



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS PARÁMETROS QUÍMICOS,
FÍSICO-MECÁNICOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD DE
PIAMONTE, PARROQUIA PAN DE AZÚCAR, CANTÓN SAN
JUAN BOSCO, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN MINAS

AUTORAS:

KIMBERLY ADRIANA MATUTE VERA

YULISSA FERNANDA CHAMORRO CHACHA

Macas – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS PARÁMETROS QUÍMICOS,
FÍSICO-MECÁNICOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD DE
PIAMONTE, PARROQUIA PAN DE AZÚCAR, CANTÓN SAN
JUAN BOSCO, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN MINAS

AUTORAS: KIMBERLY ADRIANA MATUTE VERA

YULISSA FERNANDA CHAMORRO CHACHA

DIRECTOR: Ing. EDUARDO SANTIAGO CAZAR RIVERA. MSc.

Macas – Ecuador

2023

© 2023, Matute Vera Kimberly Adriana & Chamorro Chacha Yulissa Fernanda

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

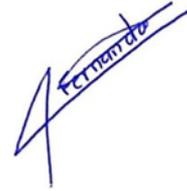
Nosotras, Kimberly Adriana Matute Vera y Yulissa Fernanda Chamorro Chacha declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 28 de noviembre de 2023



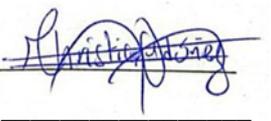
Kimberly Adriana Matute Vera
140104383-9



Yulissa Fernanda Chamorro Chacha
140087585-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular tipo: Proyecto Técnico, **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS PARÁMETROS QUÍMICOS, FÍSICO-MECÁNICOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD DE PIAMONTE, PARROQUIA PAN DE AZÚCAR, CANTÓN SAN JUAN BOSCO, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO.**, realizado por las señoritas **KIMBERLY ADRIANA MATUTE VERA** y **YULISSA FERNANDA CHAMORRO CHACHA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Alex Estuardo Erazo Lara PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2023-11-28
Ing. Eduardo Santiago Cazar Rivera DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-11-28
Ing. Christian Adrián Ordoñez Guaycha ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-11-28

DEDICATORIA

A mis padres, Carmen y Clodomiro que han sacrificado tanto para brindarme oportunidades y apoyo, les dedico este logro. Cada palabra escrita es un reflejo de la educación, valores y amor incondicional que me han brindado. A mis queridos hermanos Alexandra, Elizabeth, Patricio, Hernán y Miriam, gracias por ser mi constante fuente de inspiración, amor y fortaleza. A mis sobrinos, los cuales han sido la chispa de alegría que ilumina mi vida, ustedes son la promesa y la razón por la cual me esfuerzo por construir un camino más sólido y brillante. Este logro no solo es mío, sino también de cada uno de ustedes. Gracias por ser mi red de apoyo, por inspirarme y por ser testigos de este capítulo significativo de mi vida.

Kimberly

Dedico este Trabajo de Integración Curricular a mis padres y hermana, en especial a mi madre Myrian Chamorro, un pilar fundamental quién con su apoyo incondicional y sacrificio ha iluminado cada paso de mi trayectoria académica. Su confianza, paciencia y aliento permitieron cumplir con mis objetivos impulsado a alcanzar este logro. A Luis Cevallos, cuyo legado de conocimientos llenos de consejos han sido guías esenciales para afrontar las dificultades que se presentaban. Esto es tan suyo como mío. Por ser fuente de inspiración constante y mi mayor motivación.

Yulissa

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a los moradores de la comunidad de Piamonte por permitirnos llevar a cabo el muestreo de suelo en las respectivas fincas. Esta tesis ha sido posible gracias a la generosidad y hospitalidad excepcional que hemos experimentado durante nuestra estadía. A la ESPOCH sede Morona Santiago por su generosa colaboración al proporcionarnos acceso a los equipos de laboratorio necesarios para llevar a cabo análisis detallados del suelo, enriqueciendo así la calidad y la validez de los resultados de nuestro trabajo de integración curricular. En definitiva, agradecemos a nuestro director y asesor, los ingenieros Eduardo Cazar y Christian Adrián Ordoñez por el tiempo dedicado a revisar y evaluar este trabajo, sus aportes críticos han enriquecido significativamente la calidad de la investigación al mismo tiempo que proporcionaba la dirección necesaria para mantenernos enfocados en los objetivos.

Kimberly & Yulissa

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Planeamiento y definición del problema.....	3
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.5 Generalidades.....	4
1.5.1 <i>Ubicación</i>	4
1.5.2 <i>Accesibilidad</i>	5
1.5.3 <i>Clima</i>	6
1.6 Marco geológico.....	6
1.6.1 <i>Geología regional</i>	6
1.6.1.1 <i>Unidad Upano (Salado)</i>	7
1.6.1.2 <i>Unidad Pucarón</i>	7
1.6.1.3 <i>Unidad La Saquea</i>	7
1.6.1.4 <i>Formación Napo</i>	7
1.6.2 <i>Geología local</i>	8

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1	Esquemas para el muestreo de suelos	9
2.1.1	<i>Muestreo en cuadrícula</i>	9
2.1.2	<i>Muestreo en zig-zag</i>	10
2.1.3	<i>Muestreo aleatorio simple</i>	10
2.1.4	<i>Muestreo aleatorio estratificado</i>	11
2.2	Suelos	11
2.2.1	<i>Parámetros o indicadores del suelo</i>	12
2.2.2	<i>Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)</i>	13
2.2.3	<i>Parámetros físicos – mecánicos</i>	15
2.2.3.1	<i>Análisis granulométrico</i>	15
2.2.3.2	<i>Límite líquido</i>	17
2.2.3.3	<i>Límite Plástico</i>	17
2.2.3.4	<i>Contenido de humedad</i>	18
2.2.3.5	<i>Densidad aparente</i>	18
2.2.4	<i>Parámetros químicos</i>	19
2.2.4.1	<i>PH</i>	19
2.2.4.2	<i>Conductividad eléctrica (CE)</i>	20
2.3	Sistemas de Información Geográfica (SIG)	21
2.3.1	<i>Bases cartográficas y geodésicas</i>	21
2.4	Estadística	21
2.4.1	<i>Histograma</i>	22
2.4.2	<i>Media</i>	22
2.4.3	<i>Mediana</i>	23
2.4.4	<i>Moda</i>	24
2.4.5	<i>Varianza</i>	25
2.4.6	<i>Desviación estándar</i>	26

2.5	Geoestadística	26
2.5.1	Interpolación	27
2.5.1.1	<i>Kriging Ordinario</i>	27
2.5.1.2	<i>Inverso a la distancia ponderada</i>	28
2.5.2	Validación cruzada	29

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	30
3.1	Metodología de la investigación	30
3.2	Tipo de investigación	30
3.3	Equipos e instrumentos utilizados	30
3.4	Técnicas para la recopilación de datos	31
3.4.1	<i>Técnica de investigación documental</i>	31
3.4.2	<i>Técnicas de campo</i>	31
3.4.2.1	<i>Diseño de muestreo</i>	31
3.4.2.2	<i>Identificación de las muestras</i>	33
3.5	Técnicas de análisis de muestras	34
3.5.1	Granulometría	34
3.5.1.1	<i>Método del tamizado</i>	34
3.5.2	<i>Límite líquido</i>	36
3.5.3	<i>Límite plástico</i>	37
3.5.4	<i>Contenido de humedad</i>	38
3.5.5	<i>Densidad aparente</i>	40
3.5.6	<i>pH</i>	44
3.5.7	<i>Conductividad Eléctrica</i>	44
3.6	Técnicas de gabinete	45
3.6.1	<i>Análisis estadístico</i>	45
3.6.2	<i>Mapas temáticos</i>	46

3.6.3	<i>Variograma para el Kriging ordinario</i>	46
3.6.4	<i>Validación cruzada</i>	47

CAPITULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	48
4.1	Resultados del muestreo del suelo	48
4.2	Resultados de los parámetros físicos - mecánicos y químicos del suelo	49
4.2.1	<i>Clasificación SUCS del suelo</i>	51
4.3	Estadística descriptiva	52
4.3.1	<i>Análisis estadístico del contenido de humedad</i>	52
4.3.2	<i>Análisis estadístico del límite líquido</i>	53
4.3.3	<i>Análisis estadístico del límite plástico</i>	54
4.3.4	<i>Análisis estadístico de la densidad aparente</i>	55
4.3.5	<i>Análisis estadístico de la grava, arena y finos</i>	56
4.3.6	<i>Análisis estadístico del pH</i>	56
4.3.7	<i>Análisis estadístico de la conductividad eléctrica (CE)</i>	58
4.4	Métodos de interpolación y análisis de distribución espacial	59
4.4.1	<i>Kriging ordinario</i>	59
4.4.2	<i>Kriging ordinario con el uso de variograma</i>	60
4.4.3	<i>IDW</i>	60
4.4.4	<i>Validación Cruzada</i>	60
4.4.4.1	<i>Rango de errores en los métodos de interpolación usados</i>	61
4.4.5	<i>Interpolación del contenido de humedad mediante Kriging Ordinario</i>	62
4.4.6	<i>Interpolación del límite líquido mediante IDW</i>	63
4.4.7	<i>Interpolación del límite plástico mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma</i>	64
4.4.8	<i>Interpolación de la densidad aparente mediante Kriging Ordinario</i>	65
4.4.9	<i>Interpolación de la grava mediante Kriging Ordinario</i>	66
4.4.10	<i>Interpolación de la arena mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma</i>	67

4.4.11 <i>Interpolación de finos mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma</i>	68
4.4.12 <i>Interpolación del pH mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma</i>	69
4.4.13 <i>Interpolación de la conductividad eléctrica mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma</i>	71
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Coordenadas del área de estudio	5
Tabla 2-1: Indicadores físicos y químicos de la calidad del suelo	12
Tabla 2-2: Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) partículas gruesas	13
Tabla 2-3: Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) partículas finas	14
Tabla 2-4: Clasificación del tamaño de grano en suelos.....	16
Tabla 2-5: Clasificación de la densidad aparente del suelo	18
Tabla 2-6: Rango de valorización del pH.....	20
Tabla 2-7: Clasificación de los suelos afectados por las sales	21
Tabla 3-1: Indicadores físicos, químicos de la calidad del suelo	34
Tabla 3-2: Numeración y abertura de tamices	35
Tabla 4-1: Puntos de muestreo	48
Tabla 4-2: Parámetros físicos: contenido de humedad, límite líquido, límite plástico y densidad aparente.	49
Tabla 4-3: Parámetros físicos: granulometría.....	50
Tabla 4-4: Valores del pH y conductividad eléctrica	51
Tabla 4-5: Clasificación SUCS del suelo	52
Tabla 4-6: Resultados del pH del suelo del área de estudio.....	57
Tabla 4-7: Resultados de la conductividad eléctrica del suelo del área de estudio	59
Tabla 4-8: Datos del variograma empleados en el kriging ordinario	60
Tabla 4-9: Datos obtenidos de la validación cruzada de los parámetros físico-mecánicos	61
Tabla 4-10: Datos obtenidos de la validación cruzada de los parámetros químicos	61
Tabla 4-11: Rango de errores en el Kriging Ordinario, IDW y Kriging Ordinario con Variograma de los parámetros físico-mecánicos y químicos	62

