gob.pe/institucion/promperu/noticias/658781-cafe-y-cacao-peruanos-generan-potencial-de-negocios-de-860-mil-en-feria-alimentaria-lider-de-chile>.
- Quintana, C. (2018). Efecto de la pulpa de café en la fertilidad fisicoquímica y macrofauna edáfica en cultivos de café del distrito de Japelacio – Moyobamba.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/19160>
- Quispe, C & Florida, R (2013). Propiedades biológicas y físicas del suelo bajo diferentes sistemas de manejo en el cultivo de café (coffea arabica l.) En la divisoria – tingo maría.

Perú.

Tesis.

https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1051/TS_QCSA_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y

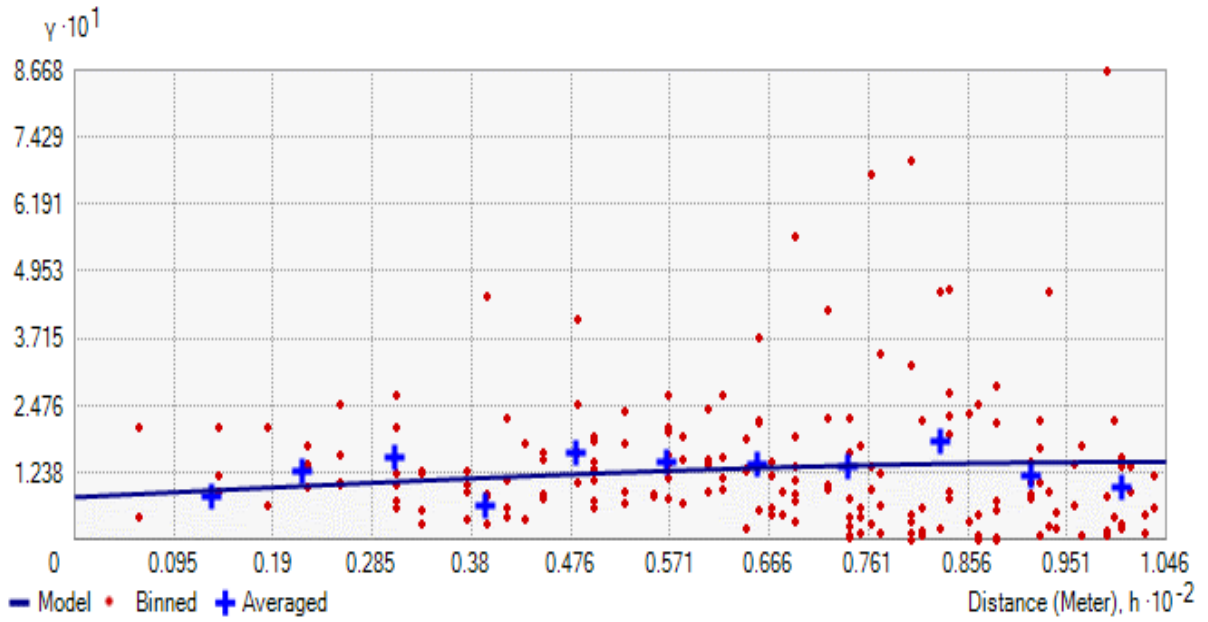
- Redrován, K. (2018). Aplicación de sistemas de información geográfica para el análisis espacial para la variable radiación solar en la ciudad de Cuenca. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana-Sede Cuenca]. Repositorio UPS, <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15631/1/UPS-CT007681.pdf>
- Rezaei et al.; (2006). Soil quality assessment in semiarid rangeland in Iran. *Soil Use and Management*, v. 21, p. 402-409. <https://doi.org/10.1079/SUM2005353>
- Rodríguez, et al. (2016). Variabilidad espacial de las propiedades químicas del suelo en el rendimiento y calidad del café. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012287062016000200008
- Rodríguez, G. (2015). Variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en rendimiento y calidad de café. Universidad Nacional de Colombia.
- Rueda, R.; & Varela, A.; (2016). Distribución espacial, composición y densidad de edafofauna en hojarasca de bosque y cafetal (Montenegro, Colombia). *Acta biol. Colomb.* 2016;21(2):399-412. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v21n2.43814>
- Sachs, J., Cordes, K., Rising, J., Toledano, P., & Maenling, N. (2019). Ensuring economic viability and sustainability of coffee production. Columbia Center on Sustainable Investment.
- Sadeghian, K.; (2012) y González, O.; (2014). Alternativas generales de fertilización para cafetales en etapa de producción. *Avances técnicos Cenicafé* Número 4244.
- Sadeghian, K.; y Lince, S.; (2014). Variabilidad del suelo en lotes cafeteros. Colombia. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0446.pdf>
- Sagarpa. (2012) Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo. <https://docplayer.es/5213449-Subindice-de-uso-sustentable-del-suelo-metodologia-de-calculo.html>
- Salamanca, J.; Et al.; (2004) Densidad Aparente de dos suelos de la zona cafetera y efecto sobre el crecimiento del cafeto. Colombia. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc055%2804%29330-340.pdf>
- Sánchez, P.; (1989). Suelos del Trópico, Características y Manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 634p.
- Sánchez, T.; Ligarreto, G.; Leiva, F; (2011). Spatial variability of soil chemical properties and its effect on crop yields: a case study in maize (*Zea mays* L.) on the Bogota Plateau.

- Agron. Col. 29(2):456-466. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-99652011000200013&script=sci_abstract
- Silva, et al. (2017). Multivariate Analysis Of Soil Fertility In Organic Coffee Systems In Puente Abadia Villavicencio <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/387/329>
- Silva, J.; Nonato De Assis R.; Rocha, S.; Camacho, T.; (2011) “Spatial variability of an Alfisol cultivated with sugarcane”, *Cienc Investig Agrar*, 38(1): 155-164, 2011, ISSN: 0718-1620.
- Soto, A. (2016). Distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos por unidades fisiográficas en la microcuenca Las Pavas, distrito Mariano Dámaso Beraún – Las Palmas. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/1606>
- Tucta, A. y Tipanquiza A. (1998), Interpolación Espacial y Estructuras Espaciales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo <https://rpubs.com/Angeles1998/914033>
- Ulloa, M. (2002). Aplicación de la Geoestadística al Estudio de la Fertilidad del Suelo. [Tesis grado, Universidad de Coruña]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=216697>
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). (2021a): Producción Mundial de café alcanzaría los 175.4 millones de sacos en la campaña 2020/2021 <https://agraria.pe/noticias/usda-produccion-mundial-de-cafe-alcanzaria-los-175-4-millone-23516>
- Vásquez, J.; Baena, D.; & Menjivar, J.; (2010). Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). *Acta Agronómica*, 59(4), 449-456. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122010000400009&lng=es&tlng=es
- Vásquez, P.; Baena, G.; & Menjivar, F.; (2010). Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122010000400009
- Vendrusculo, L. (2003). Desenvolvimento de um sistema computacional para análise geoestatística. [Tesis de maestría]. Universidad de Campinas, Brasil.
- Velázquez et al.; (2007). Diversidad arbórea y estructura espacial de bosques de pino-encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. México. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200711322010000200004

- Vicente, J. (2022). Soil fertility analysis by validation and Kriging interpolation of soil parameters. <https://www.redalyc.org/journal/573/57371833049/html/#B7>
- Villatoro, M., Henríquez, C., Sancho, F. (2008). Comparación de los interpoladores IDW Y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 95-105. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43632109>

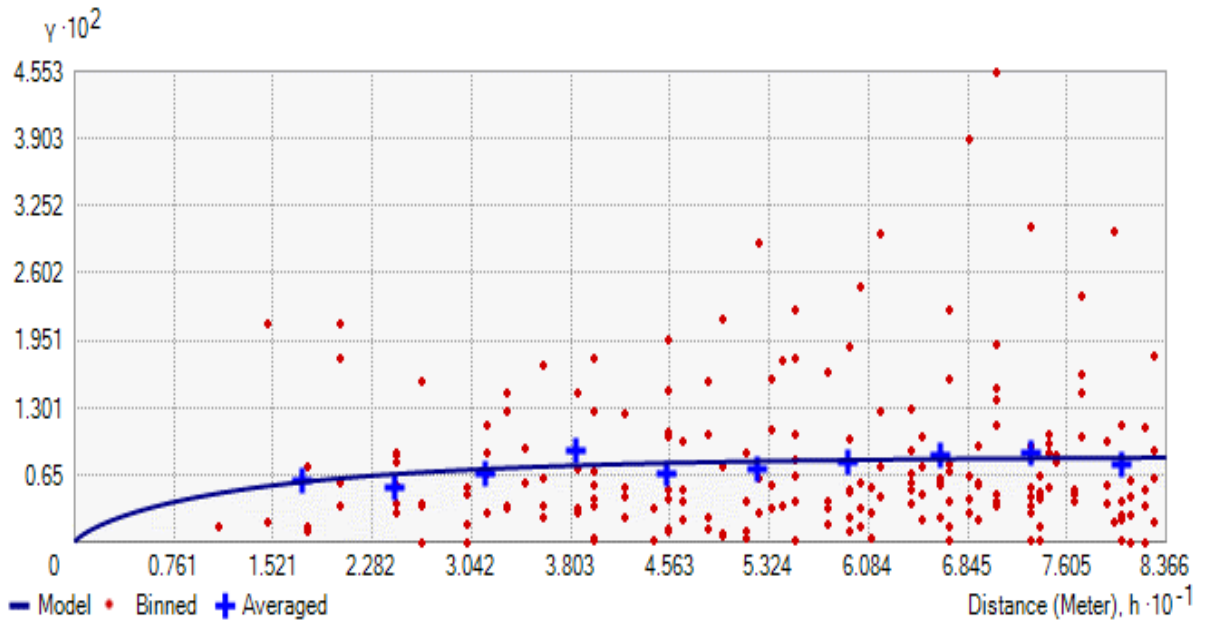
VIII. ANEXOS

8.1. Semivariograma del análisis geoestadístico



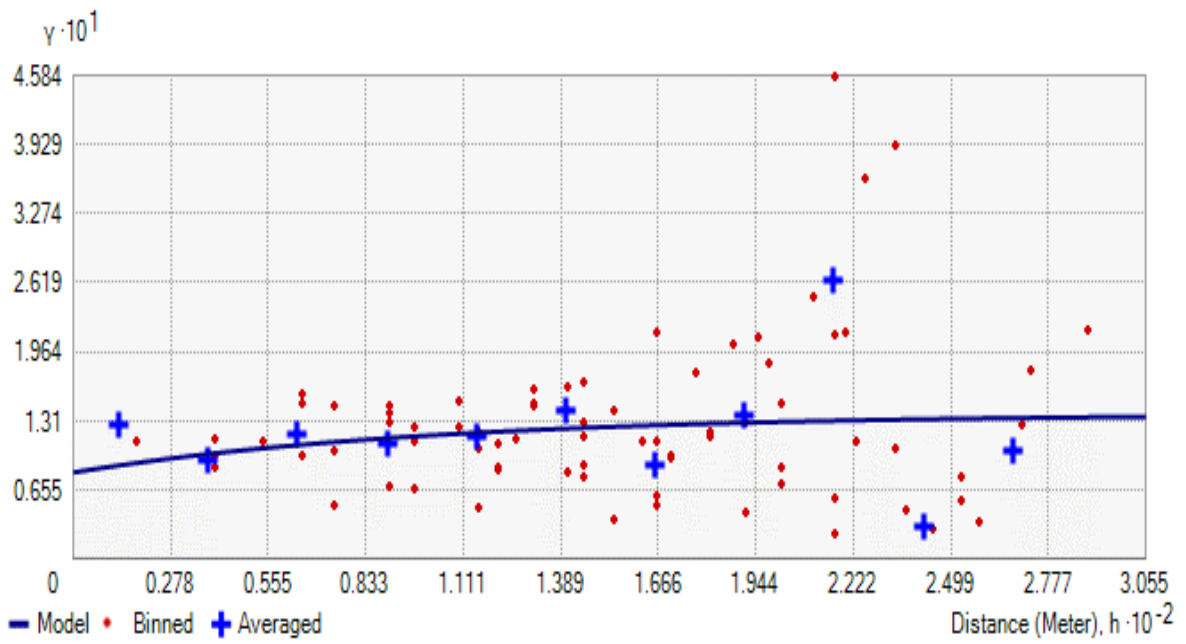
Modelo: esférico, Nugget: 0.08, Rango:104.63, Sill: 0.14, GDE: 54.40

Figura 4. Semivariograma obtenido de materia orgánica



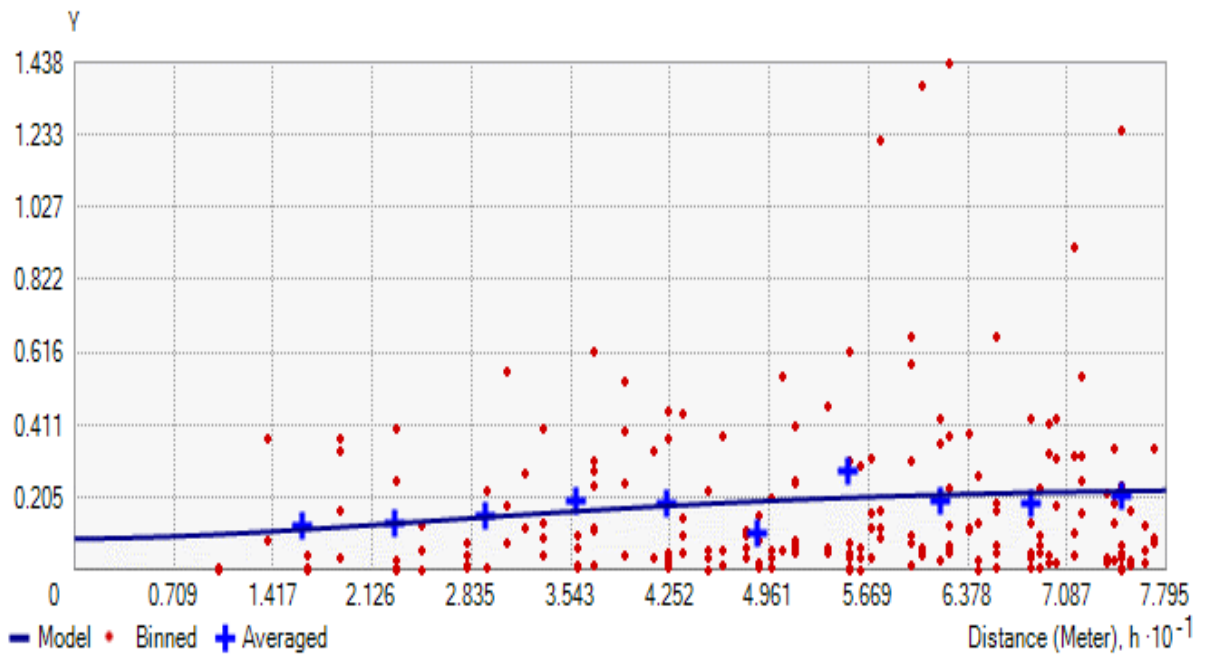
Modelo: Stable, Nugget: 0.00, Rango:56.20, Sill: 0.01, GDE: 0.00