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Mapa de ubicación de la zona de estudio	5
Ilustración 1-2: Mapa geológico de la zona de estudio	6
Ilustración 2-1: Muestreo de suelo centrado en cuadrícula	9
Ilustración 2-2: Toma de submuestras en zig-zag.....	10
Ilustración 2-3: Muestreo de aleatorio simple.....	10
Ilustración 2-4: En tres unidades de tierra homogéneas, el muestreo de suelo aleatorio estratificado	11
Ilustración 2-5: Esquema de la Cuchara de Casagrande	17
Ilustración 3-1: Recorrido en forma de Cuadrícula.....	32
Ilustración 3-2: Cuarteo de la muestra	33
Ilustración 3-3: Tamizado de muestras	36
Ilustración 3-4: Fracción de muestra de la malla #40	36
Ilustración 3-5: Gráfico del límite líquido	37
Ilustración 3-6: Cilindros de 3mm de diámetro	38
Ilustración 3-7: Medición del peso húmedo.....	39
Ilustración 3-8: Medición del peso húmedo.....	40
Ilustración 3-9: Eliminación de burbujas dentro del picnómetro	41
Ilustración 3-10: Inmersión de este en un baño de agua a 23 ± 2 °C	41
Ilustración 3-11: Medición de la masa del picnómetro con agua y muestra.....	42
Ilustración 3-12: Muestra del picnómetro en el horno a 100 ± 5 °C	42
Ilustración 3-13: Medición de la masa del picnómetro con agua destilada	43
Ilustración 3-14: Reposo de la masa seca a temperatura ambiente	43
Ilustración 3-15: Medición de pH.....	44
Ilustración 3-16: Medición de la conductividad eléctrica	45
Ilustración 3-17: Diseño metodológico del análisis estadístico-histograma.....	45
Ilustración 3-18: Diseño metodológico de los mapas temáticos	46
Ilustración 3-19: Diseño metodológico del variograma-Kriging ordinario	46
Ilustración 3-20: Variograma del límite líquido	47
Ilustración 3-21: Diseño metodológico de la validación cruzada.....	47
Ilustración 4-1: Histograma del contenido de humedad.....	53
Ilustración 4-2: Histograma de límite líquido	54
Ilustración 4-3: Histograma del límite plástico.....	54
Ilustración 4-4: Histograma de la densidad aparente	55

Ilustración 4-5: Histograma de la grava, arena y finos	56
Ilustración 4-6: Histograma del pH	57
Ilustración 4-7: Histograma de la conductividad eléctrica	58
Ilustración 4-8: Mapa de interpolación del contenido de humedad mediante el uso del Kriging Ordinario	63
Ilustración 4-9: Mapa de interpolación del límite líquido mediante el uso IDW	64
Ilustración 4-10: Mapa de interpolación del límite plástico mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma.....	65
Ilustración 4-11: Mapa de interpolación de la densidad aparente mediante Kriging Ordinario	66
Ilustración 4-12: Mapa de interpolación de la grava mediante Kriging Ordinario	67
Ilustración 4-13: Mapa de interpolación del porcentaje de arena mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma	68
Ilustración 4-14: Mapa de interpolación del porcentaje de finos mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma	69
Ilustración 4-15: Mapa de interpolación del pH mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma.....	70
Ilustración 4-16: Mapa de interpolación de la conductividad eléctrica mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma.....	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: USO DEL GPS PARA LA UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

ANEXO B: ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO C: ENSAYOS DE LABORATORIO – DENSIDAD DEL AGREGADO.

ANEXO D: MAPAS DE INTERPOLACIÓN CON IDW, KRIGING, VARIOGRAMA Y VALIDACIÓN CRUZADA

RESUMEN

La presente investigación aborda sobre los parámetros químicos y físico-mecánicos del suelo del lugar de estudio, debido a que en la actualidad existe pocas investigaciones sobre este tema. El objetivo principal fue analizar la distribución espacial de estos parámetros para facilitar decisiones informadas en el uso y aprovechamiento del suelo. Para lograr esto, se llevó a cabo una revisión bibliográfica detallada para identificar los métodos y ecuaciones más apropiados para estudiar la distribución espacial del suelo. Posteriormente, se implementaron técnicas de campo avanzadas. Estas incluyeron el diseño de un muestreo estructurado basado en una red de cuadrículas y la recolección de muestras in situ. Cada muestra fue cuidadosamente etiquetada y analizada. Los ensayos de laboratorio realizados a estas muestras permitieron determinar los valores específicos de los parámetros del suelo en estudio. La metodología empleada condujo a la determinación de 20 puntos de muestreo estratégicos. El análisis estadístico de los datos recopilados reveló que, mientras el contenido de humedad seguía una distribución normal, los otros parámetros presentaban patrones de distribución más complejos y menos definidos. Se elaboraron mapas de distribución espacial utilizando tres técnicas distintas: Kriging, Inversión de la Distancia Ponderada (IDW) y Kriging con variograma. Una fase crítica del estudio fue la validación cruzada de estos métodos para identificar aquel con el menor índice de error. Los resultados indicaron que el método de Kriging Ordinario fue el más adecuado para mapear variables como el contenido de humedad, la densidad y el contenido de grava. El Kriging con variograma mostró mejores resultados para parámetros como el límite plástico, arena, finos, pH y conductividad eléctrica, mientras que el IDW se destacó en el mapeo del límite líquido. Este estudio aporta información valiosa para la comprensión y gestión efectiva del suelo en la zona de estudio.

Palabras clave: <PARÁMETROS QUÍMICOS Y FÍSICO-MECÁNICOS DEL SUELO>, <ESQUEMA DE CUADRÍCULA>, <INTERPOLACIÓN>, <DISTRIBUCIÓN ESPACIAL>, <VALIDACIÓN CRUZADA >.

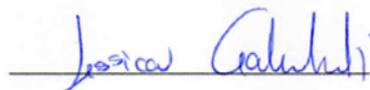
0007-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

This research deals with chemical, physical-mechanical parameters of the soil at the study area, as there is currently little research on the topic. The main objective was to analyze the spatial distribution of the parameters to facilitate informed decisions on the use and exploitation of the soil. To achieve this, a detailed literature review was conducted to identify the most appropriate methods and equations to study the spatial distribution of soil. Subsequently, advanced field techniques were implemented. They included a structured sampling design based on a grid network and the collection of samples on site. Each sample was carefully labeled and analyzed. Laboratory tests performed on the samples allowed to determine specific values of the soil parameters considered. The applied methodology determined 20 strategic sampling points. Statistical analysis of data collected revealed that, moisture content followed a normal distribution so as other parameters presented more complex and less defined distribution patterns. Spatial distribution maps were produced using three different techniques: Kriging, Weighted Distance Inversion (WDI) and Kriging with variogram. A critical stage of the research referred to a cross-validation of the methods to determine which is the one with the lowest error rate. The results demonstrate that the Ordinary Kriging method was the most suitable for mapping variables such as moisture content, density, and gravel content. Kriging with variogram showed better results for parameters such as plastic boundary, sand, fines, pH and electrical conductivity, instead IDW excelled in mapping the liquid boundary. This study provided valuable information of understanding and effective soil management in the study area.

Keywords: < CHEMICAL, PHYSICAL-MECHANICAL PARAMETERS OF THE SOIL >, < GRID SCHEME >, < INTERPOLATION >, < SPATIAL DISTRIBUTION >, < CROSS-VALIDATION >.



Lic. Jessica Galimberti Mg.

CI. 175646848-2

INTRODUCCIÓN

Aplicar la prospección permite lograr un conocimiento general del área de interés geológico, basándose en técnicas de muestreo que determinan los parámetros químicos, físico-mecánicos del suelo. Estos reflejan las condiciones puntuales al momento de la recolección y son evaluados posteriormente en laboratorio, permitiendo resultados e interpretaciones que independientemente del método empleado, respaldan decisiones que pueden ser de índole productiva, ambiental o de referencia inicial (Mendoza y Espinoza, 2017: pág. 11).

Por ende, dentro de este ámbito se encuentran los sondeos manuales, definiéndose como técnicas de prospección geotécnica empleados para la obtención de las muestras de los distintos horizontes del suelo y realizar ensayos de laboratorio, facilitando el reconocimiento y análisis directo del agregado. Una opción para el desarrollo del estudio es mediante los barrenos que se accionan manualmente, herramientas utilizadas para extraer muestras rápidamente a una profundidad determinada, simplificando el trabajo especialmente cuando se extraen múltiples muestras compuestas (Boggs et al., 2017).

De igual forma, el suelo al ser un medio complejo presenta diversas propiedades, tanto químicas como físico-mecánicas, que brindan información sobre el estado del agregado. El indicador químico hace referencia a las condiciones que afectan la relación existente entre suelo-planta, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de nutrientes (Gutiérrez et al., 2017 pág. 452).

De acuerdo con la práctica de la ingeniería, los índices de propiedades físicas-mecánicas del suelo se obtienen directamente mediante ensayos geotécnicos in situ y/o análisis posteriores (Wu et al., 2022 pág. 1). A menudo, para evitar que el suelo esté sujeto a degradación y con ello, a la pérdida de las funciones ecosistémicas más importantes y la capacidad de producción (Maycotte, 2011, pág. 44). Por tanto, esto tiende a la identificación de suelos con características específicas tales como elasticidad, plasticidad, contenido de humedad, densidad aparente y granulometría, denominadas propiedades físicas.

Por consiguiente, el análisis del agregado por un lado proporciona datos precisos sobre los parámetros mencionados, sin embargo, es limitado para la interpretación, por ello, en la actualidad, para abordar este análisis se emplea una técnica que implica la distribución espacial aplicada mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG). Este enfoque se fundamenta en métodos apropiados que involucran la medición de cantidades aleatorias de puntos distribuidos en diversas localizaciones del área en cuestión (Giraldo, 2021, pág. 8).

En resumen de lo expuesto, a partir de los datos recopilados durante la fase de exploración y reconocimiento geotécnico, es necesario llevar a cabo un análisis de las pruebas de laboratorio. Esto permitirá representar las categorizaciones del suelo y, al mismo tiempo, crear mapas que interpreten la distribución espacial de dichos resultados.

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planeamiento y definición del problema

La disponibilidad de datos sobre las características elásticas, plásticas, granulométricas, densidad aparente, humedad, pH y conductividad eléctrica del suelo en la región bajo investigación presenta una marcada insuficiencia. Estas propiedades revisten un carácter esencial para el cabal entendimiento y la apta gestión de los comportamientos y las interacciones del suelo en diversas circunstancias, abarcando campos como la agricultura, la ingeniería civil, la administración medioambiental y la ordenación territorial. La envergadura geográfica de la zona de estudio, conjugada con los costos inherentes a los análisis necesarios para la cuantificación de estas propiedades, conduce a una restricción significativa en cuanto a la cantidad de muestras disponibles, exacerbando así la carestía informativa. En tal contexto, se torna imperativo emplear enfoques de naturaleza geoestadística con el propósito de discernir la distribución espacial de estos parámetros, cuyo conocimiento deviene crucial para respaldar una línea base adecuada y sostenible en términos de uso del suelo.

1.2 Antecedentes

La sede Morona Santiago de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) está actualmente involucrada en un proyecto de investigación titulado "Caracterización y Gestión de los Sistemas Biofísicos de las Comunidades Warints y Yawi para la Generación de Cadenas Productivas Resilientes para el Desarrollo Sostenible". Dentro de los objetivos de este proyecto, se encuentra el análisis del potencial de los recursos y procesos geológico-mineros proyectado al desarrollo sostenible. Sin embargo, debido a la ausencia del permiso para ingresar a la zona, el estudio se trasladó a la comunidad de Piamonte. Es así que, este enfoque ha dado lugar a diversas áreas de investigación que se han traducido en proyectos de integración curricular. Como resultado de esta evolución investigativa, se ha formulado el presente tema de estudio enfocado a las propiedades del suelo.

1.3 Justificación

Debido a la ausencia de investigaciones previas sobre las propiedades químicas y físico-mecánicas del suelo en la comunidad de Piamonte, resulta imperativo aplicar métodos de distribución espacial. Esta aproximación busca por primera vez establecer una línea base que permita comprender en detalle los parámetros del suelo en diversas zonas, los cuales son esenciales para la sustentabilidad de la comunidad como actividades agrícolas, ganadería, obras civiles, entre otros.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar la distribución espacial de los parámetros químicos, físico-mecánicos del suelo aplicando técnicas de interpolación en el área de estudio.

1.4.2 Objetivos específicos

- Establecer una línea base sobre los parámetros químicos y físico-mecánicos en el área de estudio.
- Describir los resultados químicos y físico-mecánicos obtenidos en laboratorio y comparados utilizando un software estadístico.
- Elaborar mapas temáticos que permitan estimar la distribución de los parámetros del suelo.

1.5 Generalidades

1.5.1 Ubicación

El área de estudio consta de 882 hectáreas y se encuentra ubicada en la provincia de Morona Santiago, cantón San Juan Bosco, parroquia Pan de Azúcar, en la comunidad de Piamonte, las coordenadas de ubicación se especifican en la tabla 1-1:

Tabla 1-1: Coordenadas del área de estudio

COORDENADA DEL ÁREA DE ESTUDIO		
Punto	DATUM WGS 84 ZONA 17M	
	Este	Norte
P1	778223.34	9666044.42
P2	777773.43	9661953.69
P3	775555.34	9662180.68
P4	776127.41	9666155.81

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

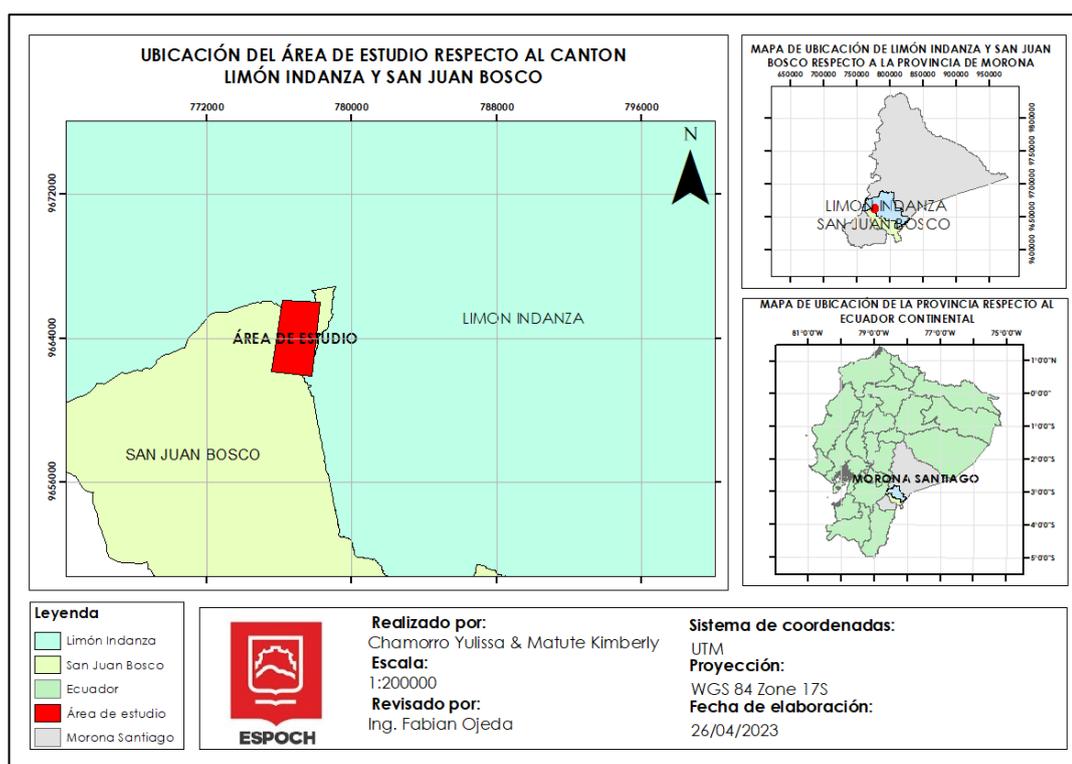


Ilustración 1-1: Mapa de ubicación de la zona de estudio

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023

1.5.2 Accesibilidad

El acceso a la comunidad de Piamonte inicia por la Troncal Amazónica Red Vial E45A antes de llegar a la parroquia Pan de Azúcar, ya que, se desvía a una red vial de segundo orden, donde se tarda aproximadamente 30 minutos en automóvil y más de media hora caminando hasta la comunidad (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012, pág. 2).

1.5.3 Clima

La zona de estudio presenta como referencia a la parroquia Pan de Azúcar, estimando un rango altitudinal que varía entre los 760 a 1400 msnm respectivamente según las curvas de nivel obtenidas mediante el dron Phantom 4 Pro V2.0. Sin embargo, estas condiciones configuran una agrupación en Piamonte que corresponde a zonas con climas tropicales y cálidos húmedos (Máximo et al., 2015).

El régimen hídrico que predomina el área de estudio anuncia que las precipitaciones medias anuales son de 1045 mm, presentado una humedad del 84%. A la vez, el régimen térmico da mención al comportamiento de la temperatura, encontrándonos en Piamonte con temperaturas de 18 a 24 °C (Cuandovisitar, 2023).

1.6 Marco geológico

1.6.1 Geología regional

El área de estudio se emplaza en cuatro formaciones geológicas: Unidad Upano (Salado), Unidad Pucarón, Unidad La Saquea y la Formación Napo. Estas son detalladas a continuación.

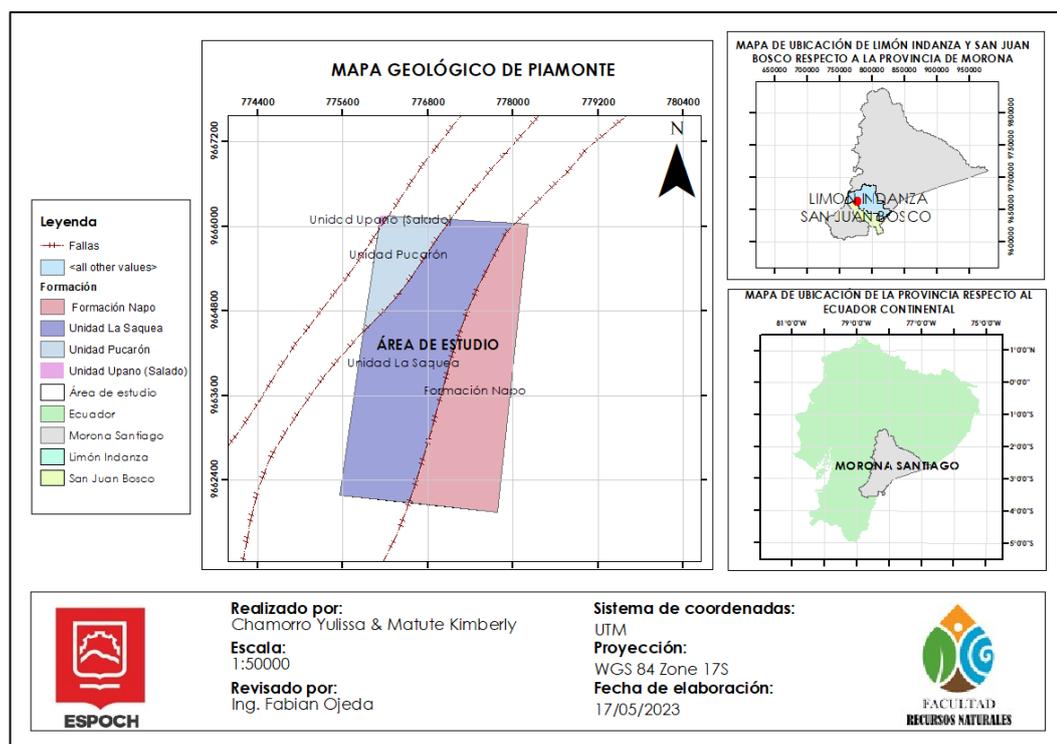


Ilustración 1-2: Mapa geológico de la zona de estudio

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023

1.6.1.1 Unidad Upano (Salado)

Esta unidad pertenece a la División Salado e incluye esquistos verdes, meta-andesitas y esquistos grafitosos esquistos cloríticos y metagreywackes intercalados con esquistos pelíticos, estas formán un cinturón prácticamente continuo de aproximadamente 15 km a lo largo del borde oriental de la cordillera Real. Tiene un grado metamórfico de medio a bajo (Calero et al., 2021 pág. 4).

1.6.1.2 Unidad Pucarón

La Unidad Pucarón contiene filitas, esquistos sericíticos y meta-areniscas. Los esquistos están formados por porfiroblastos de cordierita y granate con inclusiones aladas. Bajo grado metamórfico con capas de filitas y meta-areniscas (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2017).

1.6.1.3 Unidad La Saquea

Es una subdivisión de la Formación Misahualí y contiene andesitas, andesitas basálticas, y brechas volcánicas con una composición de intermedia a básica, las mismas son cloritizadas o silicificadas. Las andesitas contienen sulfuros diseminados con vesículas rellenas de carbonato. Su mineralogía incluye plagioclasas, anfíboles y piroxenos (Mosquera, 2020, pág. 9).

1.6.1.4 Formación Napo

Según (Baby et al., 1997 pág. 9) la formación Napo se subdivide en Napo Basal, Napo Inferior, Napo Medio y Napo Superior. La primera se conforma de areniscas basales, glaucinílicas intercaladas con limolitas y calizas delgadas. Napo Inferior comprende calizas margosas de medio anóxido anternadas con lutitas negras, frecuentemente se dividen en dos o tres miembros por niveles lutáceos, localmente con calizas. Napo Medio se compone de calizas con margas y calizas claras, en su base a menudo se desarrollan depósitos arenosos, conocidos como areniscas. Finalmente, Napo Superior comprende secuencias de lutitas con bancos calcáreos intercalados, calizas y lutitas oscuras.

1.6.2 Geología local

Toda la extensión del área se encuentra mayormente revestida por andesitas, andesitas basálticas y brechas volcánicas de la unidad La Saquea, datada del Jurásico. Además, dichas andesitas presentan sulfuros diseminados con vesículas rellenas de carbonato. Con una mineralogía que se caracteriza por plagioclasas, anfíboles y piroxenos (Romeuf et al., 1995; citados en Mosquera, 2020).

En el sector bajo, la litología dominante es representada por la formación Napo constituida por areniscas, calizas y lutitas, particularmente calizas grises fosilíferas, lutitas negras, grises, verdes y areniscas, con su génesis en un ambiente de depositación transgresivo marino (Litherland et al., 1994 pág. 48).

En la dirección noroeste del área bajo estudio, se puede notar la existencia de formaciones de rocas sedimentarias que han experimentado deformaciones significativas. Estas formaciones se componen en su mayoría de filitas grafitosas, esquistos grises con presencia de sericita, así como también de meta-areniscas. Además, se observa la presencia de rocas andesíticas de color verde que han sido sometidas a metamorfismo, junto con esquistos verdes y metagrauvascas que están intercalados con esquistos pelíticos y grafiticos (Litherland et al., 1994; citados en Ortiz, 2020).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Esquemas para el muestreo de suelos

Según la forma y dimensión del campo a estudiar, es posible reconocer patrones de muestreo apropiados y estos se describe en los numerales a continuación.

2.1.1 *Muestreo en cuadrícula*

Según (Mylavarap y Lee, 2020) consiste en generar una cuadrícula similar a un tablero de ajedrez utilizando la herramienta especial de ArcGIS y sobreponerla en el mapa del terreno diseñado. La estrategia de cuadrícula resulta más eficaz en situaciones donde se cuenta con amplias áreas de terreno disponibles. Es posible identificar al menos tres enfoques prácticos para la recolección de muestras dentro de una cuadrícula. Uno de estos métodos implica desplazarse hacia el centro de la cuadrícula con una unidad GPS y tomar la muestra (Ilustración 2-1). Debido a su simplicidad, este enfoque centralizado en la cuadrícula puede ser llevado a cabo de manera coherente en cualquier campo.

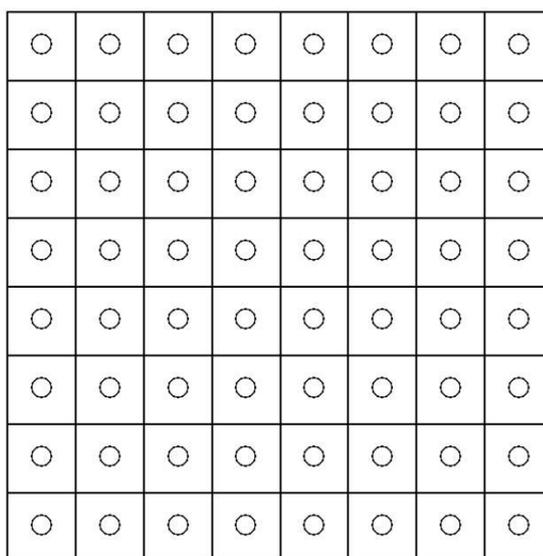


Ilustración 2-1: Muestreo de suelo centrado en cuadrícula

Fuente: Mylavarap y Lee, 2020.