Figura 5. Semivariograma obtenido del pH



Modelo: Exponencial, Nugget: 0.08, Rango: 305.47, Sill: 0.14, GDE: 59.53

Figura 6. Semivariograma obtenido del magnesio



Modelo: Stable, Nugget: 0.09, Rango: 77.95, Sill: 0.23, GDE: 37.76

Figura 7. Semivariograma obtenido del calcio

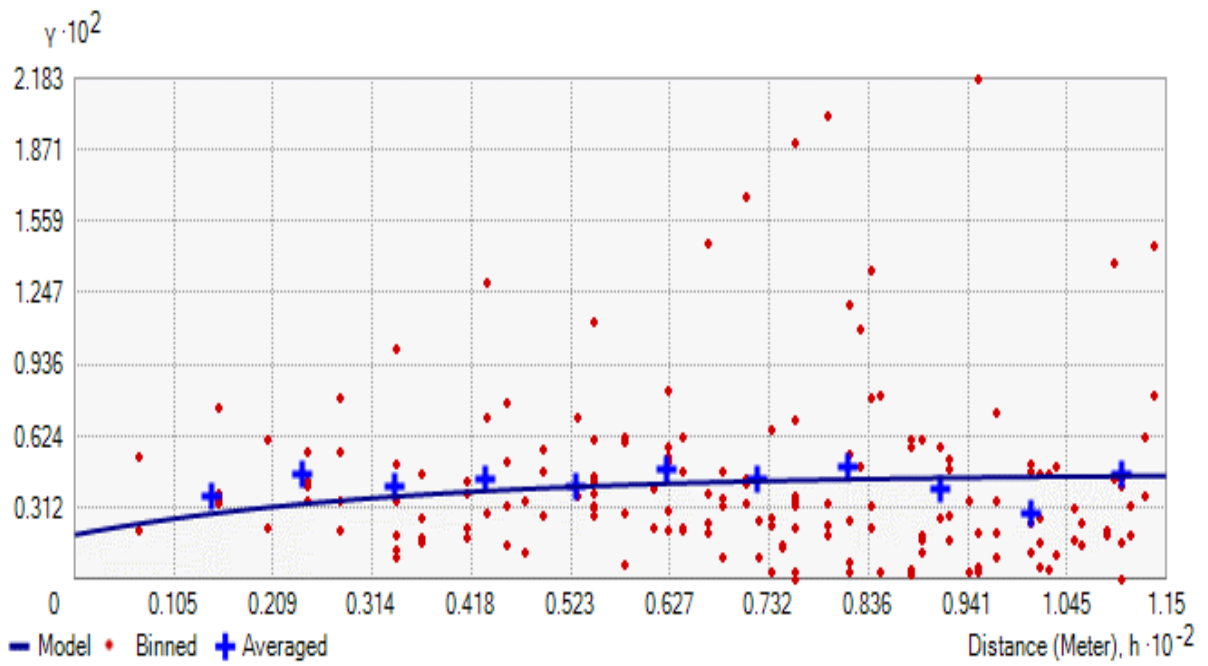


Figura 8. Semivariograma obtenido del nitrógeno

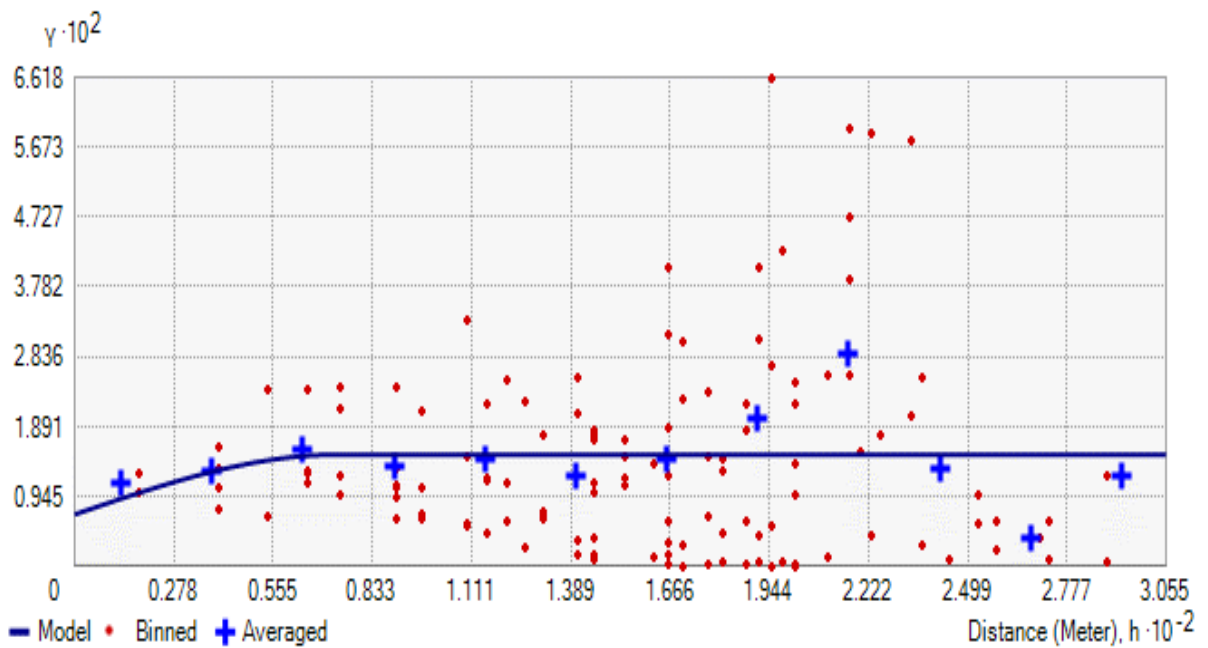
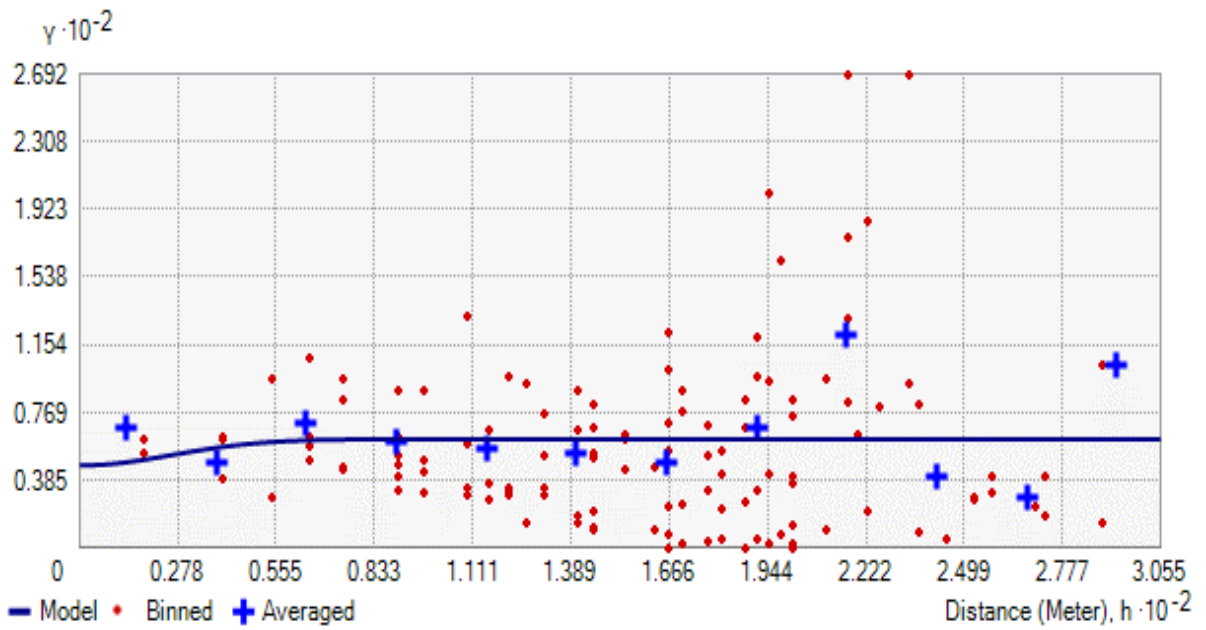
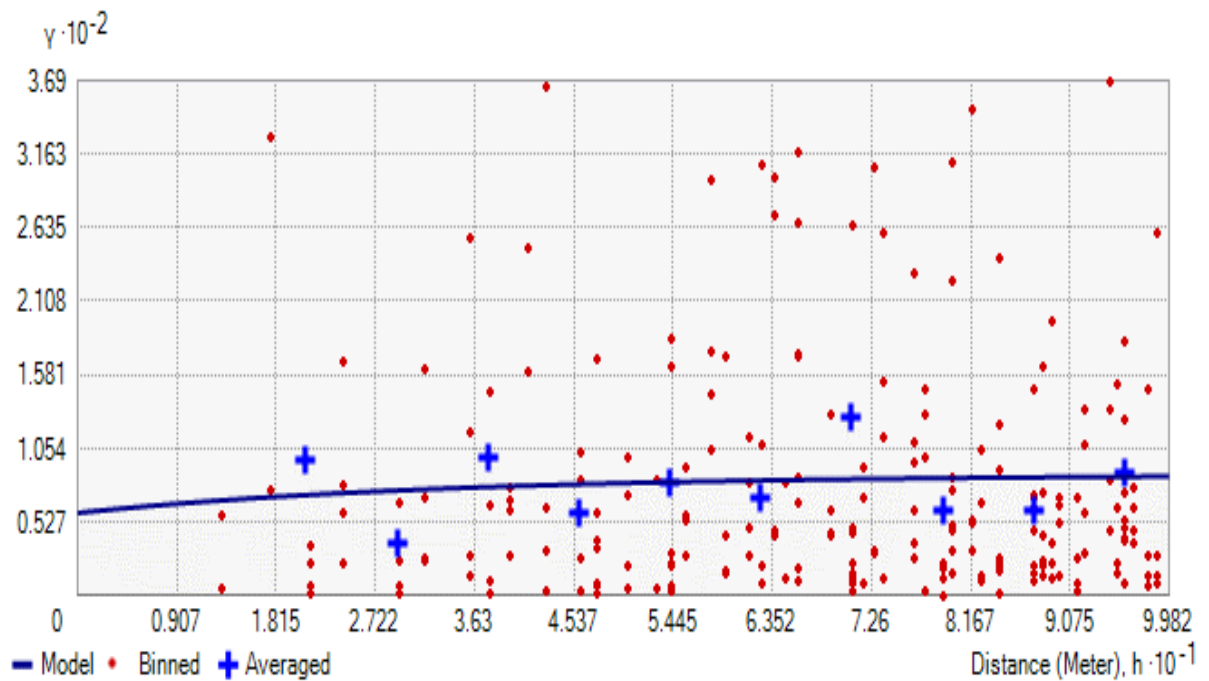


Figura 9. Semivariograma obtenido de la saturación de bases



Modelo: Gaussiano, Nugget: 0.82, Rango: 84.15, Sill: 1.14, GDE: 71.97

Figura 10. Semivariograma obtenido de saturación de aluminio



Modelo: Exponencial, Nugget: 1.12, Rango: 260.13, Sill: 1.34, GDE: 83.58

Figura 11. Semivariograma obtenido de ácidos cambiables

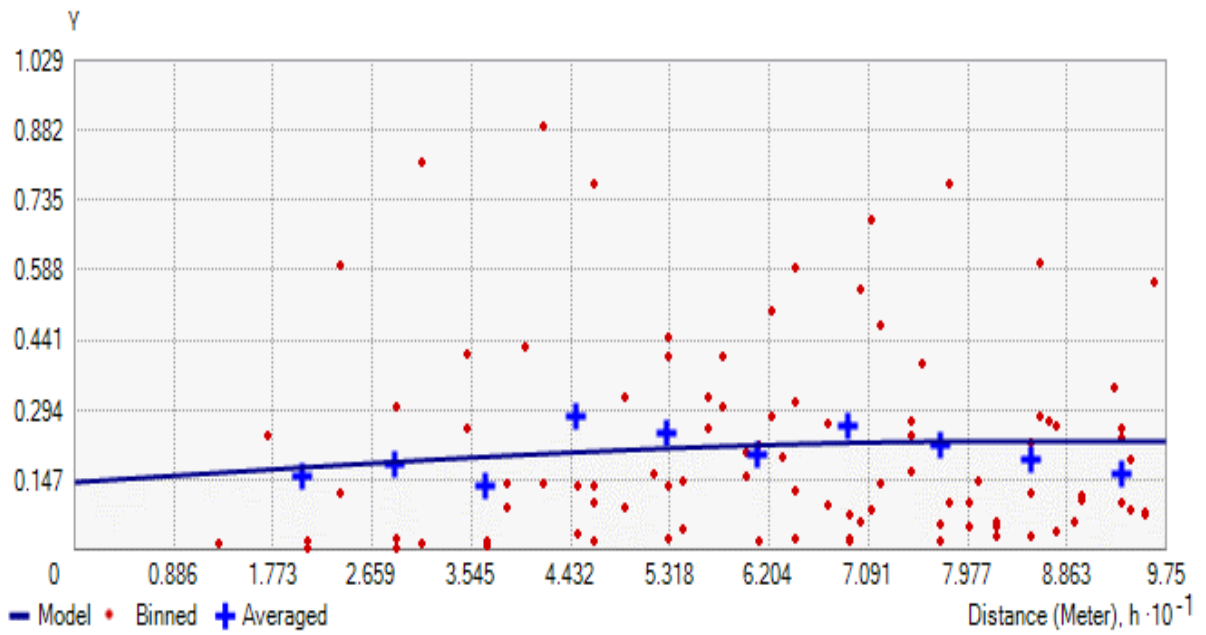


Figura 12. Semivariograma obtenido de aluminio

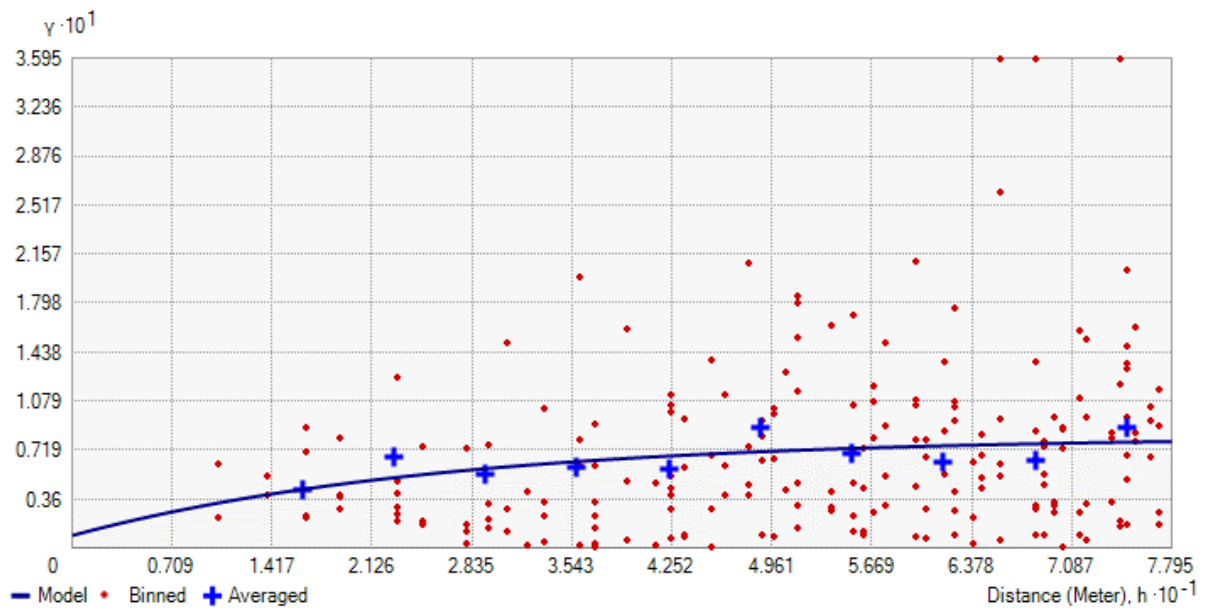
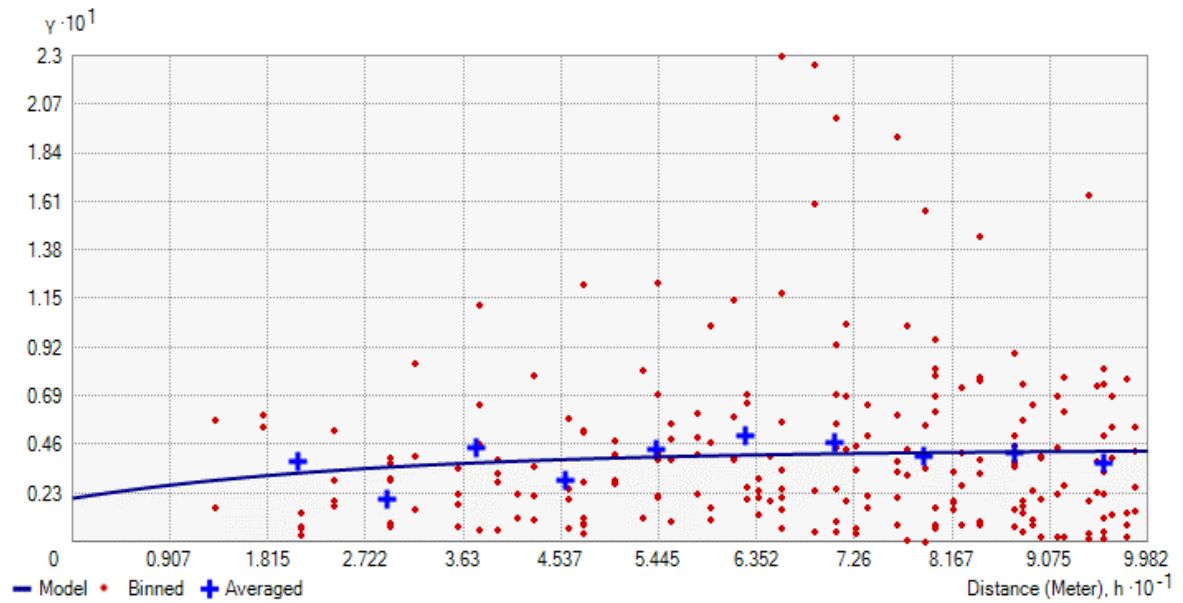
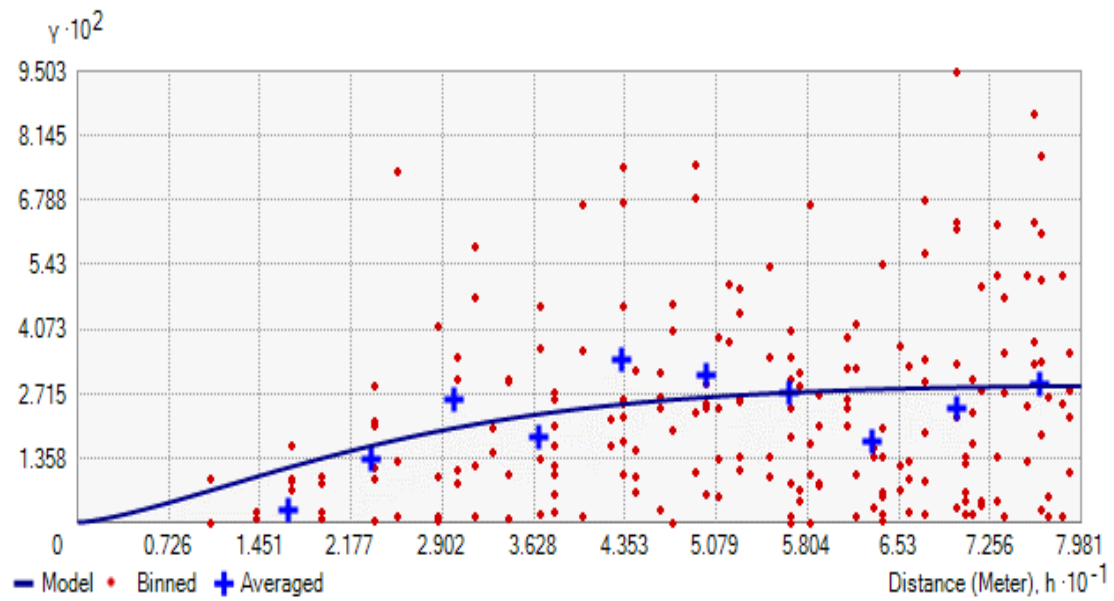