2.1.4 Muestreo aleatorio estratificado

Implica subdividir las parcelas a muestrear en capas o estratos, recolectando muestras en cada una y luego combinándolas. Este método de muestreo se lleva a cabo en terrenos inclinados e incluso en áreas con pendientes (Ilustración 2-4). Los estratos representan zonas homogéneas dentro del complejo rango de variabilidad del suelo, definido por su desarrollo y la topografía (Mendoza y Espinoza, 2017 pág. 20).

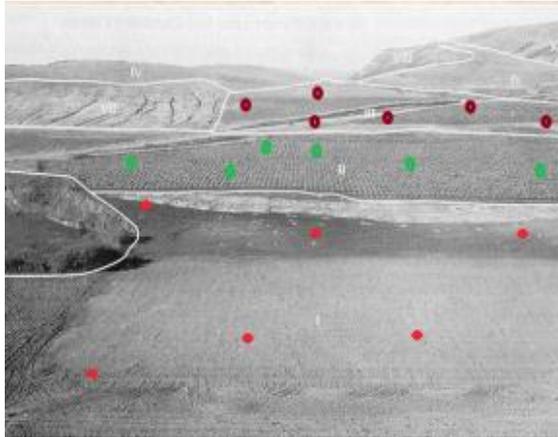


Ilustración 2-4: En tres unidades de tierra homogéneas, el muestreo de suelo aleatorio estratificado

Fuente: Mendoza y Espinoza, 2017 pág. 20.

Una vez analizado los diferentes patrones de muestreo, el diseño de la grilla que se lleva a cabo es de tipo cuadrícula debido a la extensión del terreno y según (Minolfi et al., 2018; citados en Hosseini-Dinani et al., 2019) quienes plantean la realización de una malla para la toma de 594 en un área de 220km², lo que corresponde a 1 muestra por cada 0.37km². Permitiendo que la estructura sistemática de los puntos de muestreo en la cuadrícula simplifique la organización y planificación del proceso de recolección de datos, contribuyendo a la optimización de dicho proceso.

2.2 Suelos

El suelo se define como una mezcla de partículas sólidas de minerales y materia orgánica descompuesta, junto con líquido y gas que ocupan los espacios entre las partículas. Se utiliza como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil para proporcionar soporte a las cimentaciones de las estructuras (Barajas, 2001, pág. 2).

Se forma a través del proceso de intemperismo, que implica la descomposición y fragmentación de diferentes tipos de rocas en fragmentos más pequeños mediante procesos mecánicos y químicos. Algunos suelos permanecen en el lugar donde se forman, cubriendo la superficie rocosa original, y se conocen como suelos residuales. Otros, productos del intemperismo son transportados por procesos físicos a diferentes áreas y se depositan allí, denominándose suelos transportados (Barajas, 2001, pág. 2).

2.2.1 *Parámetros o indicadores del suelo*

Al considerar que el suelo es un espacio donde están presentes múltiples factores y resulta no factible que un solo indicador proporcione información cabal, es importante y necesario apoyarse en indicadores tanto físicos-mecánicos, químicos (tabla 2-1), productivos y sociales para definir la calidad y estado del suelo, como se observa en la tabla 2-1 (Doran et al., 1994; Ramírez, 2004 citados en García et al., 2012).

De igual forma, estos indicadores se caracterizan por ser una herramienta con el fin de dar seguimiento a los efectos que provoca el manejo sobre el funcionamiento del suelo en un tiempo dado (Astier et al., 2002 pág.128), permitiendo facilitar, ponderar y notificar fenómenos complejos, además de ser usados en varias áreas del conocimiento.

Tabla 2-1: Indicadores físicos y químicos de la calidad del suelo

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo
Físico	
Infiltración y densidad aparente.	Potencial de lixiviación, productividad y erosión.
Capacidad de retención de agua.	Relacionado con el contenido de humedad, transporte y erosión.
Químico	
pH	Actividad química y biológica, límites para el crecimiento de las plantas y actividad microbiana.
Conductividad eléctrica	Actividad microbiológica y de las plantas, límites para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiológica.

Fuente: Acevedo et al., 2005; citados en García et al., 2012.

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023

2.2.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

De acuerdo con (Barajas 2001) el sistema original de clasificación del suelo fue propuesto por Casagrande en 1942 en colaboración con la Oficina de Restauración de Estados Unidos, siendo revisado en 1952. El Sistema Unificado de Clasificación divide los suelos en dos categorías principales. (pág. 39)

- Suelos de grano grueso como se observa en la tabla 2-2, se caracterizan por ser predominantemente gravosos o arenosos, con menos del 50% pasando a través de la malla No. 200. Estos suelos se identifican con símbolos de grupo que comienzan con el prefijo "GaS". La "G" representa la grava o suelo gravoso, mientras que la "S" representa la arena o suelo arenoso.
- Suelos de grano fino, según la tabla 2-3, presentan un 50% o más pasando a través de la malla No. 200. Estos suelos se designan con símbolos de grupo que inician con el prefijo "M", que denota limo inorgánico, "C" para arcilla inorgánica, y "O" para limos y arcillas orgánicos. El símbolo "Pt" se utiliza para suelos altamente orgánicos, como turbas, lodos y otros materiales ricos en material orgánico.

Tabla 2-2: Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) partículas gruesas

DIVISIÓN MAYOR			SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS			
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS (Más de la mitad del material es retenido por la malla 200)	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	PARA LA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPIAS	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.		
			Poco o nada de partículas finas	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		
			GRAVA CON FINOS	GM	d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	
			Cantidad apreciable de partículas finas	GC	u		
					Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		

	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
			SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
		ARENA CON FINOS Con cantidad apreciable de partículas finas	SM	d	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	
				u		
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		

Fuente: Barajas, 2001, pág. 40.

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023

Tabla 2-3: Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) partículas finas

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS
SUELO DE PARTÍCULAS FINAS (Más de la mitad del material pasa por la malla 200)	LIMOS Y ARCILLAS	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
	Límite Líquido Menor de 50	CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.
		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		

Fuente: Barajas, 2001, pág. 40.

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023

2.2.3 Parámetros físicos – mecánicos

Las propiedades físicas de un suelo, tales como el límite líquido, límite plástico, contenido de humedad, densidad aparente y granulometría permiten identificarlo y clasificarlo dentro de una amplia gama de posibilidades que existen en la naturaleza. Estas propiedades dependen además de la posición geográfica del suelo, la profundidad y espesor del estrato. Sin embargo, la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de la roca, independiente que tengan o no materia orgánica (Camargo y Durán, 2018 págs. 24-25).

2.2.3.1 Análisis granulométrico

La granulometría es el porcentaje de la composición del suelo en diferentes tamaños correspondientes a los agregados en una muestra. Por lo general, los valores se suelen indicar de mayor a menor tamaño en donde se representa el número de malla, su separación (micrones), peso retenido en unidad de masa, peso retenido (%), peso retenido acumulado (%) y peso del pasante acumulado (%) (Toirac, 2012, pág. 297).

Para determinar la proporción de cada material presente en un suelo, se realiza un análisis granulométrico que emplea dos métodos distintos. Para partículas de tamaño superior a 0.075 mm, se lleva a cabo el análisis utilizando el proceso de vía seca, mientras que, para partículas de tamaño igual o inferior a 0.075 mm, se utiliza la técnica de granulometría por sedimentación mediante un hidrómetro (González de Vallejo et al., 2002 pág. 22).

En el primer caso se procede con la obtención de una muestra representativa del suelo, que luego es sometida a un proceso de secado y desintegración en condiciones secas. Esta muestra es sometida a través de un conjunto de tamices que se agitan para separar las partículas según sus tamaños. Posteriormente, se mide la cantidad retenida en cada tamiz. Al conocer el peso inicial de la muestra, es posible determinar el porcentaje de material que atraviesa un tamiz de diámetro específico (González de Vallejo et al., 2002: pág. 22).

Por otro lado, para las partículas de tamaño igual o menor a 0.075 mm, se utiliza el método de sedimentación por medio de un hidrómetro. Este proceso implica medir la velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión en un líquido y utilizar esta información para calcular el tamaño de las partículas (González de Vallejo et al., 2002, pág. 22).

Según (González de Vallejo et al. 2002), las gravas exhiben dimensiones que oscilan entre 8 y 10 cm, lo que las clasifica como gránulos de envergadura perceptible a simple vista. Debido a los considerables espacios interparticulares en su estructura, no retienen el agua. (pág. 21)

Las arenas, por su parte, se componen de partículas con un rango que abarca desde 2 mm hasta 0.06 mm, lo que las hace discernibles sin dificultad a simple vista. Al entrar en contacto con el agua, estas partículas no se amalgaman de forma continua, sino que tienden a separarse con facilidad (González de Vallejo et al., 2002: pág. 22).

En contraste, los limos albergan partículas que se sitúan en un intervalo de 0.060 mm a 0.002 mm. En comparación con las partículas de mayor tamaño, los limos presentan una mejor capacidad para retener el agua. Al crear una mezcla entre agua y limo y colocarla en la palma de la mano e impactar sobre la misma superficie, se puede apreciar cómo el agua se libera con relativa sencillez (González de Vallejo et al., 2002 pág. 22).

Por último, las arcillas están compuestas por partículas que se sitúan por debajo del tamaño de 0.002 mm, adquiriendo características propias de partículas de tamaño gel. Su formación requiere transformaciones químicas específicas para alcanzar estos tamaños diminutos. Las arcillas se destacan por su alta capacidad de retención de agua, debido a las propiedades inherentes a su estructura (González de Vallejo et al., 2002 pág. 22).

Tabla 2-4: Clasificación del tamaño de grano en suelos

Descripción	Tamaño de grano	Equivalencia con los tipos de suelo
Grano grueso	> 2 mm	Gravas
Grano medio	0.06-2 mm	Arenas
Grano fino	< 0.06 mm	Limos y Arcillas

Fuente: González de Vallejo et al., 2002 pág. 244.

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

2.2.3.2 Límite líquido

El límite líquido corresponde a la frontera convencional existente entre dos estados, el semilíquido y plástico, siendo de suma importancia para determinar el índice de plasticidad que por medio de su clasificación se puede definir la manipulación del suelo según su contenido de humedad utilizando la cuchara de Casa Grande (Arbito, 2019, pág. 24).

Este equipo fue desarrollado por Arthur Casagrande en el año 1932 como se visualiza en la ilustración 2-5, que cuenta con la copa de bronce, una base dura en donde se deja caer dicha copa, un mecanismo excéntrico que permite levantar la copa y dejarla caer según las normas ASTM D4318-00 (Arbito, 2019, pág. 24).

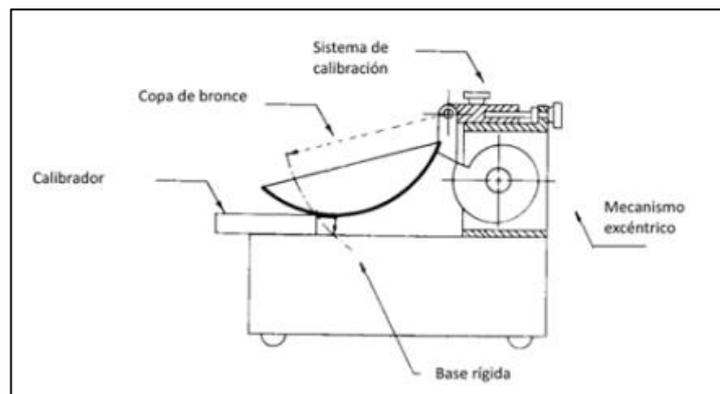


Ilustración 2-5: Esquema de la Cuchara de Casagrande

Fuente: Arbito, 2019, pág. 24.