Figura 13. Semivariograma obtenido de arena



Modelo: Exponencial, Nugget: 0.02, Rango: 86.47, Sill: 0.04, GDE: 46.98

Figura 14. Semivariograma obtenido de arcilla



Modelo: Stable, Nugget: 0.00, Rango: 58.95, Sill: 0.03, GDE: 0.00

Figura 15. Semivariograma obtenido de limo

8.2. Valores de predicción obtenidos en el Kriging

Tabla 41. Valores de predicción obtenido de Kriging para materia orgánica y nitrógeno

Puntos	M.O				N		
	Este	Norte	Altitud	Observado	Predecido	Observado	Predecido
1	414167	8951448	1207	1,97	2,810238	0,10	0,136495
2	414179	8951486	1234	2,64	3,050686	0,13	0,152603
3	414131	8951381	1231	5,62	4,615089	0,28	0,247733
4	414193	8951495	1236	3,60	3,557407	0,18	0,180016
5	414175	8951533	1230	5,17	4,239846	0,26	0,225954
6	414153	8951534	1223	3,43	3,680186	0,17	0,183032
7	414136	8951572	1218	4,50	4,316412	0,22	0,217904
8	414167	8951583	1223	4,83	4,735208	0,24	0,240126
9	414197	8951557	1230	5,00	4,446224	0,25	0,226755
10	414202	8951535	1230	3,82	4,078904	0,19	0,200048
11	414229	8951455	1247	3,77	3,844702	0,19	0,190546
12	414213	8951441	1239	4,50	3,80789	0,22	0,197977
13	414226	8951428	1248	3,15	3,646723	0,16	0,180711
14	414196	8951419	1234	3,60	3,63697	0,18	0,18459
15	414171	8951384	1230	4,55	4,348183	0,23	0,225192
16	414196	8951583	1193	3,71	4,505697	0,19	0,213638
17	414247	8951584	1232	4,78	4,506436	0,24	0,22936
18	414289	8951571	1272	2,59	3,063303	0,13	0,151523
19	414322	8951560	1289	2,92	2,857961	0,15	0,143544
20	414313	8951523	1292	2,87	2,788951	0,14	0,136683
21	414284	8951480	1284	2,86	3,044797	0,14	0,145139
22	414262	8951455	1276	3,48	3,59489	0,17	0,176267
23	414237	8951471	1260	4,83	4,084461	0,24	0,211115
24	414250	8951482	1271	3,99	3,900475	0,20	0,195106
25	414270	8951516	1281	2,87	3,214081	0,14	0,153601
26	414247	8951544	1269	4,27	4,114987	0,21	0,20289
27	414218	8951492	1250	3,20	3,743953	0,16	0,178084
28	414241	8951508	1267	4,67	4,138484	0,23	0,209787
29	414133	8951452	1238	4,55	3,821126	0,23	0,203881
30	414106	8951368	1241	3,32	3,67072	0,17	0,188392

Tabla 42. Valores de predicción del magnesio y pH

Puntos	Este	Norte	Altitud	Mg		Ph	
				Observado	Predecido	Observado	Predecido
1	414167	8951448	1207	0,89	0,737781	5,10	5,111826
2	414179	8951486	1234	1,05	0,987123	5,38	5,401899
3	414131	8951381	1231	0,36	0,337319	4,45	4,443734
4	414193	8951495	1236	1,05	1,105406	5,80	5,798913
5	414175	8951533	1230	0,78	1,052721	5,40	5,421373
6	414153	8951534	1223	1,60	0,990911	5,60	5,60647
7	414136	8951572	1218	0,86	0,834846	6,20	6,186458
8	414167	8951583	1223	0,65	0,97469	6,40	6,385662
9	414197	8951557	1230	1,08	1,199267	6,40	6,374402
10	414202	8951535	1230	1,17	1,21369	5,60	5,633911
11	414229	8951455	1247	1,98	1,222274	6,00	5,974848
12	414213	8951441	1239	0,79	0,972317	4,90	4,925352
13	414226	8951428	1248	0,91	0,973285	6,10	6,050155
14	414196	8951419	1234	0,66	0,734375	5,10	5,11083
15	414171	8951384	1230	0,27	0,44357	4,10	4,14808
16	414196	8951583	1193	1,51	1,209592	5,60	5,630004
17	414247	8951584	1232	1,62	1,312553	6,20	6,178344
18	414289	8951571	1272	1,01	1,088736	5,60	5,597178
19	414322	8951560	1289	0,72	0,888326	4,80	4,846287
20	414313	8951523	1292	1,12	1,060976	6,00	5,980875
21	414284	8951480	1284	1,54	1,294189	5,80	5,812883
22	414262	8951455	1276	1,68	1,324683	6,50	6,475368
23	414237	8951471	1260	1,04	1,275249	6,40	6,380821
24	414250	8951482	1271	1,43	1,332539	6,30	6,289075
25	414270	8951516	1281	0,64	1,163185	5,00	5,072969
26	414247	8951544	1269	1,78	1,359965	5,80	5,80788
27	414218	8951492	1250	1,33	1,255305	6,41	6,388519
28	414241	8951508	1267	1,34	1,316332	6,98	6,951213
29	414133	8951452	1238	0,30	0,495094	4,66	4,688781
30	414106	8951368	1241	0,38	0,246368	4,52	4,490278

Tabla 43. Valores de predicción del calcio y saturación bases

Puntos	Este	Norte	Altitud	Ca		SB	
				Observado	Predecido	Observado	Predecido
1	414167	8951448	1207	2,78	2,896253	56,79	64,017359
2	414179	8951486	1234	4,49	4,397042	83,06	85,023423
3	414131	8951381	1231	1,96	1,91689	42,09	40,265714
4	414193	8951495	1236	5,04	4,9174	100,00	95,103652
5	414175	8951533	1230	5,34	5,340066	92,74	96,374671
6	414153	8951534	1223	5,24	5,076026	100,00	96,585971
7	414136	8951572	1218	5,07	5,405858	100,00	101,00553
8	414167	8951583	1223	6,56	6,450465	100,00	101,66281
9	414197	8951557	1230	6,38	6,075547	100,00	100,33675
10	414202	8951535	1230	5,10	5,498657	100,00	100,36532
11	414229	8951455	1247	6,14	5,457329	100,00	95,621922
12	414213	8951441	1239	3,23	4,032735	73,21	83,322721
13	414226	8951428	1248	5,33	4,605324	100,00	91,524858
14	414196	8951419	1234	2,46	2,772711	85,72	75,029187
15	414171	8951384	1230	1,63	1,967565	35,18	42,922069
16	414196	8951583	1193	6,68	6,739168	100,00	100,87907
17	414247	8951584	1232	6,44	6,693605	100,00	99,086406
18	414289	8951571	1272	8,18	7,030791	100,00	96,068661
19	414322	8951560	1289	4,79	5,522331	85,90	88,936697
20	414313	8951523	1292	6,27	5,579309	100,00	98,642415
21	414284	8951480	1284	4,77	4,872738	100,00	100,35869
22	414262	8951455	1276	6,33	5,903306	100,00	100,84557
23	414237	8951471	1260	6,21	5,812264	100,00	99,312443
24	414250	8951482	1271	5,04	5,362248	100,00	99,582436
25	414270	8951516	1281	2,57	3,929176	77,39	89,327335
26	414247	8951544	1269	5,39	5,389118	100,00	99,050987
27	414218	8951492	1250	5,29	5,41775	100,00	99,598807
28	414241	8951508	1267	5,93	5,151881	100,00	98,849155
29	414133	8951452	1238	2,50	2,600443	62,30	61,731208
30	414106	8951368	1241	1,78	1,567677	33,43	32,167466

Tabla 44. Valores de predicción del aluminio y ácidos cambiabiles.

Puntos	Este	Norte	Altitud	Al		AC	
				Observado	Predicido	Observado	Predicido
1	414167	8951448	1207	2,35	1,695026	43,21	30,705349
2	414179	8951486	1234	1,15	0,799198	16,93	13,049049
3	414131	8951381	1231	3,17	3,382689	57,91	62,004882
4	414193	8951495	1236	0,00	0,348125	0,00	6,350032
5	414175	8951533	1230	0,34	0,198062	7,25	4,376121
6	414153	8951534	1223	0,00	0,244612	0,00	5,497545
7	414136	8951572	1218	0,00	-0,007118	0,00	-0,919928
8	414167	8951583	1223	0,00	-0,104987	0,00	-2,460084
9	414197	8951557	1230	0,00	-0,002106	0,00	0,035268
10	414202	8951535	1230	0,00	0,027558	0,00	1,348994
11	414229	8951455	1247	0,00	0,187213	0,00	6,067972
12	414213	8951441	1239	1,40	0,726215	26,78	16,067246
13	414226	8951428	1248	0,00	0,461645	0,00	11,071401
14	414196	8951419	1234	0,50	1,189345	14,28	23,62615
15	414171	8951384	1230	3,47	2,852874	64,82	49,528036
16	414196	8951583	1193	0,00	-0,057128	0,00	-1,914961
17	414247	8951584	1232	0,00	0,132396	0,00	1,886245
18	414289	8951571	1272	0,00	0,280547	0,00	5,045202
19	414322	8951560	1289	0,70	0,486185	14,10	10,485478
20	414313	8951523	1292	0,00	0,106183	0,00	2,659173
21	414284	8951480	1284	0,00	0,053872	0,00	-0,004111
22	414262	8951455	1276	0,00	0,011816	0,00	1,042749
23	414237	8951471	1260	0,00	0,058095	0,00	2,743044
24	414250	8951482	1271	0,00	0,037491	0,00	1,479758
25	414270	8951516	1281	0,91	0,287037	22,60	5,839143
26	414247	8951544	1269	0,00	0,091905	0,00	1,341162
27	414218	8951492	1250	0,01	0,091778	0,00	3,436505
28	414241	8951508	1267	0,02	0,059488	0,00	2,028507
29	414133	8951452	1238	1,50	1,802225	37,69	36,957185
30	414106	8951368	1241	4,00	4,303813	66,57	77,088102

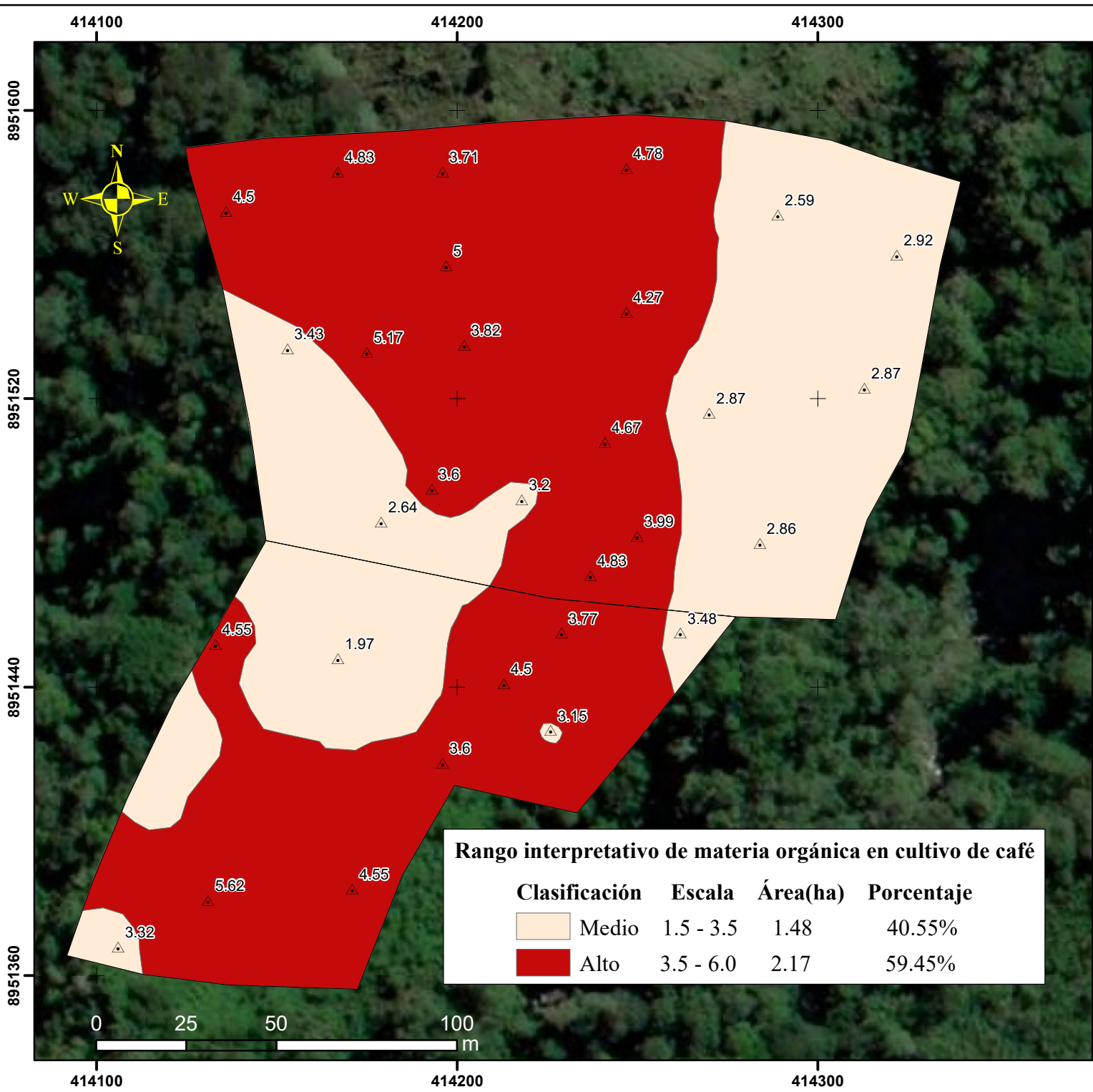
Tabla 45. Valores de predicción de saturación de aluminio y arena

Puntos	Este	Norte	Altitud	Sal		Ao	
				Observado	Predecido	Observado	Predecido
1	414167	8951448	1207	33,85	24,261144	30,96	31,498765
2	414179	8951486	1234	16,23	11,312987	28,96	30,01418
3	414131	8951381	1231	48,31	50,828582	50,96	48,892592
4	414193	8951495	1236	0,00	6,31301	40,96	39,736689
5	414175	8951533	1230	4,93	2,949215	30,96	30,717547
6	414153	8951534	1223	0,00	4,102742	18,96	20,203311
7	414136	8951572	1218	0,00	-0,694573	24,96	24,867505
8	414167	8951583	1223	0,00	-1,569378	30,96	30,584301
9	414197	8951557	1230	0,00	0,318	38,96	37,744312
10	414202	8951535	1230	0,00	1,230173	32,96	33,419261
11	414229	8951455	1247	0,00	5,444076	44,96	43,036049
12	414213	8951441	1239	23,44	11,672355	26,96	28,47255
13	414226	8951428	1248	0,00	9,721707	34,96	34,824414
14	414196	8951419	1234	12,98	20,653132	30,96	31,448024
15	414171	8951384	1230	57,68	41,20938	30,96	32,09304
16	414196	8951583	1193	0,00	-0,778476	30,96	31,028813
17	414247	8951584	1232	0,00	1,358007	20,96	21,764242
18	414289	8951571	1272	0,00	4,04535	30,96	29,807506
19	414322	8951560	1289	10,50	6,828925	18,96	19,226298
20	414313	8951523	1292	0,00	1,934642	20,96	20,956026
21	414284	8951480	1284	0,00	0,519899	22,96	23,667972
22	414262	8951455	1276	0,00	1,102437	38,96	38,158042
23	414237	8951471	1260	0,00	2,362753	34,96	36,36735
24	414250	8951482	1271	0,00	1,505289	44,96	43,39812
25	414270	8951516	1281	20,57	4,731223	18,96	20,264472
26	414247	8951544	1269	0,00	1,776628	20,96	22,055637
27	414218	8951492	1250	0,00	2,726633	38,96	39,388213
28	414241	8951508	1267	0,00	2,264983	54,96	50,860327
29	414133	8951452	1238	31,07	29,180896	34,96	34,674874
30	414106	8951368	1241	55,82	63,312159	34,96	35,413291

Tabla 46. Valores de predicción obtenidos del Kriging para arcilla y limo

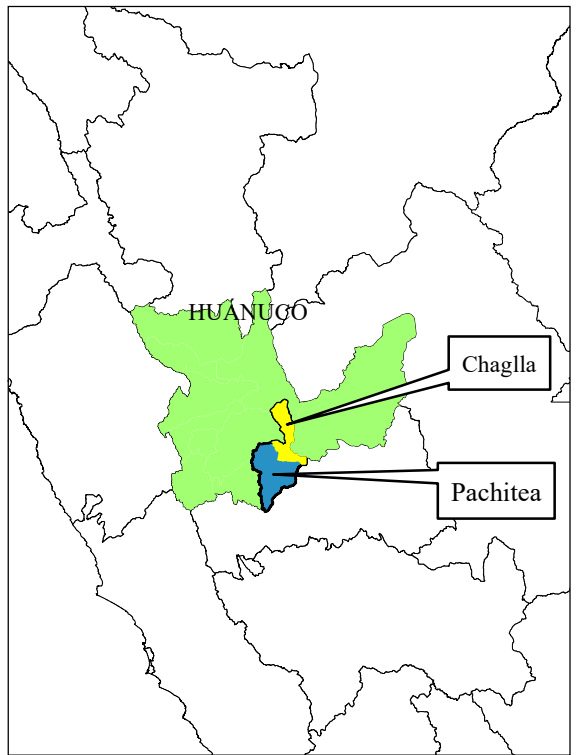
Puntos	Este	Norte	Altitud	Ar		Li	
				Observado	Predecido	Observado	Predecido
1	414167	8951448	1207	37,76	33,715946	31,28	31,34286
2	414179	8951486	1234	41,76	35,1707	29,28	29,33002
3	414131	8951381	1231	25,76	27,545078	23,28	23,5519
4	414193	8951495	1236	29,76	30,940324	29,28	29,41091
5	414175	8951533	1230	27,76	29,966829	41,28	41,17445
6	414153	8951534	1223	31,76	32,768464	49,28	49,06998
7	414136	8951572	1218	43,76	41,520654	31,28	31,41776
8	414167	8951583	1223	35,76	36,538722	33,28	33,32688
9	414197	8951557	1230	29,76	31,178176	31,28	31,32685
10	414202	8951535	1230	31,76	30,887428	35,28	35,20901
11	414229	8951455	1247	25,76	27,761367	29,28	29,51508
12	414213	8951441	1239	35,76	31,243661	37,28	37,25243
13	414226	8951428	1248	25,76	28,091887	39,28	39,18553
14	414196	8951419	1234	27,76	28,855306	41,28	41,24294
15	414171	8951384	1230	29,76	29,062904	39,28	39,16349
16	414196	8951583	1193	33,76	33,853409	35,28	35,29515
17	414247	8951584	1232	45,76	41,217157	33,28	33,30792
18	414289	8951571	1272	35,76	40,820684	33,28	33,27171
19	414322	8951560	1289	49,76	50,25532	31,28	31,29897
20	414313	8951523	1292	53,76	51,91032	25,28	25,39318
21	414284	8951480	1284	43,76	39,381212	33,28	33,25776
22	414262	8951455	1276	29,76	30,710908	31,28	31,33378
23	414237	8951471	1260	31,76	29,173442	33,28	33,23946
24	414250	8951482	1271	23,76	27,150103	31,28	31,34554
25	414270	8951516	1281	37,76	36,175141	43,28	42,96246
26	414247	8951544	1269	43,76	37,969903	35,28	35,25627
27	414218	8951492	1250	27,76	27,898817	33,28	33,21442
28	414241	8951508	1267	19,76	25,320281	25,28	25,33693
29	414133	8951452	1238	27,76	30,374499	37,28	37,15316
30	414106	8951368	1241	33,76	32,977738	31,28	31,23462

8.3. Mapas de distribución espacial de las variables evaluadas



Rango interpretativo de materia orgánica en cultivo de café

Clasificación	Escala	Área(ha)	Porcentaje
Medio	1.5 - 3.5	1.48	40.55%
Alto	3.5 - 6.0	2.17	59.45%



LEYENDA

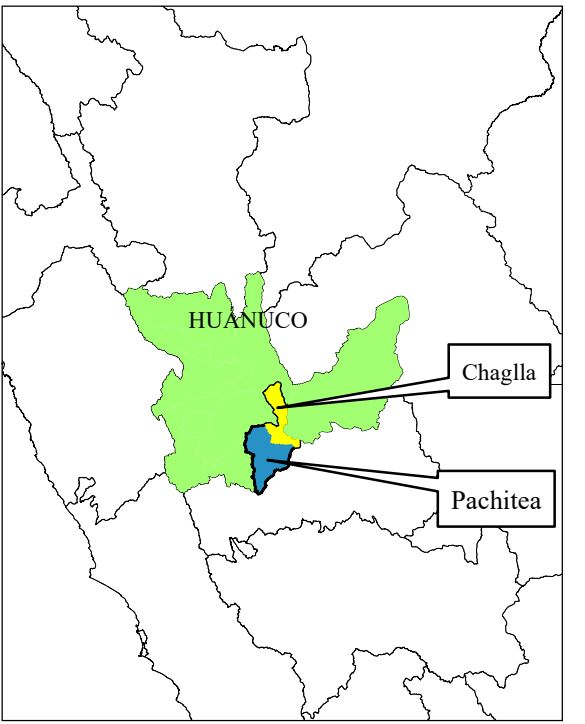
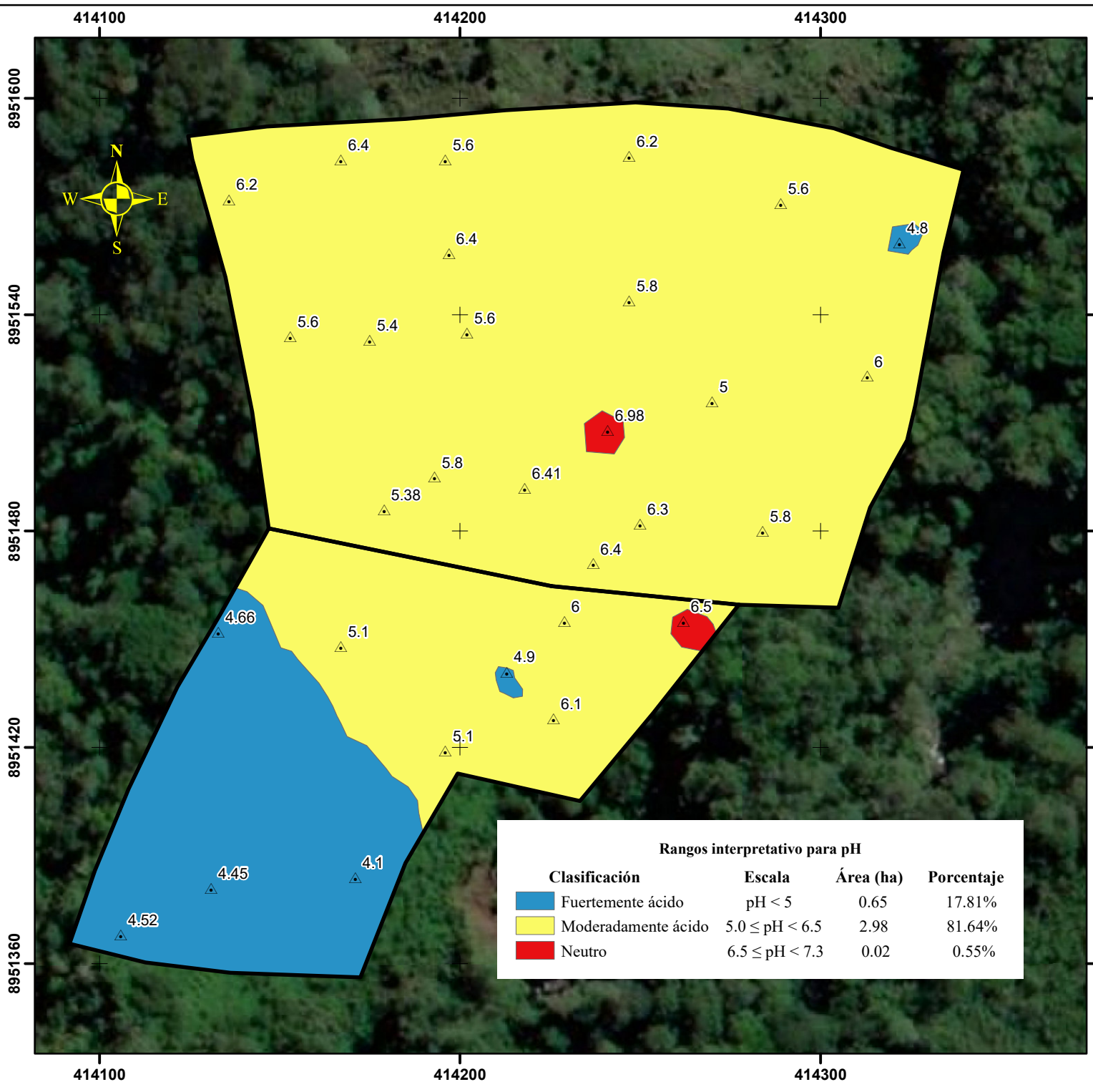
- △ Puntos de muestreo
- Área estudiada

SISTEMA DE PROYECCION
 Datum Horizontal: WGS 84
 Datum Vertical : Nivel medio del mar
 Esteroide : WGS 84
 Proyeccion : UTM
 UTM Zona : 18 S

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGU.
 Tesis: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" - PUEBLO LIBRE.

Mapa de rango interpretativo para materia orgánica

Elaborado : MHTD	Ubicación Política	MAPA: 1
Asesor : Dr. Nelino Florida Roñner	Departamento : Huánuco	
Escala : Indicada	Provincia : Pachitea	
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla	



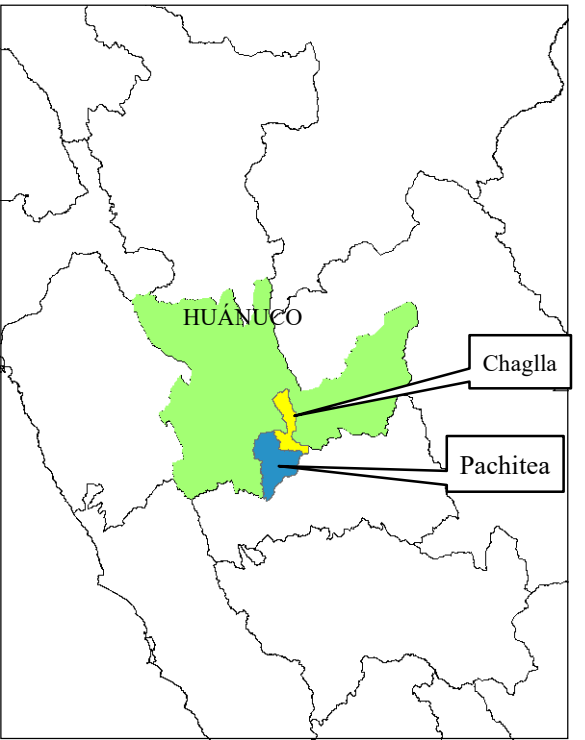
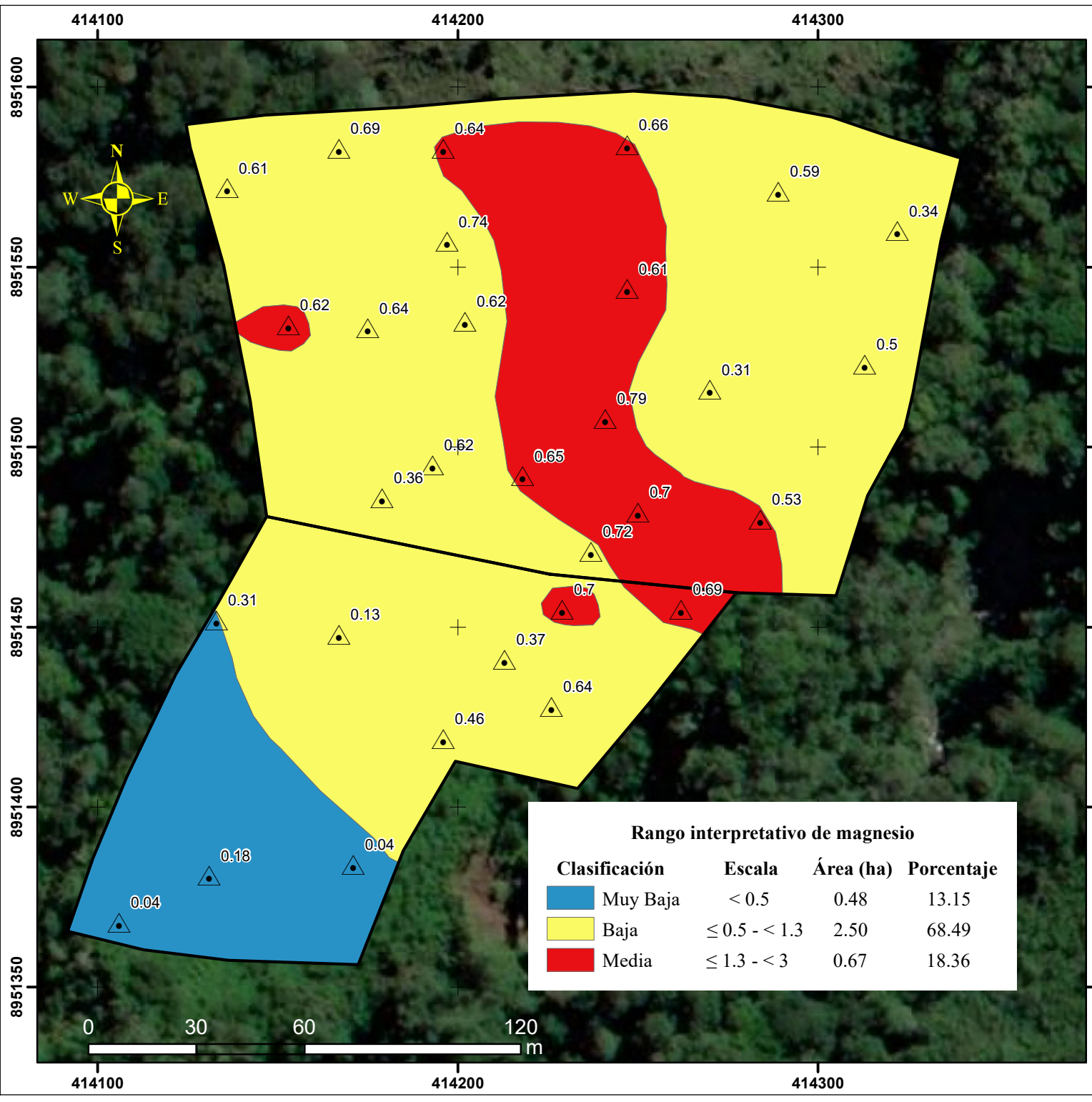
LEYENDA

Puntos de muestreo
 Área estudiada

SISTEMA DE PROYECCION
 Datum Horizontal: WGS 84
 Datum Vertical : Nivel medio del mar
 Esteroide : WGS 84
 Proyeccion : UTM
 UTM Zona : 18 S

Rangos interpretativo para pH			
Clasificación	Escala	Área (ha)	Porcentaje
Fuertemente ácido	pH < 5	0.65	17.81%
Moderadamente ácido	5.0 ≤ pH < 6.5	2.98	81.64%
Neutro	6.5 ≤ pH < 7.3	0.02	0.55%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES <small>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA</small> 	
Tesis: DISTRIBUCION ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" - PUEBLO LIBRE.	
Mapa de rango interpretativo para pH	
Elaborado : MHTD Asesor : Dr. Nelino Florida Rofner Escala : 1:1500 Fecha : Junio - 2023	Ubicación Política Departamento : Huánuco Provincia : Pachitea Distrito : Chaglla
MAPA: 02	



LEYENDA

- ▲ Puntos de muestreo
- Área estudiada

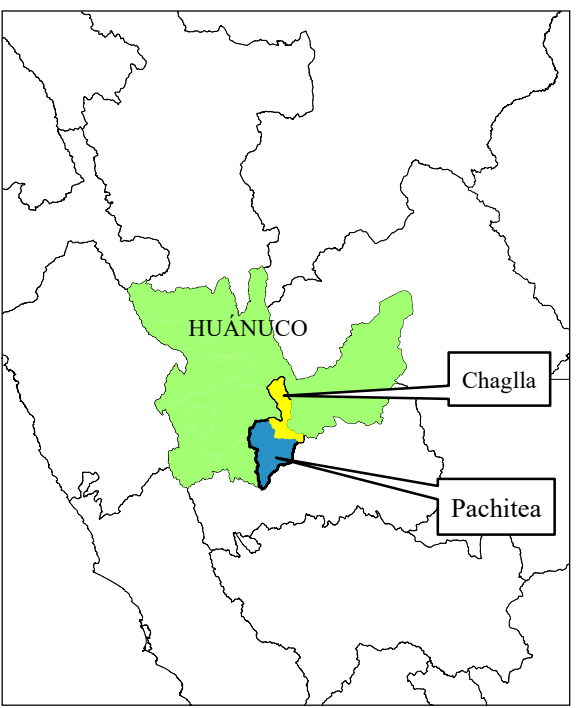
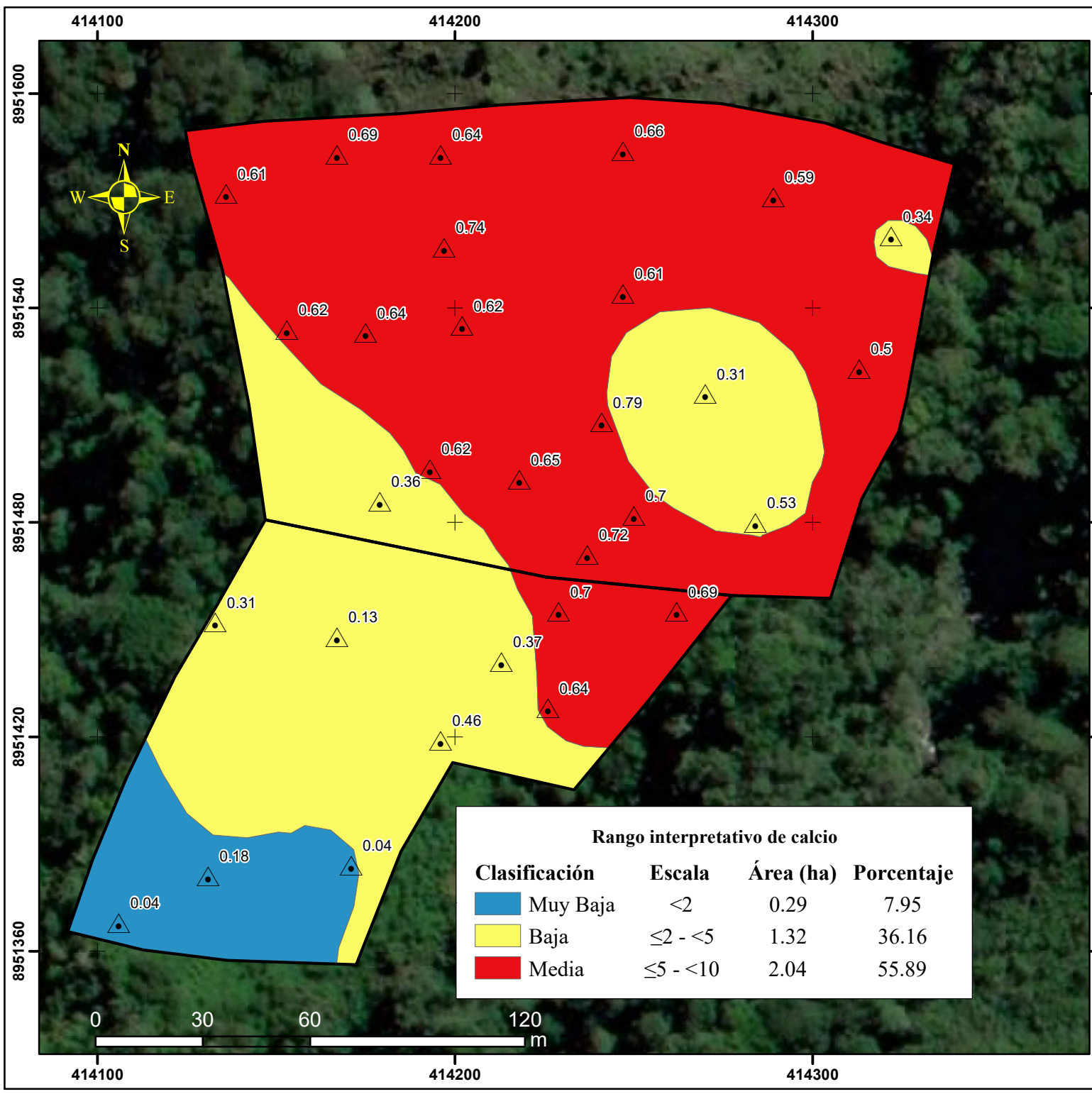
SISTEMA DE PROYECCION
 Datum Horizontal: WGS 84
 Datum Vertical : Nivel medio del mar
 Esteroide : WGS 84
 Proyeccion : UTM
 UTM Zona : 18 S

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGU

Tesis: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" - PUEBLO LIBRE.