2.2.3.3 Límite Plástico

El límite de plasticidad es el contenido de humedad fronterizo convencional, entre el estado plástico y semi sólido del suelo. Este ensayo está normado en la ASTM como en la norma británica. El procedimiento de Atterberg consiste en enrollar a presión manual y ritmo constante una pequeña cantidad de muestra para lograr un cilindro hasta cierto diámetro, el fisuramiento del rollo señalaba que se había llegado al límite plástico, no obstante, el contenido de agua en tal tiempo era la frontera requerida (Juárez y Rico, 2005 pág. 128).

2.2.3.4 Contenido de humedad

Según (Flores y Alcalá 2010) se entiende por humedad a la cantidad de agua presente en el suelo que generalmente depende de las características, condiciones del clima, vegetación y profundidad del agregado, además, representa una propiedad física que incide en la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, succión total de agua y color del suelo. (pág.5)

El contenido de humedad es un guía complementario e ineludible para diferentes análisis pedológicos; este concepto ha sido definido secularmente como la proporción de la masa de humedad con respecto a la masa de la muestra de suelo una vez que ha sido secada a un peso constante, o también se define como el volumen de humedad presente respecto al volumen total de la muestra de suelo. Adicionalmente, para desarrollar dichos cálculos del contenido de humedad con base en el volumen es útil una medida correcta de la densidad aparente del agregado (Lidueñas y Moreno, 2019 pág. 30).

2.2.3.5 Densidad aparente

El valor de la densidad aparente varía dependiendo el tipo de minerales que contenga el material madre y de la cantidad de materia orgánica. Esto se debe a que el peso de la materia orgánica es menor al de los sólidos minerales. Dicho esto, el suelo superficial presenta una densidad aparente menor que la del subsuelo. La densidad del suelo es similar debido a los minerales que lo conforman, siendo su valor de aproximadamente 2.65 g/cm^3 (Plaster, 2004; citados en Rubio, 2010).

No obstante, la densidad aparente según (Castillo 2005), se define como la relación que existe entre la masa del suelo seco y el volumen de este, tomando en cuenta los espacios porosos. La clasificación de la densidad aparente se observa la tabla 2-5: (pág. 13)

Tabla 2-5: Clasificación de la densidad aparente del suelo

Densidad aparente (g/cm^3)	Clasificación
<1.0	Muy baja
1.0-1.2	Baja
1.2-1.45	Media
1.45-1.60	Alta
>1.60	Muy alta

Fuente: Cairo, 1995; citado en Castillo, 2005.

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

2.2.4 Parámetros químicos

Corresponde a la composición y reacciones químicas del suelo. Se enfoca en resolver problemas que se relacionan con la dinámica de la fertilidad del suelo y de los nutrientes vegetales. La química se da por la interacción entre los diferentes componentes químicos, que ocurre entre las partículas del suelo y en la solución de este o por el agua retenida (Naranjo, 2017, pág. 19).

2.2.4.1 PH

La definición del pH, señala la concentración de iones de hidrógeno en una disolución, en otras palabras, muestra que tan ácida es la disolución en el entorno. Además, se expresa a menudo en términos de concentración de iones hidronio (Rivera et al., 2018 pág. 101).

Se desempeña como un indicador de la calidad, el funcionamiento y las consecuencias ambientales del suelo (Yarasca, 2015, pág. 25). Este parámetro define un factor esencial, debido que gran porcentaje de los metales tienden a estar más disponibles en medios ácidos excepto As, Mo, Se y Cr, favorables en medios alcalinos. Por tanto, es una variable dominante, dado que, predomina en diversas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Zhang et al., 2018 pág. 1).

Por otra parte, en términos de estudio del suelo, corresponde a uno de los parámetros más importantes que influyen directamente en la fertilidad. Indica si el suelo contiene niveles tóxicos o a su vez si es bajo en el contenido de elementos, como se observa en la tabla 2-6, permitiendo una vez realizado el análisis, diagnosticar problemas de nutrientes para un buen desarrollo de las plantas, que en un futuro serán reguladas con la adición de sustancias auxiliares (Rivera et al., 2018 pág. 101).

Tabla 2-6: Rango de valorización del pH

Rango	Valorización
0,0 a 5,0	Muy ácido
5,0 a 5,5	Ácido
5,5 a 6,0	Medianamente ácido
6,0 a 6,5	Ligeramente ácido
7	Neutro
6,5 a 7,5	Prácticamente neutro
7,5 a 8,0	Ligeramente alcalino
8,0 a 8,5	Medianamente alcalino
8,5	Alcalino

Fuente: Naranjo, 2017.

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

2.2.4.2 Conductividad eléctrica (CE)

Según (Soriano Soto 2018) la medida se basa en que la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina es proporcional a la concentración de sales en solución. (pág. 5) En otras palabras, es la capacidad de un material para transferir la corriente eléctrica y se expresa comúnmente en unidades de miliSiemens por metro (mS/m) (Grisso et al., 2005 pág. 1). Asimismo, como la conductividad varía con la temperatura, se suele utilizar como norma general la medida a 25°C. (Soriano, 2018, pág. 5)

La existencia de estas sales perturba la aptitud para el intercambio de iones, lo que conlleva a una insuficiencia en la fertilidad del suelo; es por esto que lo más aconsejable es poseer un suelo con una reducida cantidad de sales. El sistema de clasificación del C.E propuesto (PROSAP, 2016, pág. 2) se visualiza en la tabla 2-7.

No obstante, en el caso de los suelos, esta propiedad varía en relación con la cantidad de humedad retenida por las partículas de la muestra. Por ejemplo, las arenas tienen una conductividad baja, y los limos una conductividad media mientras que las arcillas poseen una conductividad alta. En consecuencia, la CE se correlaciona fuertemente con el tamaño y la textura de las partículas del suelo (Grisso et al., 2005 pág. 1).

Tabla 2-7: Clasificación de los suelos afectados por las sales

Condición de salinidad	CE ds/m
No salino	<0,75
Muy bajo en sales	0,75-1,15
Muy ligeramente salino	1,10-2,00
Ligeramente salino	2,01-4,00
Medianamente salino	4,01-8,00
Fuertemente salino	8,01-12,00
Muy fuertemente salino	12,01-16,00
Extremadamente salino	>16,00

Fuente: PROSAP, 2016, pág. 2.

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

2.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG son considerados como una herramienta principal para trabajar con información georreferenciada, que permite realizar operaciones como la lectura, edición, almacenamiento, gestión de datos, análisis de estos, generación de resultados como mapas, informes, gráficos, entre otros. Es decir, los SIG se considera como un elemento que permite el análisis, presentación e interpretación de hechos relativos a la superficie terrestre, son un conjunto de software y hardware diseñado para adquirir, mantener y usar datos cartográficos (Oyala, 2020, pág. 6).

2.3.1 Bases cartográficas y geodésicas

Toda información georreferenciada está localizada en el espacio terrestre por medio de coordenadas que se representan mediante un sistema. Al establecerlo permite localizar y representar de manera precisa la información a procesar (Oyala, 2020, pág. 33).

2.4 Estadística

La Estadística según (Ramos y Guerra, 2019: p.5) engloba un conjunto de técnicas que se emplean para la recolección, organización y análisis de datos. Estos datos forman la base para la toma de decisiones en situaciones de incertidumbre que se presentan en las ciencias sociales y naturales. Además, este campo recurre a la utilización de modelos matemáticos y herramientas informáticas para llevar a cabo dichas tareas (Romero y Zúnica, 2020 pág. 17).

2.4.1 *Histograma*

El histograma es una herramienta gráfica comúnmente utilizada para mostrar la distribución de un conjunto de datos. Se divide el rango de los datos en intervalos o contenedores y se registra cuántos valores caen en cada intervalo. Así, el histograma está compuesto por una serie de rectángulos cuyos anchos están determinados por los límites de clase implícitos en los intervalos y cuyas alturas representan el número de valores en cada intervalo (Wilks, 2011, pág. 34).

Se crea un histograma usando la información de una tabla estadística y representando cada intervalo con un rectángulo cuya base corresponde a ese segmento. La altura de cada rectángulo se calcula de manera proporcional a las frecuencias absolutas (o relativas) de cada intervalo y el área del rectángulo (Ramos y Guerra, 2019 pág. 24).

No obstante, el histograma es más efectivo y preciso cuando se utiliza con una muestra que tenga al menos 20 puntos de datos. Cuando la muestra es muy pequeña, es posible que las barras del histograma no contengan suficientes datos para representar adecuadamente la distribución de los datos. A medida que el tamaño de la muestra aumenta, el histograma se asemejará más a la forma de distribución de la población en general. Por lo tanto, si la muestra posee un número menor de 20 datos, se sugiere considerar el uso de una gráfica de valores individuales en su lugar (Minitab, 2023).

2.4.2 *Media*

La media aritmética es la medida de tendencia central más comúnmente utilizada y la más representativa en el análisis estadístico. Representa el promedio de un conjunto de datos de una muestra. Se calcula sumando todos los valores de los datos y dividiendo entre el número total de datos en la muestra. Si la variable de estudio se representa como X, la media aritmética se denota como \bar{x} . Por ejemplo, si se tiene una variable aleatoria X y se han tomado n medidas x_1, x_2, \dots, x_n , la media de esas n medidas se obtiene de la siguiente manera: (Posada, 2016, pág.74)

Ecuación 2-1: Media aritmética para valores no agrupados en intervalos

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Cuando existen pocos datos y no están agrupados en clases o intervalos, la media aritmética se calcularía de la siguiente forma: (Posada, 2016, pág.74)

Ecuación 2-2: Media aritmética para datos no agrupados

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Según (Posada, 2016, pág. 74) establece que:

\bar{x} : media aritmética de la muestra.

n: es el total de datos de la muestra.

x_i : es el dato de la variable.

$\sum_{i=1}^n x_i$: suma de todos los valores de la muestra.

Por otra parte, según (Posada 2016), cuando los datos se agrupan en una tabla de frecuencias sin construir intervalos, la media aritmética se calcula utilizando la siguiente fórmula: (pág.74)

Ecuación 2-3: Media aritmética para datos agrupados

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i n_i}{n}$$

Donde:

n_i : Es la frecuencia absoluta por cada valor de variable.

En la media aritmética con datos agrupados, (Monroy, 2008, pág. 102) plantea que se usa cuando los datos se representan en forma de distribución de clases y frecuencias, todos los valores se encuentran dentro de intervalos de clase específicos. En estos casos, es necesario considerar el promedio de cada intervalo, y para ello se utiliza la "marca de clase" o punto medio de cada intervalo, que se puede representar con la letra "y" (gamma).

$$\bar{x} = \frac{f_1 \gamma_1 + f_2 \gamma_2 + \dots + f_n \gamma_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \gamma_i}{\sum_{i=1}^n f_i} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \gamma_i}{n}$$

2.4.3 Mediana

La mediana es el valor de la variable que se encuentra en el centro de la distribución una vez que todos los valores observados se ordenan de menor a mayor. Esto implica que existe el mismo número de datos a su derecha y a su izquierda. La mediana cumple con esta condición y, al igual que la moda, no se define mediante una fórmula matemática. De igual forma, se representará

mediante el símbolo Me. Además, por ser un valor de la variable viene expresada en la misma unidad de medida que ésta. Téngase en cuenta que, salvo en el caso de distribución simétrica, la mediana no coincidirá con el punto medio del recorrido de la variable (Gamero, 2017, pág. 64).

Se puede identificar el intervalo mediano, que es aquel en el que la frecuencia acumulada alcanza o supera por primera vez $N/2$. Si se asume que los valores de la variable se distribuyen uniformemente dentro de ese intervalo, se puede obtener una aproximación del valor de la mediana mediante la siguiente fórmula (Gamero, 2017, pág. 66).