Mapa de rango interpretativo para magnesio

Elaborado : MHTD	Ubicación Política	MAPA: 03
Asesor : Dr. Nelino Florida Rofier	Departamento : Huánuco	
Escala : 1:1500	Provincia : Pachitea	
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla	



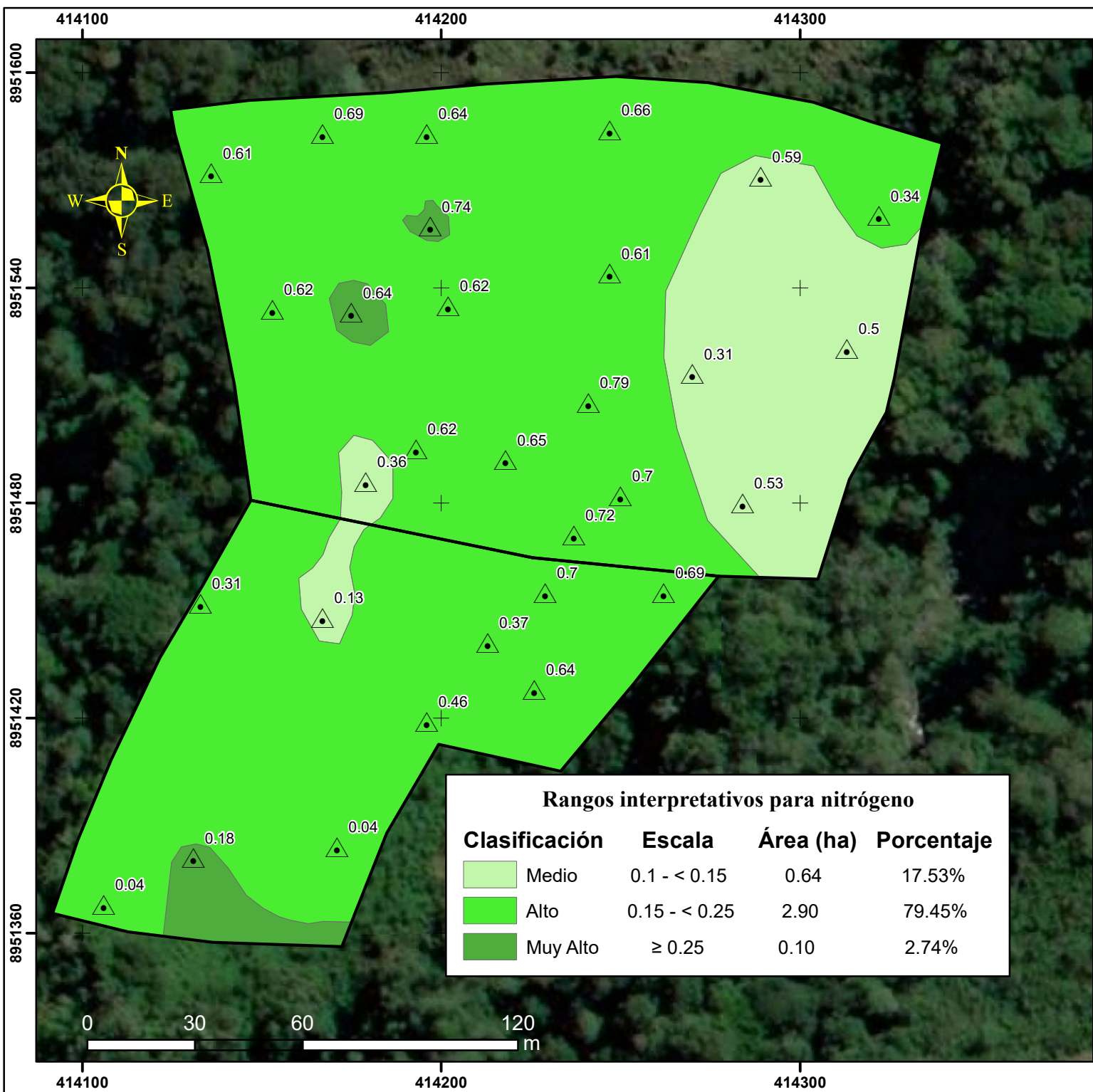
LEYENDA

- △
Puntos de muestreo
- ⬭
Área estudiada

SISTEMA DE PROYECCION
Datum Horizontal: WGS 84
Datum Vertical : Nivel medio del mar
Esteroido : WGS 84
Proyeccion : UTM
UTM Zona : 18 S

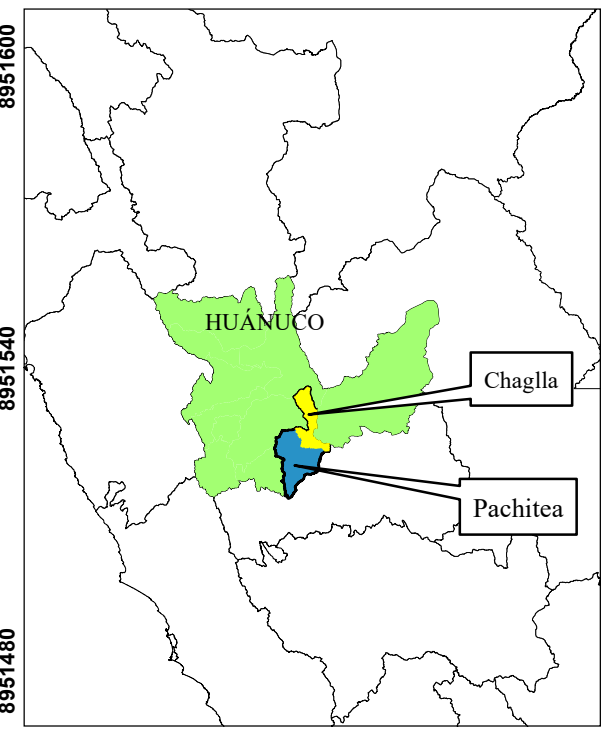
Rango interpretativo de calcio			
Clasificación	Escala	Área (ha)	Porcentaje
■ Muy Baja	<2	0.29	7.95
■ Baja	≤2 - <5	1.32	36.16
■ Media	≤5 - <10	2.04	55.89

		UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES <small>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUAS</small>	
Tesis: DISTRIBUCION ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" - PUEBLO LIBRE.			
Mapa de rango interpretativo para calcio			
Elaborado : MHTD	Ubicación Política		MAPA:
Asesor : Dr. Nelino Florida Rofier	Departamento : Huánuco	04	
Escala : 1:1500	Provincia : Pachitea		
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla		



Rangos interpretativos para nitrógeno

Clasificación	Escala	Área (ha)	Porcentaje
Medio	0.1 - < 0.15	0.64	17.53%
Alto	0.15 - < 0.25	2.90	79.45%
Muy Alto	≥ 0.25	0.10	2.74%

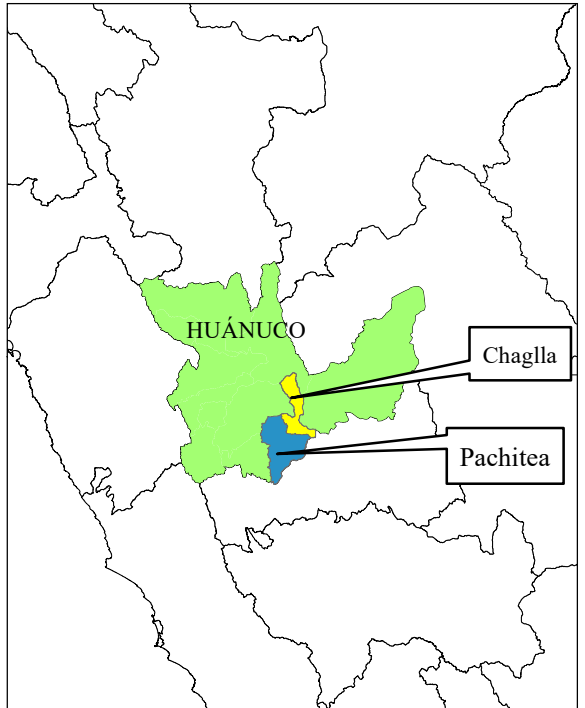
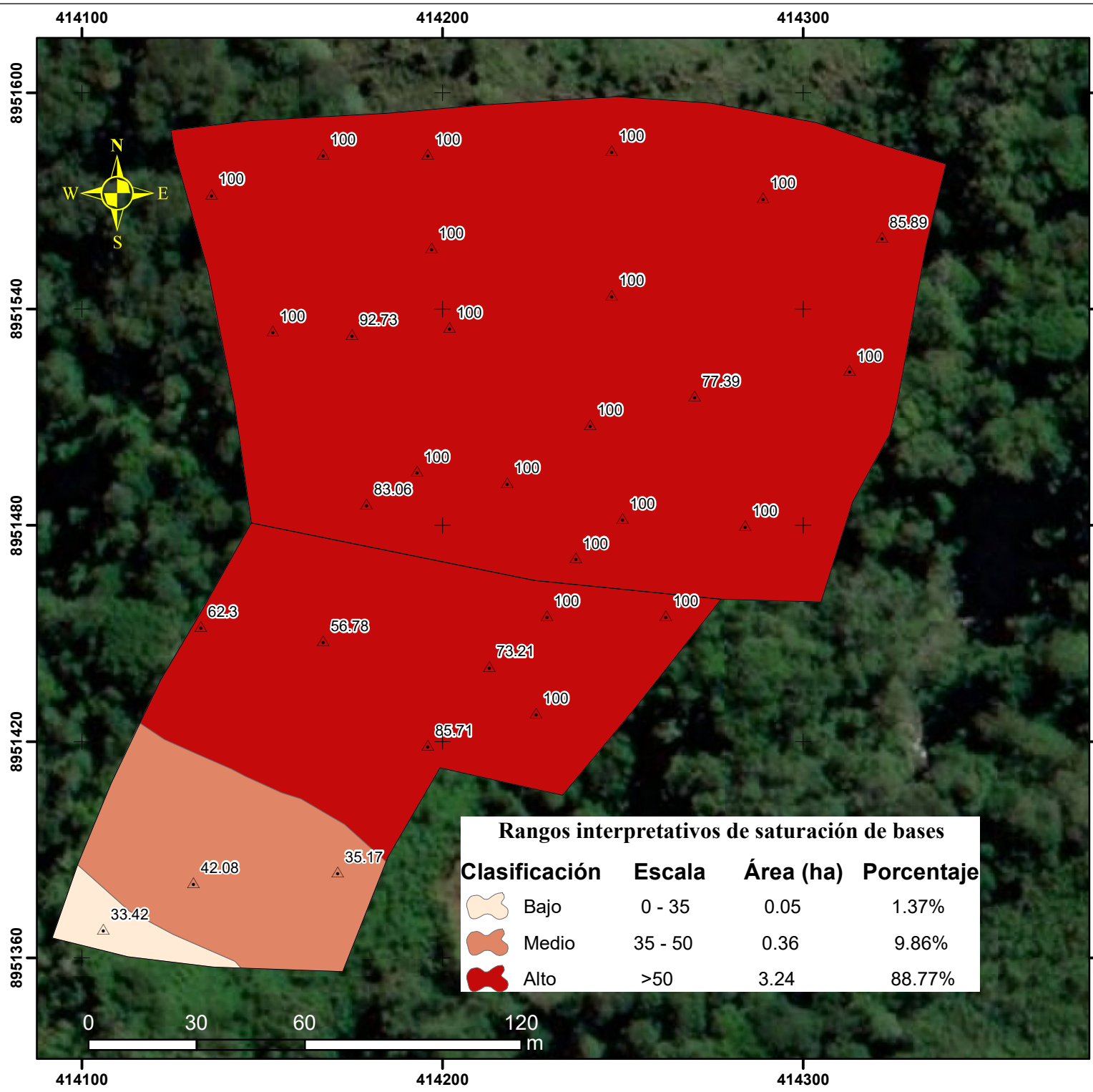


Leyenda

- Puntos de muestreo
- Área estudiada

SISTEMA DE PROYECCION
Datum Horizontal: WGS 84
Datum Vertical : Nivel medio del mar
Esteroides : WGS 84
Proyeccion : UTM
UTM Zona : 18 S

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGU			
Tesis: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" - PUEBLO LIBRE.			
Mapa de rango interpretativo para nitrógeno			
Elaborado : MHTD	Ubicación Política	MAPA: 05	
Asesor : Dr. Nelino Florida Rofner	Departamento : Huánuco		
Escala : 1:1500	Provincia : Pachitea		
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla		



LEYENDA

- Puntos de muestreo
- Área estudiada

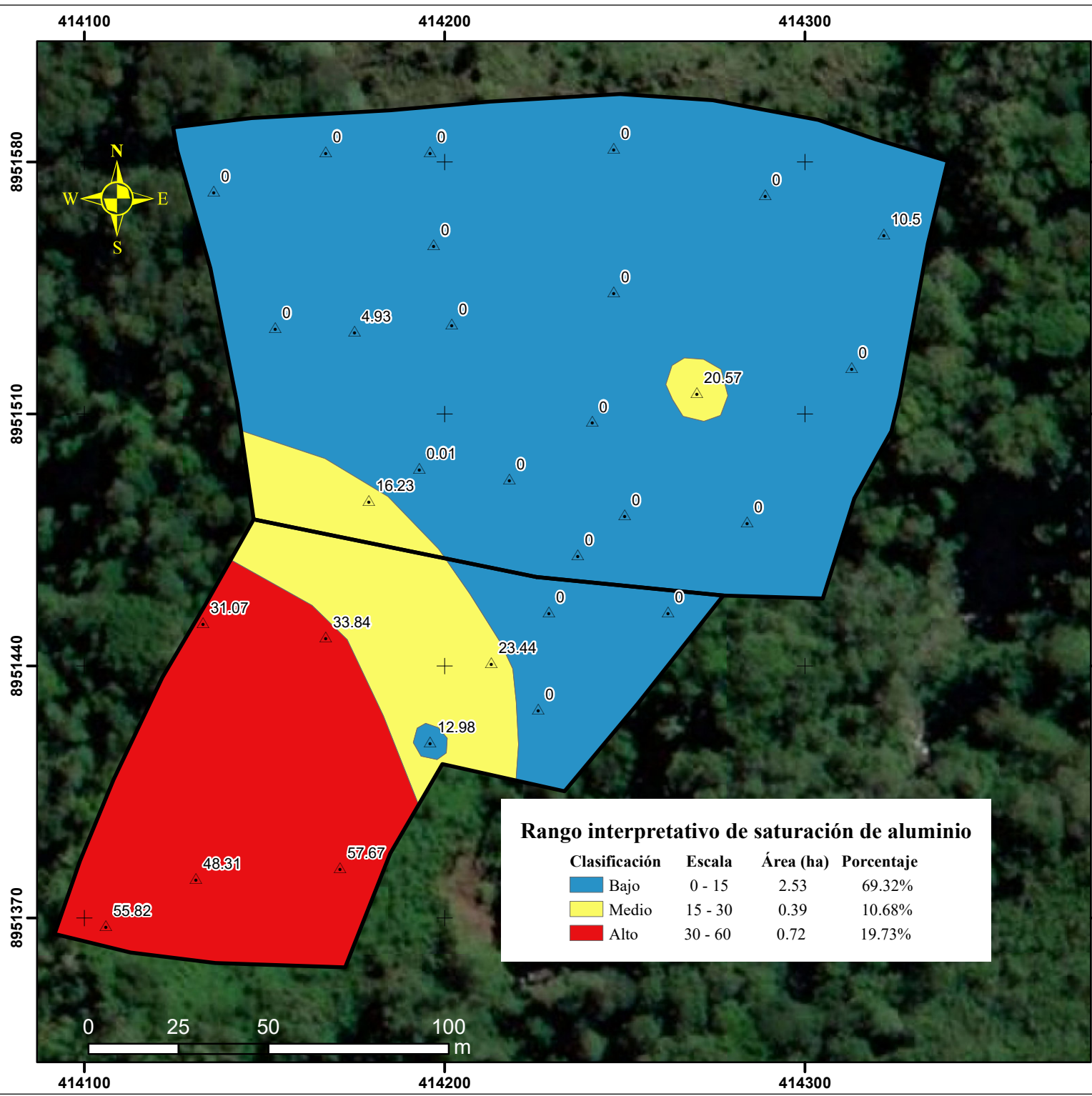
SISTEMA DE PROYECCION
 Datum Horizontal: WGS 84
 Datum Vertical : Nivel medio del mar
 Esteroide : WGS 84
 Proyeccion : UTM
 UTM Zona : 18 S

Rangos interpretativos de saturación de bases

Clasificación	Escala	Área (ha)	Porcentaje
Bajo	0 - 35	0.05	1.37%
Medio	35 - 50	0.36	9.86%
Alto	>50	3.24	88.77%

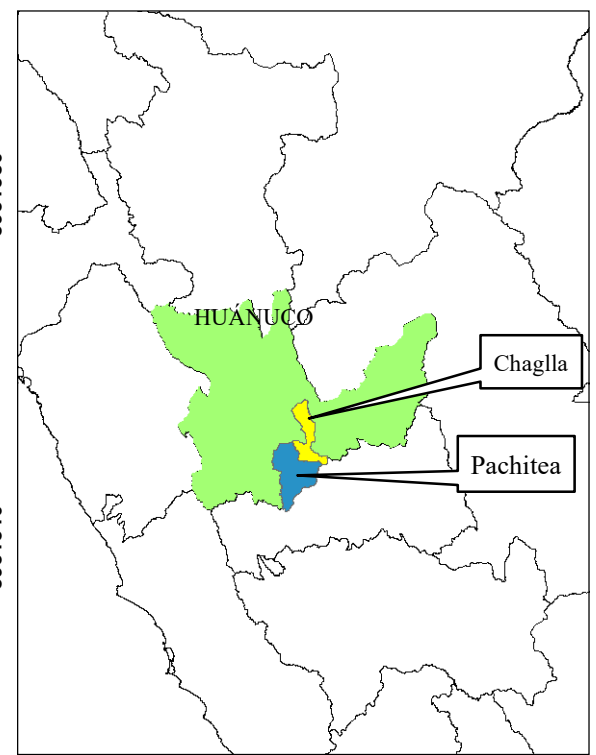
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA
 Tesis: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN
 PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" - PUEBLO LIBRE.
 Mapa de rango interpretativo para saturación de bases

Elaborado : MHTD	Ubicación Política	MAPA: 06
Asesor : Dr. Nelino Florida Rofier	Departamento : Huánuco	
Escala : 1:1500	Provincia : Pachitea	
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla	



Rango interpretativo de saturación de aluminio

Clasificación	Escala	Área (ha)	Porcentaje
Bajo	0 - 15	2.53	69.32%
Medio	15 - 30	0.39	10.68%
Alto	30 - 60	0.72	19.73%

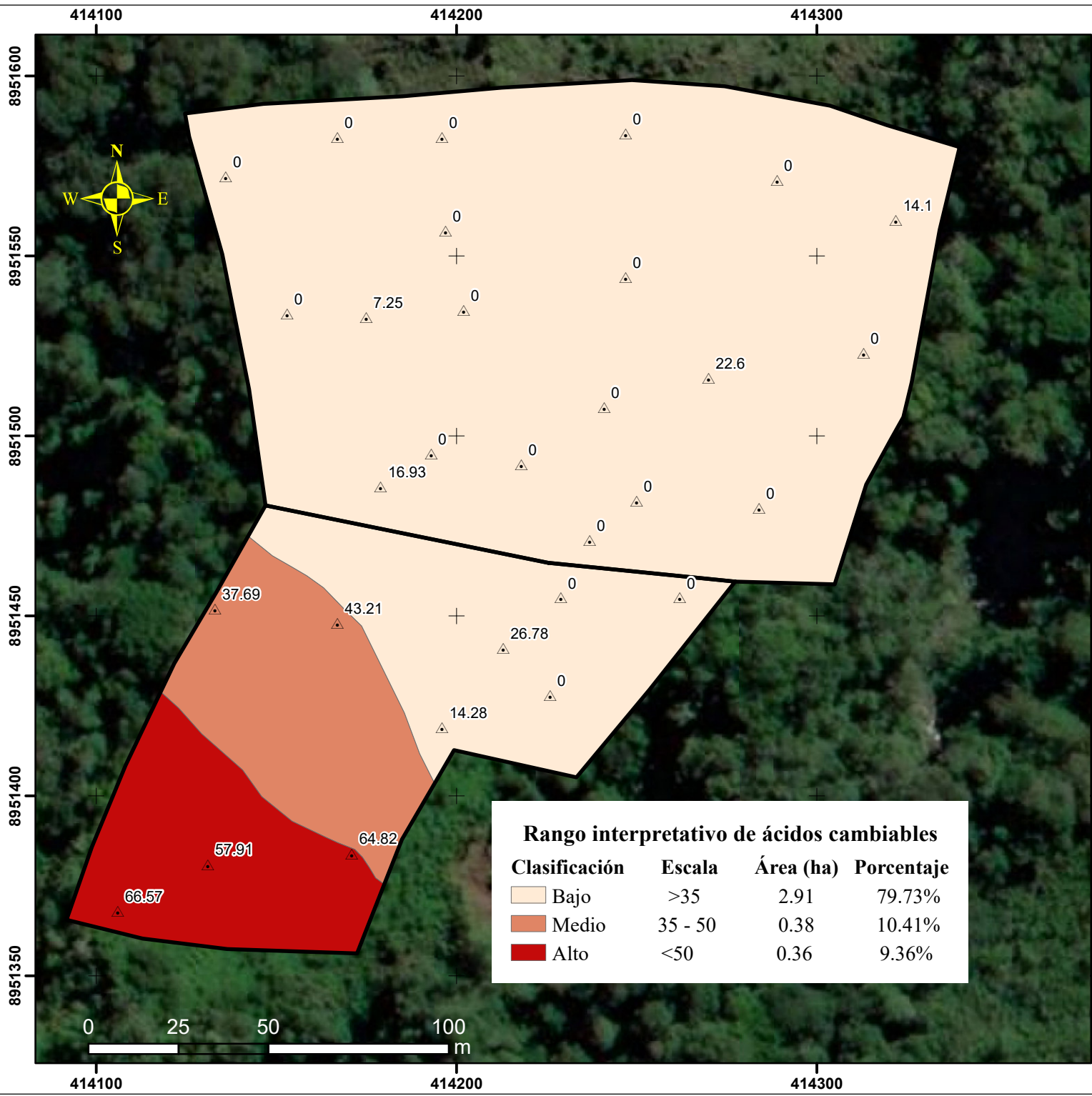


Leyenda

- Puntos de muestreo
- Área estudiada

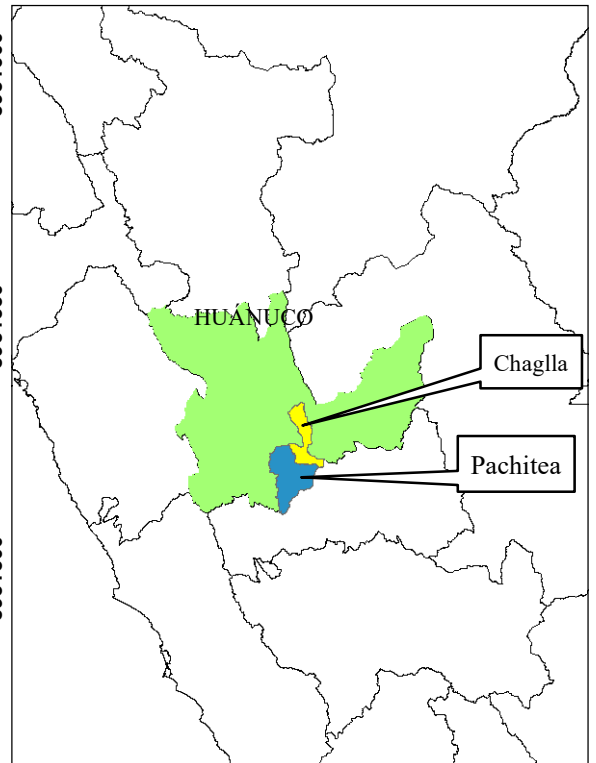
SISTEMA DE PROYECCION
Datum Horizontal: WGS 84
Datum Vertical : Nivel medio del mar
Esteroides : WGS 84
Proyeccion : UTM
UTM Zona : 18 S

 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA		
Tesis: DISTRIBUCION ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" - PUEBLO LIBRE.		
Mapa de rango interpretativo para saturación de aluminio		
Elaborado : MHTD	Ubicación Política	MAPA: 07
Asesor : Dr. Nelino Florida Rofner	Departamento : Huánuco	
Escala : 1:1500	Provincia : Pachitea	
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla	



Rango interpretativo de ácidos cambiabiles

Clasificación	Escala	Área (ha)	Porcentaje
Bajo	>35	2.91	79.73%
Medio	35 - 50	0.38	10.41%
Alto	<50	0.36	9.36%



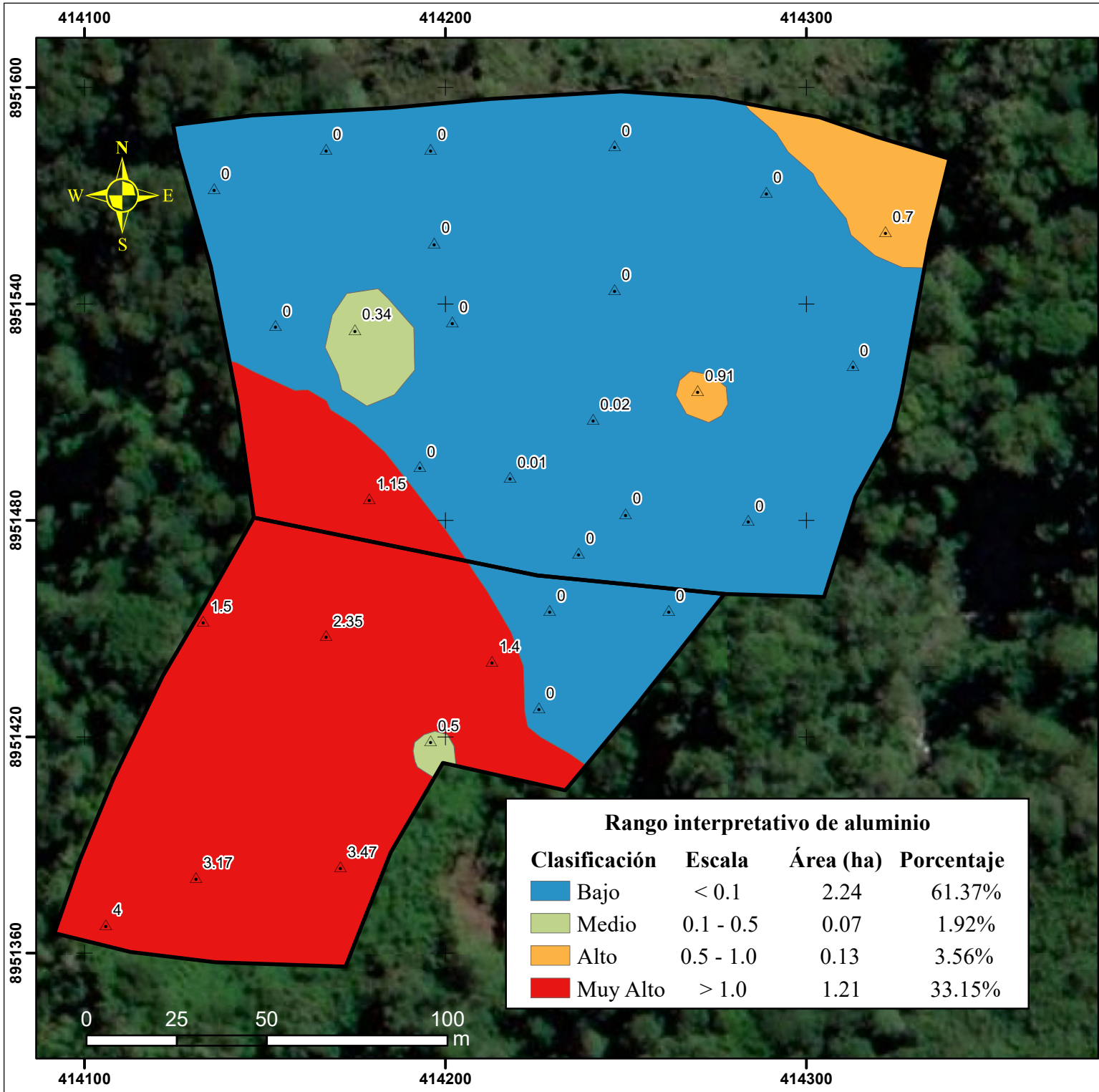
Leyenda

- △ Puntos de muestreo
- ⬭ Área estudiada

SISTEMA DE PROYECCION
 Datum Horizontal: WGS 84
 Datum Vertical: Nivel medio del mar
 Esteroide: WGS 84
 Proyeccion: UTM
 UTM Zona: 18 S

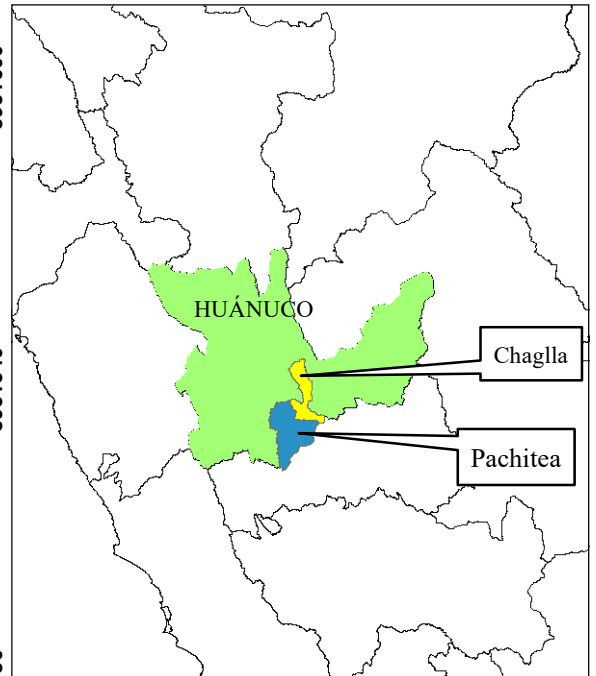
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA
 Tesis: DISTRIBUCION ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMINGUEZ" - PUEBLO LIBRE.
 Mapa de rango interpretativo para ácidos cambiabiles

Elaborado : MHTD	Ubicación Política	MAPA: 08
Asesor : Dr. Nelino Florida Rofier	Departamento : Huánuco	
Escala : 1:1500	Provincia : Pachitea	
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla	



Rango interpretativo de aluminio

Clasificación	Escala	Área (ha)	Porcentaje
■ Bajo	< 0.1	2.24	61.37%
■ Medio	0.1 - 0.5	0.07	1.92%
■ Alto	0.5 - 1.0	0.13	3.56%
■ Muy Alto	> 1.0	1.21	33.15%



Leyenda

- ▲ Puntos de muestreo
- Área en estudio

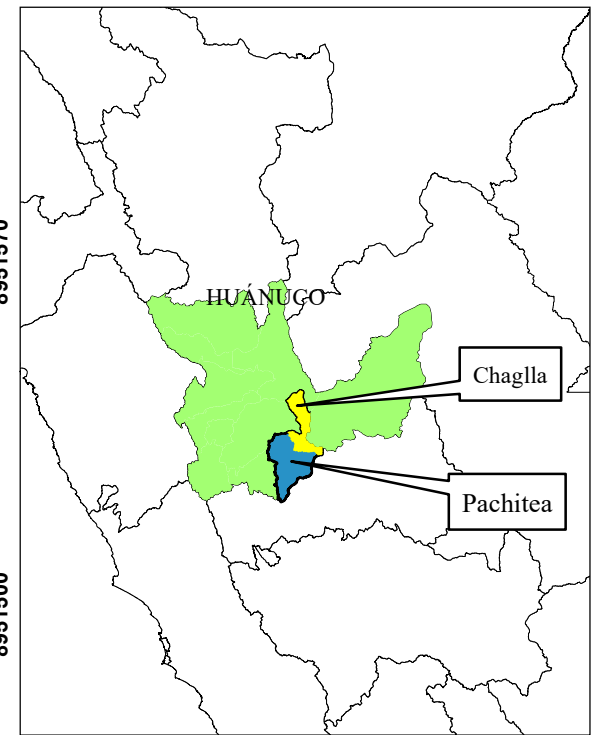
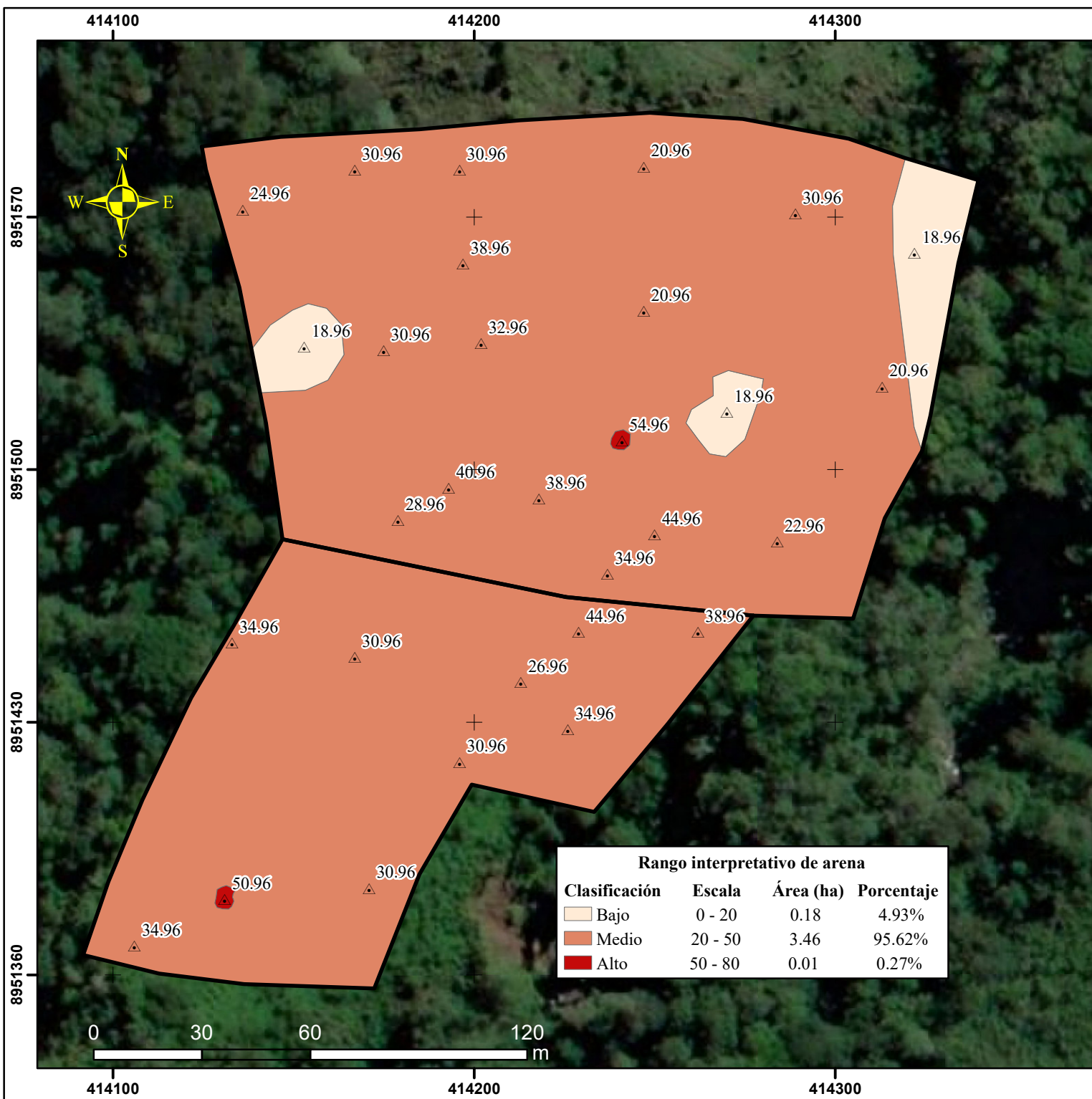
SISTEMA DE PROYECCION
Datum Horizontal: WGS 84
Datum Vertical : Nivel medio del mar
Esteroide : WGS 84
Proyeccion : UTM
UTM Zona : 18 S

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Tesis: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" - PUEBLO LIBRE.