Ecuación 2-4: Mediana de datos agrupados

$$M_e = L_{i-1} + \frac{\frac{N}{2} - N_{i-1}}{n_i} \times a_i$$

Donde

L_{i-1} es el límite inferior del intervalo mediano.

a_i y n_i representan la amplitud y frecuencia absoluta de dicho intervalo.

N_{i-1} indica la frecuencia absoluta acumulada del intervalo inmediatamente anterior al mediano.

2.4.4 Moda

La moda de una distribución es el valor que ocurre con mayor frecuencia. Es decir, es el valor más comúnmente observado. Es importante tener en cuenta que esta definición no puede expresarse mediante una fórmula matemática. La moda se representa con el símbolo M_o y se expresa en la misma unidad que la variable. Para calcularla, se diferencia entre distribuciones de datos no agrupados y agrupados (Gamero, 2017, pág. 62).

No obstante, en situaciones en las que los datos están agrupados en intervalos, el agrupamiento mismo dificulta la determinación exacta de la moda. Si los intervalos tienen una amplitud constante, se puede realizar una aproximación utilizando la siguiente expresión. En esta expresión, "i" representa la fila de la tabla que corresponde al intervalo con la frecuencia más alta, al cual llamamos "intervalo modal" (Gamero, 2017, pág. 62).

Ecuación 2-5: Moda de datos agrupados

$$M_o = L_{i-1} + \frac{n_{i+1}}{n_{i-1} + n_{i+1}} \times a_i$$

Donde:

M_o : es la moda.

L_{i-1} : es el límite inferior del intervalo con mayor frecuencia absoluta.

n_{i+1} : frecuencia absoluta del intervalo posterior al modal.

n_{i-1} : frecuencia absoluta del intervalo anterior al modal.

a_i : amplitud del intervalo modal.

2.4.5 Varianza

La varianza de una muestra o conjunto de datos representa la dispersión promedio de los valores con respecto a la media elevada al cuadrado y dividida entre $n-1$. Cuando se trabaja con datos que representan solo una parte de la población, es decir, una muestra, se utiliza n en el cálculo; sin embargo, cuando se refiere a la población completa, donde los datos de la muestra son iguales a la población total (que ocurre en casos raros), se utiliza $n-1$.

Ecuación 2-6: Varianza de muestra

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

La varianza según (Monroy 2008) se representa como s^2 cuando se trata de la varianza muestral, y como σ^2 cuando se refiere a la varianza de una población. La fórmula para calcular la varianza de una muestra tiene pequeñas modificaciones según el tipo de serie que se aplique, como se muestra a continuación: (pág. 92)

Ecuación 2-7: Varianza de población

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N}$$

Donde:

\bar{x} : es la media aritmética de la muestra.

n : total datos de la muestra.

N : total de datos.

μ : promedio.

x_i : cada dato u visualización de la variable X.

Asimismo, (Posada, 2016, pág. 101) menciona que, si los datos fueron agrupados en frecuencias o intervalos, es posible calcular la varianza utilizando las siguientes fórmulas:

Ecuación 2-8: Varianza como parámetro para la población agrupados en intervalos

$$\sigma^2 = \frac{\sum x_i^2 \times n_i}{N} - \mu^2$$

Ecuación 2-9: Varianza como parámetro para la muestra agrupados en intervalos

$$s^2 = \frac{\sum x_i^2 \times n_i}{n - 1} - \bar{x}^2$$

Donde:

x_i : cada dato o marca de clase si es intervalo.

n_i : frecuencia absoluta.

2.4.6 *Desviación estándar*

A la desviación estándar (Posada, 2016, pág. 102) la considera como medida de dispersión más representativa para un conjunto de datos. Matemáticamente, se calcula como la raíz cuadrada positiva de la varianza, y se representa como (s) cuando se estima para la muestra y como (σ) cuando se calcula para la población:

Ecuación 2-10: Desviación estándar para la muestra y población

$$s = \sqrt{s^2}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

2.5 **Geoestadística**

Es una rama de la estadística que se especializa en el análisis y la modelación de la variabilidad espacial en ciencias de la tierra. Tiene como fin el análisis y la predicción de fenómenos en espacio y/o tiempo. A diferencia de la estadística clásica, los valores obtenidos no se consideran independientes, es decir, se supone de manera implícita que están correlacionados unos con otros (Díaz, 2002, pág. 1).

La geoestadística se considera como un enfoque adecuado para el análisis de datos espacialmente correlacionados, en donde se presenta una variabilidad entre diferentes puntos los cuales se

pueden expresar en función a la distancia. En otras palabras, la geoestadística usa metodologías estadísticas que usan coordenadas espaciales con el fin de formar modelos que posteriormente se usan en la estimación y predicción de datos (Panagopoulos y Antunes, 2008 pág. 162).

De acuerdo con (Burrough 2001) los SIG facilita con grandes beneficios a la geoestadística, fundamentalmente con el registro adecuado de datos, análisis y presentación de resultados. En el registro de datos se refiere a la georreferenciación de puntos de muestreo con un sistema de coordenadas establecido. También como análisis al proceso previo de la base de datos para estimar una superficie de predicción en donde permita adecuar y transformar los datos a evaluar. Por último, con presentación se refiere a los resultados visibles en 2D o 3D, distribución espacial del análisis de la variable y su comportamiento. En los numerales a continuación se describen técnicas de interpolación geoestadística. (pág. 365)

2.5.1 Interpolación

Realizar interpolaciones de datos presenta la ventaja de poder crear mapas o superficies continuas a partir de conjuntos discretos de datos. No obstante, es importante tener en cuenta que esta técnica requiere contar con una cantidad significativa de puntos en el área de estudio.

La posibilidad de utilizar la interpolación depende de factores como el tipo de datos que se estén analizando, su costo y la dificultad asociada con su obtención. La utilidad de aplicar la interpolación se ve directamente afectada por estas consideraciones, como indican (Villatoro et al., 2008 pág. 96). Dentro de los interpoladores usados existe un grupo llamado Kriging Ordinario y el Inverso a la Distancia Ponderada descritos a continuación.

2.5.1.1 Kriging Ordinario

El Kriging ordinario es una técnica de interpolación altamente recomendada para modelar patrones de puntos en una región y ampliamente empleado para llevar a cabo la interpolación espacial de las propiedades del suelo con el objetivo de obtener resultados más realistas. Esta metodología se basa en el supuesto de que la variable subyacente es estacionaria de segundo orden, con una media μ constante pero desconocida, y la función de varianza $C(h)$ también es conocida o una función aleatoria intrínsecamente estacionaria. Esta última función también tiene una media μ constante y desconocida, pero su varianza no tiene límite definido (González et al., 2019 pág. 136).

Ecuación 2-11: Kriging Ordinario

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$
$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Donde según (Meza, 2019, pág. 30) establece que:

$\hat{Z}(x_0)$ es el valor predicho de los puntos de interpolación en la ubicación.

$x_0, Z(x_i)$ valor medido en esa ubicación como resultado de la muestra.

x_i, λ_i es el peso asignado a $Z(x_i)$.

n es la cantidad de muestras cercanas u observaciones adyacentes en una ubicación específica.

Por otra parte, los variogramas constituyen una herramienta esencial de los modelos geoestadísticos, ya que, posibilitan el examen de la distribución espacial de una variable dentro de un área específica. Esto es vital para la subsiguiente aplicación del Kriging ordinario. Además, presenta la evolución de la dispersión entre pares de datos a diferentes distancias de análisis, generalmente comenzando con valores bajos y llegando a un punto de equilibrio denominado meseta, situado a una distancia comúnmente llamada alcance. A partir de este punto, ya no se observa correlación espacial entre los datos, y la mejor estimación se basa en métodos estadísticos tradicionales (Villarroel, 2018; citados en Villarroel y Carrasco, 2022).

2.5.1.2 Inverso a la distancia ponderada

El inverso a la distancia ponderada conocido por sus siglas en inglés como IDW es una versión avanzada de la técnica del vecino más cercano que incorpora la distancia entre los puntos con datos y el punto desconocido, aplicando pesos a los diferentes puntos con datos. Esta técnica parte del supuesto de que cada punto ejerce una influencia local que decrece a medida que aumenta la distancia. En consecuencia, se les otorga una mayor ponderación a los puntos con datos cercanos al punto desconocido y una menor ponderación a aquellos ubicados a mayor distancia (Lagrini et al., 2020 pág. 9).

La función matemática del IDW según (Abad, 2014, pág. 43) es la siguiente:

Ecuación 2-12: Función matemática del IDW

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_{ij}^p} V_j}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_{ij}^p}}$$

Donde:

v_i = es el valor estimado en el punto i.

V_j = es el valor en el punto j.

j = índice para los puntos vecinos;

i = índice para el punto a ser estimado;

d_{ij} = distancia entre el punto a ser estimado (i) y los puntos vecinos (j);

p = potencia del peso.

Por lo tanto, lo que distingue a estos dos métodos es la manera en que se calculan los pesos asignados a las muestras tomadas.

2.5.2 Validación cruzada

Según (Chica, 2003, págs. 54-55) dentro del ámbito del kriging ordinario, existe una interesante técnica llamada validación cruzada. Este enfoque clásico y sencillo se utiliza para determinar las anomalías y optimizar las mallas de muestreo. Consiste en evaluar la representatividad de cada dato en función de la distribución estadística de los errores de estimación de la población.

En resumen, este método implica verificar el valor de una muestra conocida al descartarla temporalmente y estimar su valor en la misma ubicación utilizando las muestras circundantes. Este proceso se repite para todas las muestras del conjunto de datos. Una vez obtenido el valor estimado, se compara con el dato real que se eliminó durante el proceso de estimación. Cuanto más parecidos sean estos valores, se mejora la precisión de las predicciones.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Metodología de la investigación

Para dar comienzo y completar los objetivos propuestos en la investigación, se utilizaron herramientas manuales junto con equipos técnicos empleados para los estudios necesarios del suelo. Asimismo, se realizó el muestreo mediante la interpolación y el registro de datos para la caracterización de los parámetros y la clasificación del SUCS del suelo. Esto permitió la elaboración de mapas utilizando los métodos de Kriging e IDW.

3.2 Tipo de investigación

El enfoque de investigación analítico permitirá profundizar en el estudio, ya que se llevará a cabo un minucioso análisis de los datos recopilados en el campo, así como de las pruebas científicas realizadas en el laboratorio. Se recogerán muestras representativas del suelo en diferentes puntos de interés y se analizarán sus propiedades físico-mecánicas y químicas.

3.3 Equipos e instrumentos utilizados

- GPS
- SIGs
- Cinta métrica
- Barreno
- Fundas Zipper
- Medidor de pH y conductividad eléctrica Apera PC400S.
- Estufa de secado y esterilización (Horno) FANEM Modelo 315 SE
- Cuchara de Casa Grande
- Tamices y agitador de tamices
- Balanza
- Picnómetro
- Termómetro

3.4 Técnicas para la recopilación de datos

Para la recolección de datos de los parámetros físico-mecánicos y químicos del suelo, se emplearon varios métodos tanto de gabinete como de campo. Estos métodos se utilizaron posteriormente para la distribución espacial de los mismos.

3.4.1 Técnica de investigación documental

Se basa en la recopilación de información en libros, artículos científicos, documentos técnicos, entre otros, los cuales permiten determinar los métodos, ecuaciones y técnicas adecuadas para realizar la distribución espacial de los parámetros físico-mecánicos y químicos del suelo.

3.4.2 Técnicas de campo

3.4.2.1 Diseño de muestreo

Para empezar con el muestreo, es necesario trazar un sistema de cuadrícula del área de estudio por medio de ArcGIS, pero teniendo a consideración que ciertas características como la pendiente y la vegetación sean similares con el fin de lograr un trabajo óptimo (AGROCALIDAD, 2018, pág. 6).

El área de interés ubicado en la comunidad de Piamonte consta de 882 hectáreas que son equivalentes a 8.82 km², con dimensiones de 2.23km ancho y largo de 4.11km, considerando dicha información se dividió la malla de muestreo generando 24 puntos de interés, en 6 secciones horizontales y 4 verticales. La malla se puede observar en la ilustración 3-1.

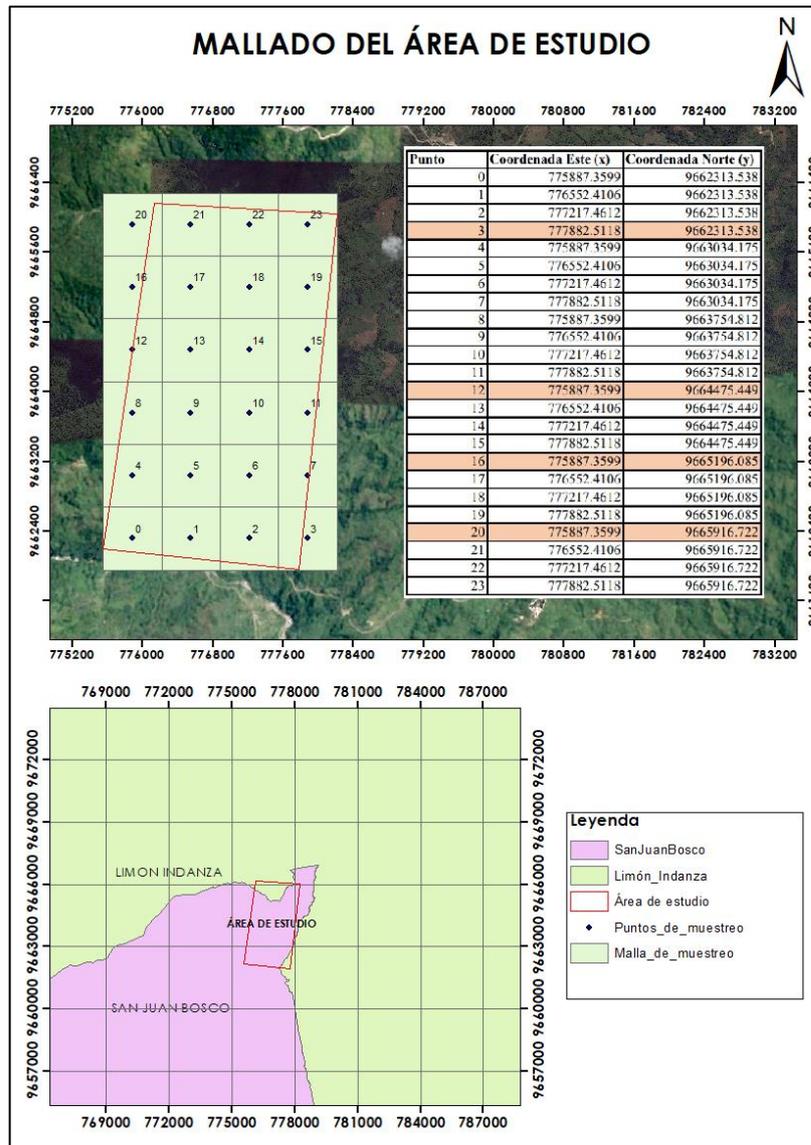


Ilustración 3-1: Recorrido en forma de Cuadrícula

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

Por otra parte, las coordenadas geográficas de cada punto de muestreo fueron registradas empleando el sistema de posicionamiento global (GPS). Además, siguiendo las indicaciones de (Mendoza y Espinoza, 2017 pág. 21) se enterró el barreno a aproximadamente 20 cm de profundidad y se realizó un movimiento en forma de tornillo para extraer la muestra. Posteriormente, las muestras fueron colocadas en un balde plástico, donde se procedió a homogenizarlas y limpiar las herramientas.

Una vez de haber esparcido las submuestras, se depositó sobre un plástico con la superficie limpia y nivelada, para dividir de manera circular en cuatro cuadrantes. A continuación, se descartó los dos cuadrantes opuestos y el restante se mezcló nuevamente.



Ilustración 3-2: Cuarteo de la muestra

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

Este procedimiento fue ejecutado hasta recolectar aproximadamente 1 kg de muestra. Después, las muestras se colocaron en fundas plásticas herméticas con la finalidad de mantener su estado original y prevenir cualquier tipo de transformación. En consecuencia, el lapso entre la recolección de las muestras y su envío al laboratorio no superó los 15 días (Mendoza y Espinoza, 2017 pág. 21).

3.4.2.2 *Identificación de las muestras*

Siguiendo los lineamientos de (Mendoza y Espinoza, 2017 pág. 22), una vez finalizado el muestreo, se procedió a etiquetar de manera adecuada con el objetivo de evitar la pérdida de la información correspondiente a cada muestra durante su transporte, asegurando su identificación antes de realizar los análisis de laboratorio. La muestra fue depositada en una bolsa plástica y posteriormente se selló extrayendo la mayor cantidad de aire posible. Luego, la etiqueta fue colocada en el exterior de la bolsa y se introdujo en una segunda bolsa de plástico, de tal manera que la información de la muestra quedara protegida entre las capas de plástico. Finalmente, se amarró la bolsa para asegurar su cierre.

Tabla 3-1: Indicadores físicos, químicos de la calidad del suelo

Código:		
Parcela:		
Número de muestra:		
Coordenadas (UTM):	X: (Este)	
	Y: (Norte)	
Autor:		
Fecha del muestreo:		
Localización:		

Fuente: Mendoza y Espinoza, 2017.

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

3.5 Técnicas de análisis de muestras

Una vez que las muestras fueron transportadas, se llevaron a diferentes ubicaciones, como el Laboratorio de GeoIngeniería y los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, según el análisis correspondiente necesario para determinar las propiedades específica.

3.5.1 Granulometría

El proceso de laboratorio se llevó a cabo empleando la Norma ASTM D 422-63 utilizada para determinar el tamaño de las partículas en un suelo y su distribución en diferentes fracciones granulométricas. Por otra parte, la proporción de partículas de suelo involucradas en función del tamaño recibe el nombre de gradación que puede realizar de forma manual o mecánica (Duque y Escobar, 2016 pág. 57).

3.5.1.1 Método del tamizado

Antes de llevar a cabo el primer procedimiento, primero se dividió la muestra general en tres partes iguales, tanto para el límite líquido-plástico; granulometría como para la densidad. Entonces, con referencia al método del tamizado, según la norma (ASTM D422-63 2007), se consideró el juego de tamices como se observa en la tabla 3-2, dado que el espaciamiento uniforme de los puntos permitió construir el gráfico. (pág. 2)

Tabla 3-2: Numeración y abertura de tamices

Tamiz (ASTM)	Abertura real (mm)	Tipo de suelo
3"	75	GRAVA
2"	50	
1.5"	37.5	
1"	25.0	
¾"	19.0	
3/8"	9.5	
Nº 4	4.75	ARENA GRUESA
Nº 10	2.00	ARENA MEDIA
Nº 20	850	
Nº 40	425	
Nº 60	250	ARENA FINA
Nº 140	106	
Nº 200	75	

Fuente: ASTM D422-63, 2007.

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

Inicialmente se pesó la muestra seca y se homogenizó el total en estado natural, a continuación, se lavó la muestra teniendo como filtro la malla Nº200 y la muestra retenida en ese tamiz se introdujo en un horno sometiéndola a la temperatura de 110°C durante un período de 24 horas (ASTM D422-63, 2007, pág. 2).

Culminado el periodo de tiempo, se dejó secar y se sometió a un tamizado manual durante 1 minuto, dependiendo el estado de la muestra (ilustración 3-3); empleado la serie de tamices desde 3", 2", 1.5", 1", ¾", 3/8", Nº 4, 10, 20, 40, 60, 140 y 200. Obteniendo finalmente el peso de cada porción de material retenido en cada uno de los tamices como % de grava, % de arena y el % de finos (ASTM D422-63, 2007, pág. 2).



Ilustración 3-3: Tamizado de muestras

Fuente: GeoIngeniería, 2023.

3.5.2 *Límite líquido*

La técnica utilizada para realizar el ensayo del límite líquido se describe a continuación, basándose en la norma ASTM D 4318-05, procedimiento que se emplea para distintos tipos de suelos (Cevallos, 2012, pág. 53).

Luego de pasar la muestra por el tamiz #40 como se muestra en la ilustración 3-4, se tomó dicha fracción, mezclándola suavemente con agua destilada, utilizando una espátula, hasta lograr una consistencia uniforme. Se tuvo cuidado al momento de agregar el agua destilada debido a que una pequeña cantidad de agua puede afectar significativamente la consistencia de la muestra (Cevallos, 2012, págs. 53-54).



Ilustración 3-4: Fracción de muestra de la malla #40

Fuente: GeoIngeniería, 2023.

La mezcla fue colocada en la Cuchara de Casa Grande con un espesor cercano a los 10 mm y cortada en una sola pasada para lograr una separación de aproximadamente 3 mm. Luego, la manija se girada, contando el número de golpes realizados hasta que se cerró la apertura mencionada. Este proceso se repitió variando el contenido de humedad de la muestra, con intervalos de golpes entre 25-35, 20-30 y 15-25, respectivamente (Cevallos, 2012, págs. 53-54).

Por último, para determinar el límite líquido total de la muestra, se trazaron los valores del contenido de humedad en la ordenada utilizando una escala aritmética, mientras que en la abscisa se empleó una escala logarítmica para representar la cantidad de golpes utilizados. Se trazó una línea que se ajustara a los datos obtenidos, y en el punto donde la cantidad de golpes fuera 25 y cruzara con la línea trazada, se encontró el valor total del límite líquido de la muestra (Cevallos, 2012, pág. 53-54). Como se muestra en la ilustración 3-5, hace referencia al límite líquido de la muestra 0.

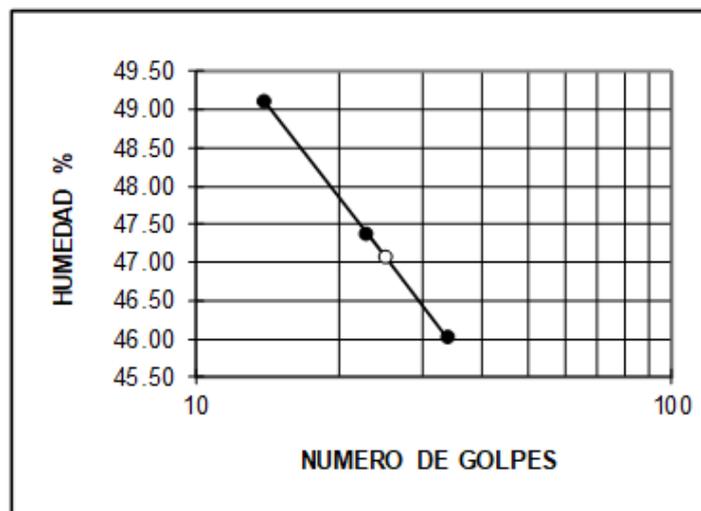


Ilustración 3-5: Gráfico del límite líquido

Fuente: GeoIngeniería, 2023.

3.5.3 Límite plástico

La técnica utilizada para llevar a cabo el ensayo del límite plástico fue descrita en referencia a la norma ASTM D 4318-06. Este procedimiento se emplea para diferentes tipos de suelos. (Cevallos, 2012, págs. 53-54).

Dado que tanto el límite líquido como el límite plástico comparten procedimientos similares, se consideró conveniente preparar la muestra de agregado para realizar ambos ensayos. Por lo tanto, después de tamizar la muestra a través del tamiz #40, se extrajeron 15 gramos de esta. A

continuación, se añadió agua hasta lograr una pasta de consistencia suave y uniforme. (Cevallos, 2012, págs. 53-54).

Con esta mezcla, se procedió amasarla hasta formar elipsoides. Luego, estos elipsoides se colocaron sobre una superficie lisa y aplicando presión con los dedos, se les dio forma de rollos con un diámetro de aproximadamente 3 mm, como se muestra en la ilustración 3-6. Si el cilindro no presentaba fisuras en el diámetro mencionado anteriormente, se repetía el proceso hasta que los elipsoides comenzaran a agrietarse.