Mapa de rango interpretativo para aluminio

Elaborado : MHTD	Ubicación Política	MAPA: 09
Asesor : Dr. Nelino Florida Rofner	Departamento : Huánuco	
Escala : 1:1500	Provincia : Pachitea	
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla	



Leyenda

- △ Puntos de muestreo
- ⬭ Área estudiada

SISTEMA DE PROYECCION
 Datum Horizontal: WGS 84
 Datum Vertical: Nivel medio del mar
 Esteroide: WGS 84
 Proyeccion: UTM
 UTM Zona: 18 S

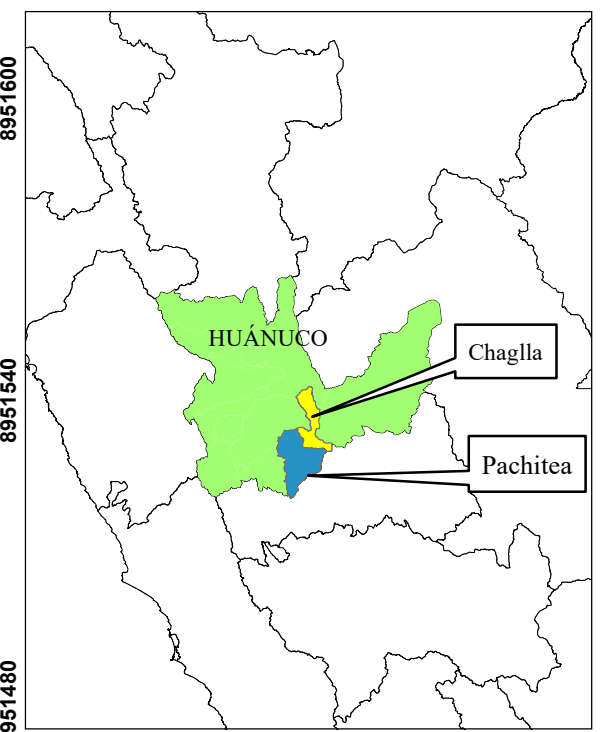
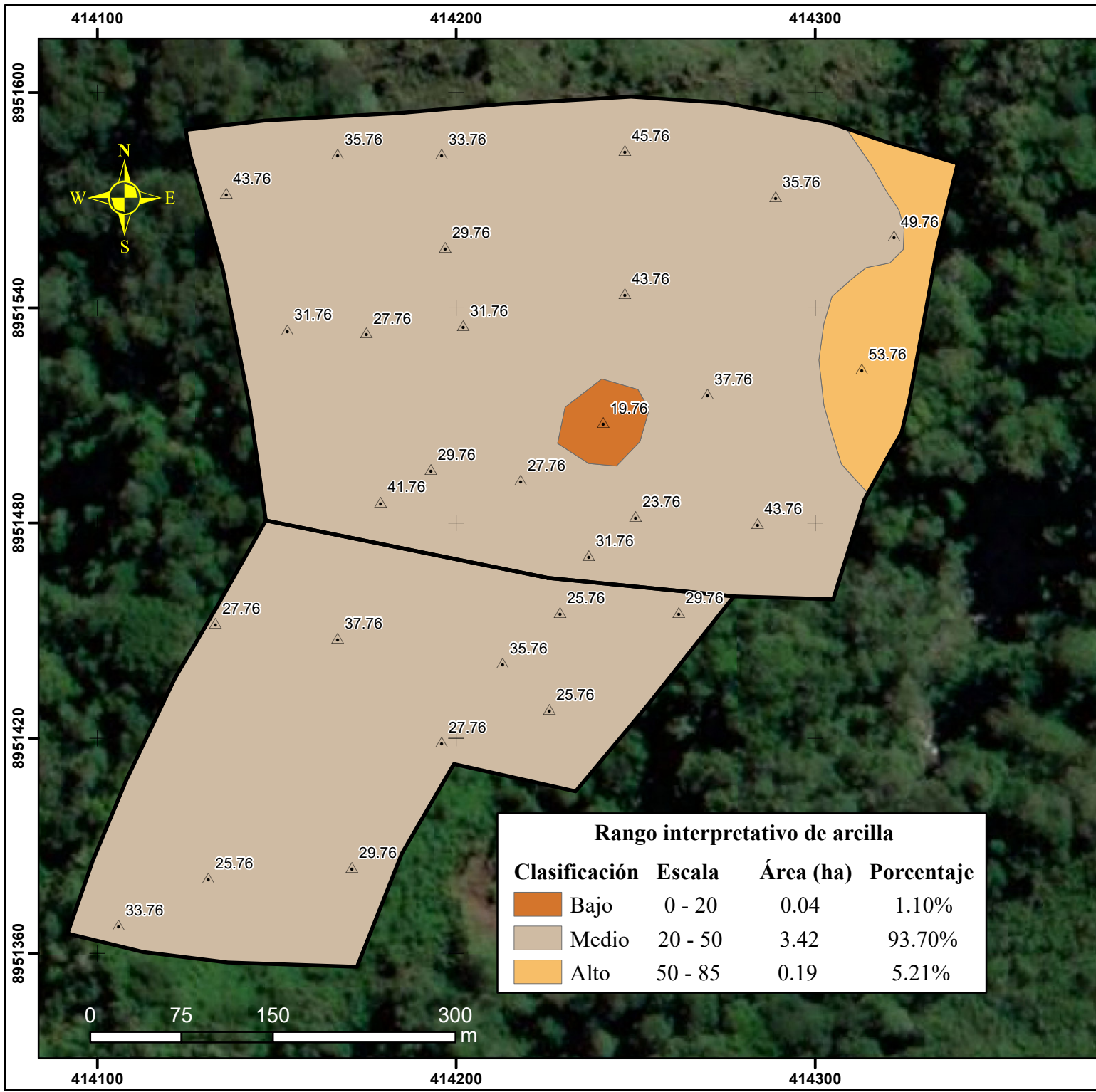
Rango interpretativo de arena			
Clasificación	Escala	Área (ha)	Porcentaje
Bajo	0 - 20	0.18	4.93%
Medio	20 - 50	3.46	95.62%
Alto	50 - 80	0.01	0.27%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA

Tesis: DISTRIBUCION ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" - PUEBLO LIBRE.

Mapa de rango interpretativo para arena

Elaborado : MHTD	Ubicación Política	MAPA:
Asesor : Dr. Nelino Florida Roñer	Departamento : Huánuco	10
Escala : 1:1500	Provincia : Pachitea	
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla	



Leyenda

- Puntos de muestreos
- Área estudiada

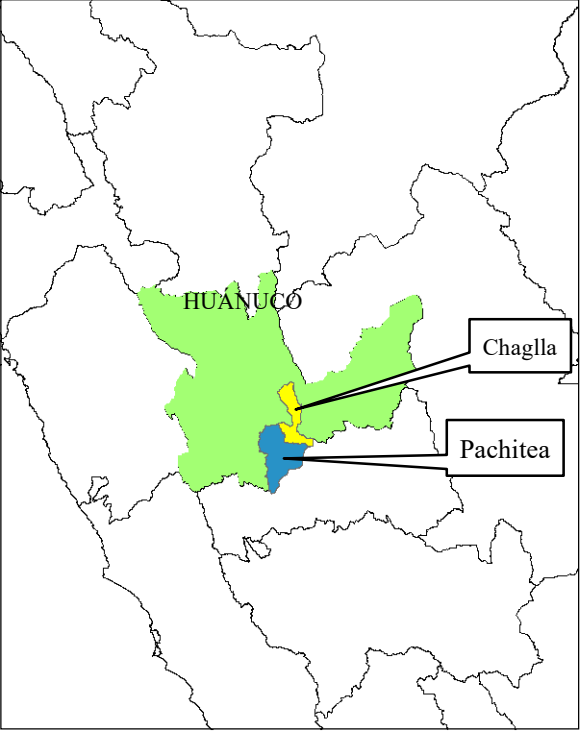
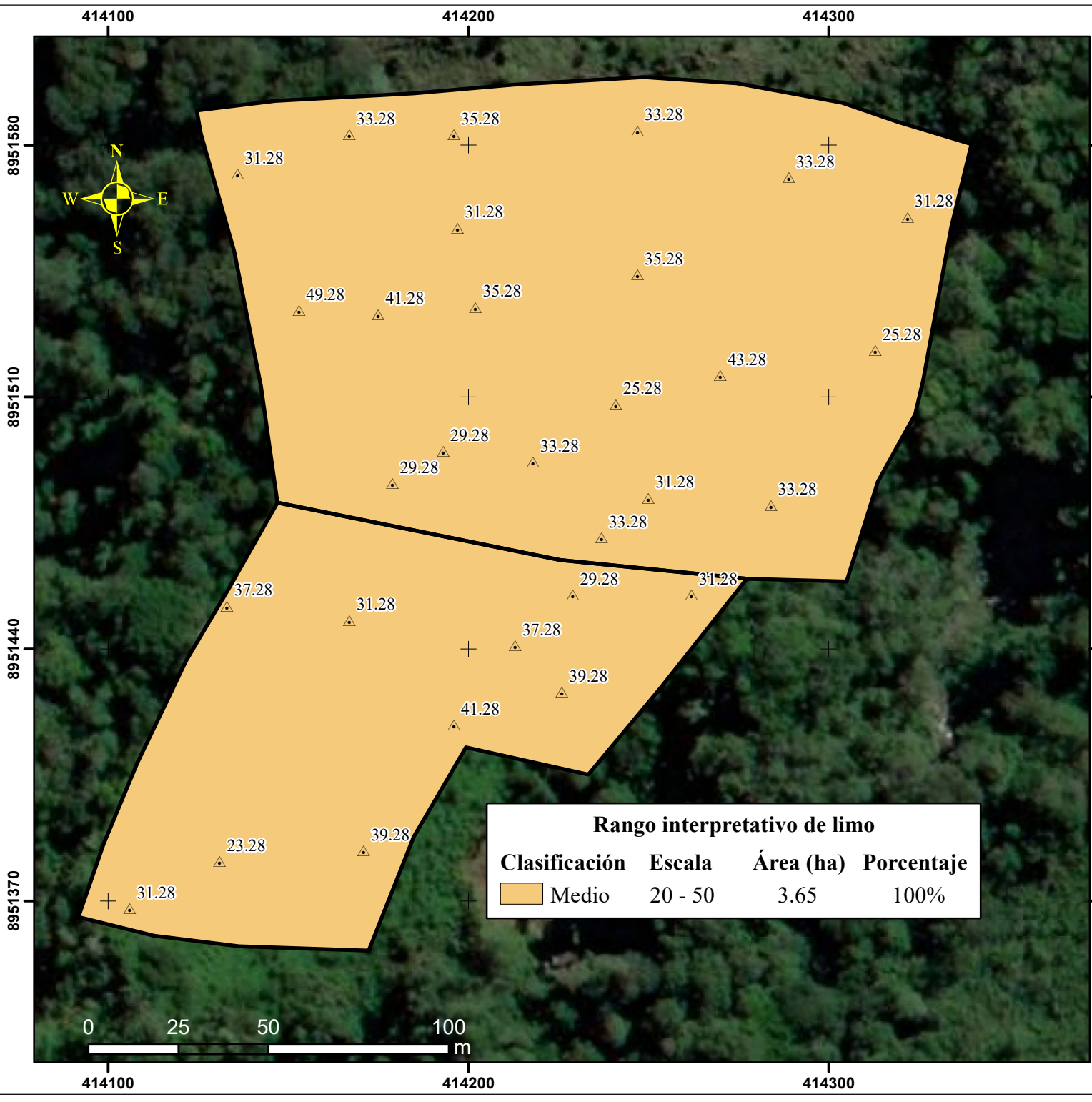
SISTEMA DE PROYECCION
 Datum Horizontal: WGS 84
 Datum Vertical : Nivel medio del mar
 Esteroide : WGS 84
 Proyeccion : UTM
 UTM Zona : 18 S

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA

Tesis: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" - PUEBLO LIBRE.

Mapa de rango interpretativo para arcilla

Elaborado : MHTD	Ubicación Política	MAPA:
Asesor : Dr. Nelino Florida Rofner	Departamento : Huánuco	11
Escala : 1:1500	Provincia : Pachitea	
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla	



Leyenda

Puntos

- ▲ Puntos de muestreos
- Área estudiada

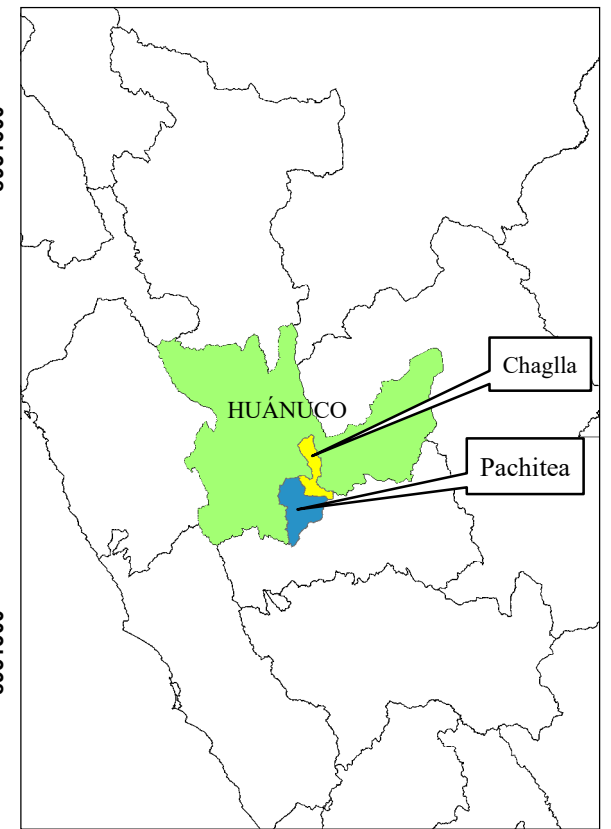
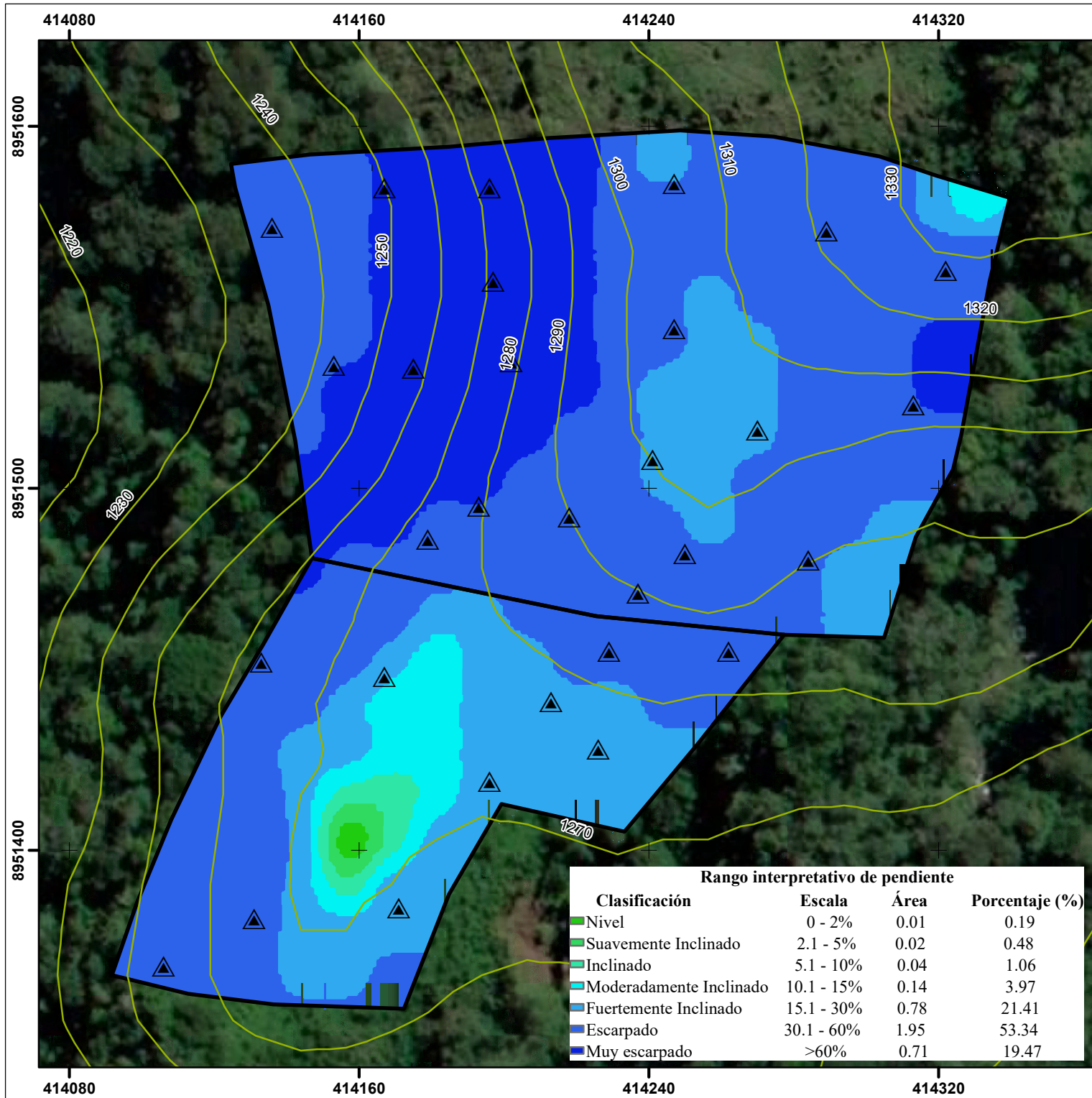
SISTEMA DE PROYECCION
Datum Horizontal: WGS 84
Datum Vertical : Nivel medio del mar
Esterioide : WGS 84
Proyeccion : UTM
UTM Zona : 18 S

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA

Tesis: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" - PUEBLO LIBRE.

Mapa de rango interpretativo para limo

Elaborado : MHTD	Ubicación Política	MAPA: 12
Asesor : Dr. Nelino Florida Roñer	Departamento : Huánuco	
Escala : 1:1500	Provincia : Pachitea	
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla	



LEYENDA

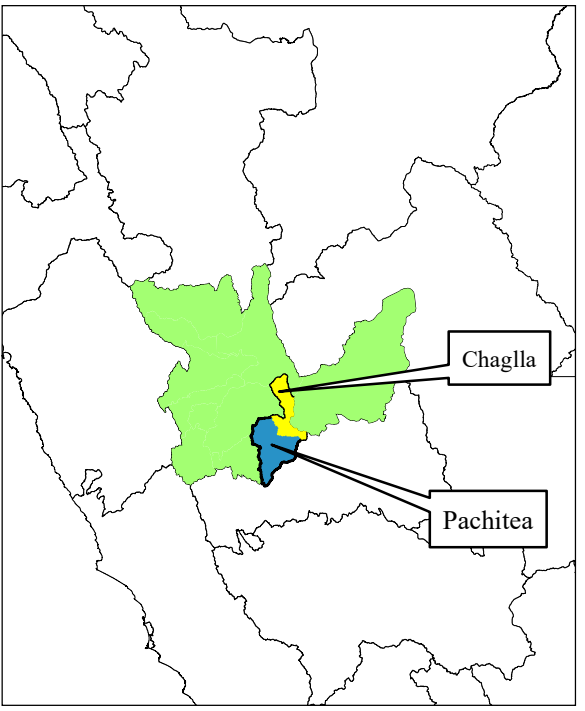
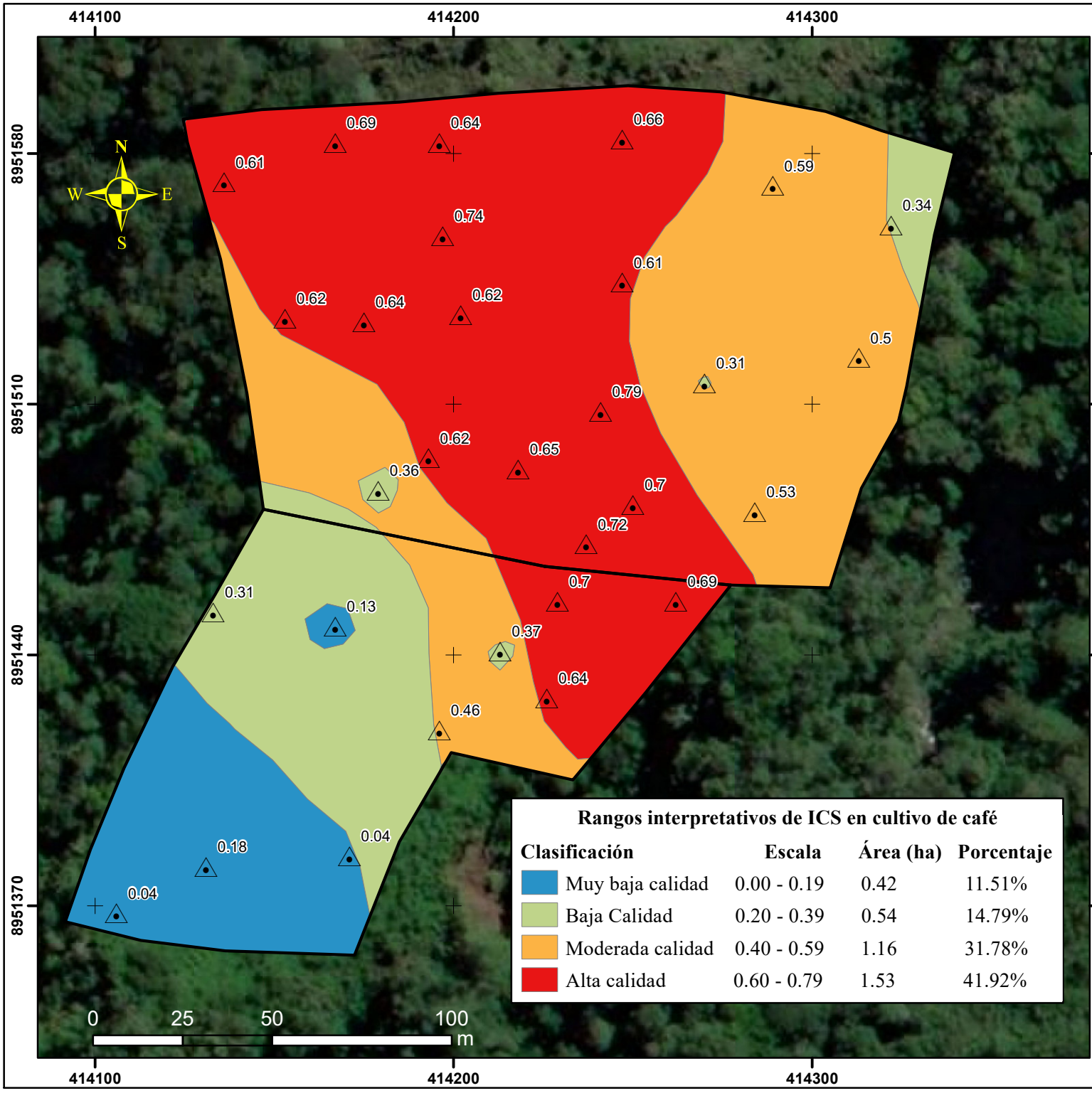
- Puntos de muestreo
- Curvas de nivel
- Área estudiada

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Tesis: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FUNDO "DOMÍNGUEZ" - PUEBLO LIBRE.

Mapa de rango interpretativo de Pendiente

Proyección : UTM Zona 18 S	Datum : WGS 84	Mapa:
Elaborado : MHTD	Ubicación Política	
Asesor : Dr. Nelino Florida Rofiger	Departamento : Huánuco	13
Escala : 1:1500	Provincia : Pachitea	
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla	



LEYENDA

Puntos de muestreo
 Área estudiada

SISTEMA DE PROYECCION
 Datum Horizontal: WGS 84
 Datum Vertical : Nivel medio del mar
 Esteroide : WGS 84
 Proyeccion : UTM
 UTM Zona : 18 S

Rangos interpretativos de ICS en cultivo de café

Clasificación	Escala	Área (ha)	Porcentaje
Muy baja calidad	0.00 - 0.19	0.42	11.51%
Baja Calidad	0.20 - 0.39	0.54	14.79%
Moderada calidad	0.40 - 0.59	1.16	31.78%
Alta calidad	0.60 - 0.79	1.53	41.92%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGU		
Tesis: DISTRIBUCION ESPACIAL DE CALIDAD DE SUELO EN PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL FONDO "DOMINGUEZ" - PUEBLO LIBRE.		
Mapa de Rango Interpretativo para el Índice de Calidad en el suelo		
Elaborado : MHTD	Ubicación Política	
Asesor : Dr. Nelino Florida Rofier	Departamento : Huánuco	MAPA: 14
Escala : Indicada	Provincia : Pachitea	
Fecha : Junio - 2023	Distrito : Chaglla	



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		TELLO DOMINGUEZ MERCY HILEN																					
N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			pH	CE	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%	
	CODIGO DEL LAB.	CODIGO DEL SOLICITANTE	Arena	Arcilla	Limo								Textura	1:1	dSm	%	%	ppm					ppm
			%	%	%																		
1	S1162	M1	31	38	31	Franco Arcilloso	5.10	0.128	1.97	0.10	1.15	245.04	---	2.78	0.89	0.14	0.132	2.35	0.65	6.94	57	43	34
2	S1163	M2	29	42	29	Arcilloso	5.38	0.075	2.64	0.13	1.73	155.33	---	4.49	1.05	0.28	0.067	1.15	0.05	7.08	83	17	16
3	S1164	M3	51	26	23	Franco Arcillo Arenoso	4.45	0.385	5.62	0.28	4.10	201.56	---	1.96	0.36	0.34	0.102	3.17	0.63	6.56	42	58	48
4	S1165	M4	41	30	29	Franco Arcilloso	5.80	0.333	3.60	0.18	8.17	244.34	6.74	5.04	1.05	0.59	0.057	0.00	0.00	----	100	0	0
5	S1166	M5	31	28	41	Franco Arcillo Limoso	5.40	0.210	5.17	0.26	10.78	126.84	---	5.34	0.78	0.21	0.062	0.34	0.16	6.89	93	7	5
6	S1167	M6	19	32	49	Franco Arcillo Limoso	5.60	0.254	3.43	0.17	1.44	91.16	7.10	5.24	1.60	0.18	0.071	0.00	0.00	---	100	0	0
7	S1168	M7	25	44	31	Arcilloso	6.20	0.538	4.50	0.22	5.03	111.70	6.24	5.07	0.86	0.24	0.070	0.00	0.00	----	100	0	0
8	S1169	M8	31	36	33	Franco Arcilloso	6.40	0.370	4.83	0.24	10.38	138.74	7.49	6.56	0.65	0.22	0.060	0.00	0.00	---	100	0	0
9	S1170	M9	39	30	31	Franco Arcilloso	6.40	0.506	5.00	0.25	12.35	172.02	7.86	6.38	1.08	0.34	0.059	0.00	0.00	----	100	0	0
10	S1171	M10	33	32	35	Franco Arcilloso	5.60	0.203	3.82	0.19	8.57	209.51	6.69	5.10	1.17	0.35	0.067	0.00	0.00	----	100	0	0
11	S1172	M11	45	26	29	Franco Arcilloso	6.00	0.363	3.77	0.19	10.96	238.60	8.69	6.14	1.98	0.51	0.062	0.00	0.00	----	100	0	0
12	S1173	M12	27	36	37	Franco Arcilloso	4.90	0.122	4.50	0.22	5.62	238.25	---	3.23	0.79	0.29	0.061	1.40	0.20	5.97	73	27	23
13	S1174	M13	35	26	39	Franco Arcilloso	6.10	0.230	3.15	0.16	1.44	60.02	6.42	5.33	0.91	0.10	0.077	0.00	0.00	----	100	0	0
14	S1175	M14	31	28	41	Franco Arcillo Limoso	5.10	0.153	3.60	0.18	1.54	271.94	---	2.46	0.66	0.12	0.061	0.50	0.05	3.85	86	14	13
15	S1176	M15	31	30	39	Franco Arcilloso	4.10	0.227	4.55	0.23	3.38	276.38	---	1.63	0.27	0.15	0.067	3.47	0.43	6.02	35	65	58

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO No. 00001055

TINGO MARIA, 22 DE JULIO 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. MUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe (a) Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología





ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:			TELLO DOMINGUEZ MERCY HILEN																				
N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			pH	CE	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmo(+)/kg						CICe	%	%	%	
	CODIGO DEL LAB.	CODIGO DEL SOLICITANTE	Arena	Arcilla	Limo								Textura	1:1	dS/m	%	%	ppm					ppm
			%	%	%																		
16	S1177	M16	31	34	35	Franco Arcilloso	5.60	0.427	3.71	0.19	20.49	250.30	8.58	6.68	1.51	0.32	0.064	0.00	0.00	---	100	0	0
17	S1178	M17	21	46	33	Arcilloso	6.20	0.380	4.78	0.24	11.94	200.94	8.68	6.44	1.62	0.56	0.062	0.00	0.00	---	100	0	0
18	S1179	M18	31	36	33	Franco Arcilloso	5.60	0.166	2.59	0.13	0.95	233.61	9.47	8.18	1.01	0.21	0.065	0.00	0.00	---	100	0	0
19	S1180	M19	19	50	31	Arcilloso	4.80	0.129	2.92	0.15	0.37	279.64	---	4.79	0.72	0.16	0.059	0.70	0.24	6.67	86	14	11
20	S1181	M20	21	54	25	Arcilloso	6.00	0.427	2.87	0.14	5.33	242.44	7.62	6.27	1.12	0.16	0.066	0.00	0.00	---	100	0	0
21	S1182	M21	23	44	33	Arcilloso	5.80	0.236	2.86	0.14	1.24	59.17	6.51	4.77	1.54	0.14	0.057	0.00	0.00	---	100	0	0
22	S1183	M22	39	30	31	Franco Arcilloso	6.50	0.458	3.48	0.17	3.09	86.41	8.25	6.33	1.68	0.17	0.066	0.00	0.00	---	100	0	0
23	S1184	M23	35	32	33	Franco Arcilloso	6.40	0.382	4.83	0.24	6.98	194.56	7.62	6.21	1.04	0.32	0.057	0.00	0.00	---	100	0	0
24	S1185	M24	45	24	31	Franco	6.30	0.464	3.99	0.20	4.55	153.08	6.71	5.04	1.43	0.18	0.068	0.00	0.00	---	100	0	0
25	S1186	M25	19	38	43	Franco Arcillo Limoso	5.00	0.099	2.87	0.14	1.83	94.21	---	2.57	0.64	0.13	0.087	0.91	0.09	4.42	77	23	21
26	S1187	M26	21	44	35	Arcilloso	5.80	0.418	4.27	0.21	2.99	106.15	7.41	5.39	1.78	0.18	0.068	0.00	0.00	---	100	0	0
27	S1188	M27	39	28	33	Franco Arcilloso	6.41	0.444	3.20	0.16	5.91	172.77	6.88	5.29	1.33	0.20	0.064	0.00	0.00	---	100	0	0
28	S1189	M28	55	20	25	Franco Arenoso	6.98	0.482	4.67	0.23	10.29	175.17	7.67	5.93	1.34	0.32	0.075	0.00	0.00	---	100	0	0
29	S1190	M29	35	28	37	Franco Arcilloso	4.66	0.081	4.55	0.23	6.30	77.82	---	2.50	0.30	0.11	0.089	1.50	0.32	4.83	62	38	31
30	S1191	M30	35	34	31	Franco Arcilloso	4.52	0.060	3.32	0.17	3.19	144.39	---	1.78	0.38	0.15	0.086	4.00	0.77	7.17	33	67	56

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO No. 00001055

TINGO MARIA, 22 DE JULIO 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María



Dr. NUGO ALFREDO RUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

8.5. Fotografías de campo



Figura 16 y 17. Toma de coordenadas



Figura 178 y 19. Muestreo de suelo



Figura 20 y 21. Embolsado de suelo

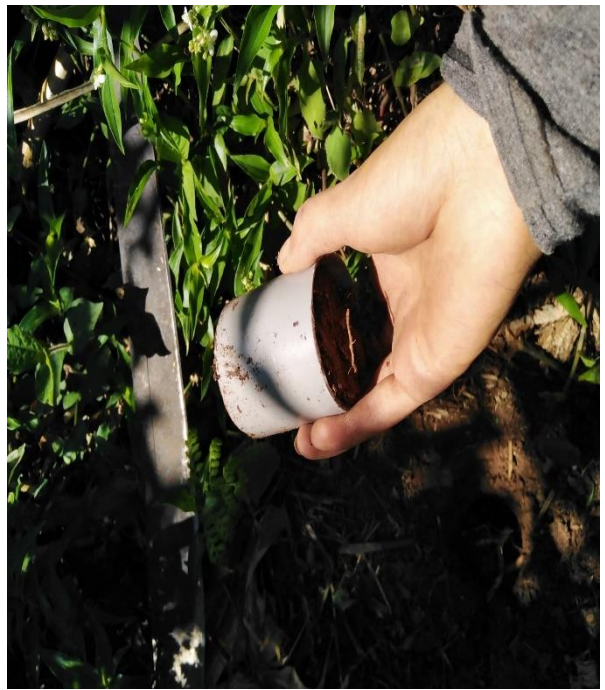


Figura 22 y 23. Muestreo de suelo para densidad aparente