Sin embargo, si el elipsoide se fisuraba antes de alcanzar los 3 mm de diámetro, se consideraba válido. En este caso, la humedad de la muestra se tomaba como el límite plástico. Para calcular este límite plástico, se realizaba el secado en la estufa de varios cilindros en condiciones análogas. Generalmente, se utilizaban dos porciones de al menos 6 gramos cada una (Cevallos, 2012, págs. 53-54).



Ilustración 3-6: Cilindros de 3mm de diámetro

Fuente: GeoIngeniería, 2023.

3.5.4 Contenido de humedad

El contenido de humedad se realizó según la norma ASTM D 2216-05, que relacionó el peso del agua existente en los espacios porosos del material entre el peso seco de los sólidos, expresada en porcentaje (Alehyen et al., 2017 pág. 1786).

3.5.5 Densidad aparente

Para llevar a cabo la prueba de densidad del agregado fino, se utilizó el método ASTM C128. Este método involucra la determinación a través de dos procedimientos: uno gravimétrico y otro volumétrico. Es importante señalar que en este documento se hace referencia únicamente al método gravimétrico (Ayala del Toro et al., 2019 págs. 23-24).

El proceso se inició siguiendo las especificaciones de la práctica estándar para el muestreo de los agregados según la norma ASTM C702. Esta norma establece la mezcla del agregado y su reducción a un tamaño adecuado según los requisitos pasando por el tamiz #4. El objetivo era obtener una muestra de aproximadamente 0.1 gramos, tal como se ilustra en la ilustración 3-8 (Ayala del Toro et al., 2019: págs. 23-24).



Ilustración 3-8: Medición del peso húmedo

Fuente: GeoIngeniería, 2023.

Luego, se añadieron 500 ± 10 g de muestra al picnómetro y se llenó con agua destilada hasta alcanzar aproximadamente el 90 % de su capacidad, como se muestra en la ilustración 3-9. A continuación, se selló el picnómetro y se agitó suavemente mediante el método manual para eliminar las burbujas de aire. Este proceso involucraba girar, invertir y agitar el picnómetro, o una combinación de estas acciones. Por lo general, se requerían alrededor de 15 a 20 minutos para eliminar completamente las burbujas de aire (Ayala del Toro et al., 2019 págs. 23-24).



Ilustración 3-9: Eliminación de burbujas dentro del picnómetro

Fuente: GeoIngeniería, 2023.

Una vez eliminadas las burbujas, se llenó el picnómetro con agua destilada hasta la marca de calibración. Por otra parte, se ajustó la temperatura del instrumento y su contenido mediante la inmersión de este en un baño de agua a 23 ± 2 °C, apoyado de un termómetro, como se muestra en la ilustración 3-10 (Ayala del Toro et al., 2019: págs. 23-24).



Ilustración 3-10: Inmersión de este en un baño de agua a 23 ± 2 °C

Fuente: GeoIngeniería, 2023.

Después, se retiró el picnómetro del baño de agua y se secó para determinar la masa del picnómetro con agua y muestra, ilustración 3-11. A continuación, se registró la masa de una charola limpia y seca previo a utilizarla (Ayala del Toro et al., 2019 págs. 23-24).



Ilustración 3-11: Medición de la masa del picnómetro con agua y muestra

Fuente: GeoIngeniería, 2023.

Por consiguiente, se separó la muestra del picnómetro vertiéndola en la charola y se colocó en el horno para secarla a masa constante a una temperatura estimada de 100 ± 5 °C, ilustración 3-12, sin antes lavar el picnómetro con agua adicional hasta limpiar todo el material fino restante (Ayala del Toro et al., 2019: págs. 23-24).



Ilustración 3-12: Muestra del picnómetro en el horno a 100 ± 5 °C

Fuente: GeoIngeniería, 2023.

Mientras la muestra estaba en el horno, se obtuvo la masa del picnómetro, lleno con agua destilada hasta la marca de calibración a una temperatura de 23 ± 2 °C con una aproximación de 0.1 g, ilustración 3-13 (Ayala del Toro et al., 2019 págs. 23-24).



Ilustración 3-13: Medición de la masa del picnómetro con agua destilada

Fuente: GeoIngeniería, 2023.

Finalizado el anterior paso, se dejó reposar la muestra a temperatura ambiente durante 1 hora y 30 minutos, determinando de esa manera la masa seca, como se muestra en la ilustración 3-14 permitiendo realizar los respectivos cálculos (Ayala del Toro et al., 2019 págs. 23-24).



Ilustración 3-14: Reposo de la masa seca a temperatura ambiente

Fuente: GeoIngeniería, 2023.

3.5.6 pH

Para analizar el pH, se utilizó un dispositivo Apera PC400S con el electrodo correspondiente. Este proceso se llevó a cabo siguiendo las directrices establecidas por la norma técnica colombiana NTC5264, como menciona (Vargas et al., 2022 pág. 4). Para iniciar se mezcló el suelo con agua destilada en una proporción de 1:2 en peso/volumen, y la suspensión resultante se agitó durante 20 minutos para reposar 30 minutos. Cabe mencionar que el equipo fue calibrado antes de realizar la medida. Cada muestra fue sometida a dos mediciones realizadas por dos operadores diferentes. Como se observa en la ilustración 3-15.



Ilustración 3-15: Medición de pH

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

3.5.7 Conductividad Eléctrica

Para determinar la conductividad eléctrica (CE), se utilizó un dispositivo Apera PC400S. Este proceso siguió las pautas establecidas por la norma técnica colombiana NTC 5596 método B, de acuerdo con (Vargas et al., 2022 pág. 4) que implicó extraer 20 g de la muestra de suelo y mezclarlo con 100 mL de agua destilada a una temperatura de 20°C. Posteriormente, se agitó la mezcla durante 30 minutos y se filtró mediante un papel específico de filtración. Se verificó y calibró el equipo antes de la medición, y se realizó la comprobación en dos ocasiones por parte de dos operadores distintos. Como se observa en la ilustración 3-16.



Ilustración 3-16: Medición de la conductividad eléctrica

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

3.6 Técnicas de gabinete

3.6.1 Análisis estadístico

Se empleó el software Minitab para llevar a cabo el análisis estadístico de los puntos de muestreo, según la ilustración 3-17.

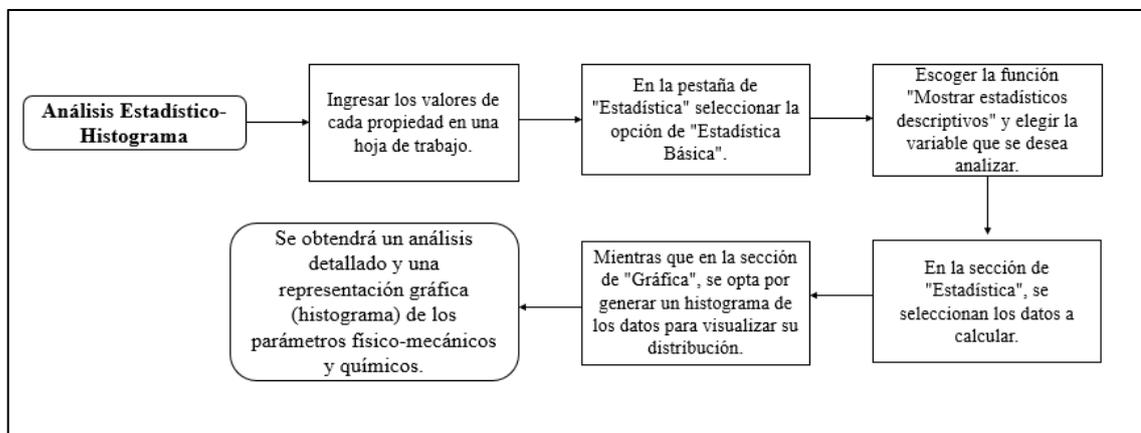


Ilustración 3-17: Diseño metodológico del análisis estadístico-histograma

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

3.6.2 Mapas temáticos

Para los mapas temáticos se utilizó el software SIG: ArcGIS, correspondiente al visualizador ArcMap 10.3 con el fin de realizar un análisis geostadístico de los valores muestreados en campo. Para ello se siguió el diseño metodológico diagramado en la ilustración 3-18.

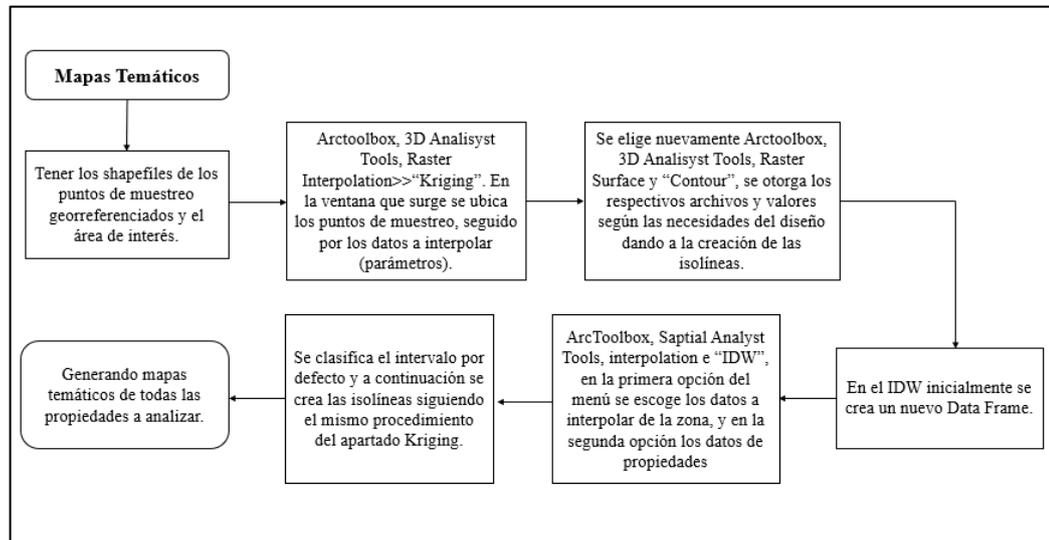


Ilustración 3-18: Diseño metodológico de los mapas temáticos

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

3.6.3 Variograma para el Kriging ordinario

Para ejecutar el variograma se realizan los siguientes pasos según la ilustración 3-19:

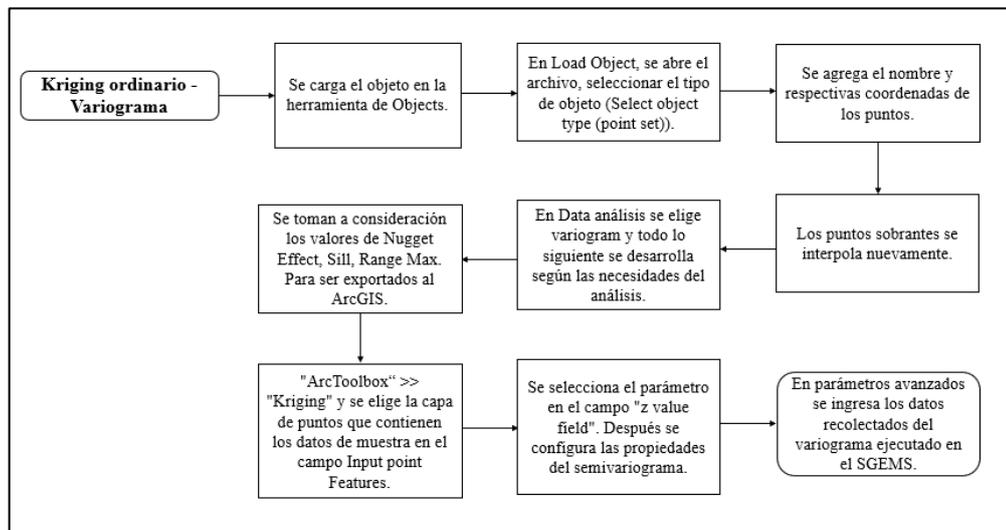


Ilustración 3-19: Diseño metodológico del variograma-Kriging ordinario

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

Una vez estimado la forma del variograma, tal y como se muestra en la ilustración 3-20 del límite líquido, se toman a consideración Nugget Effect, Sill, Range Max.

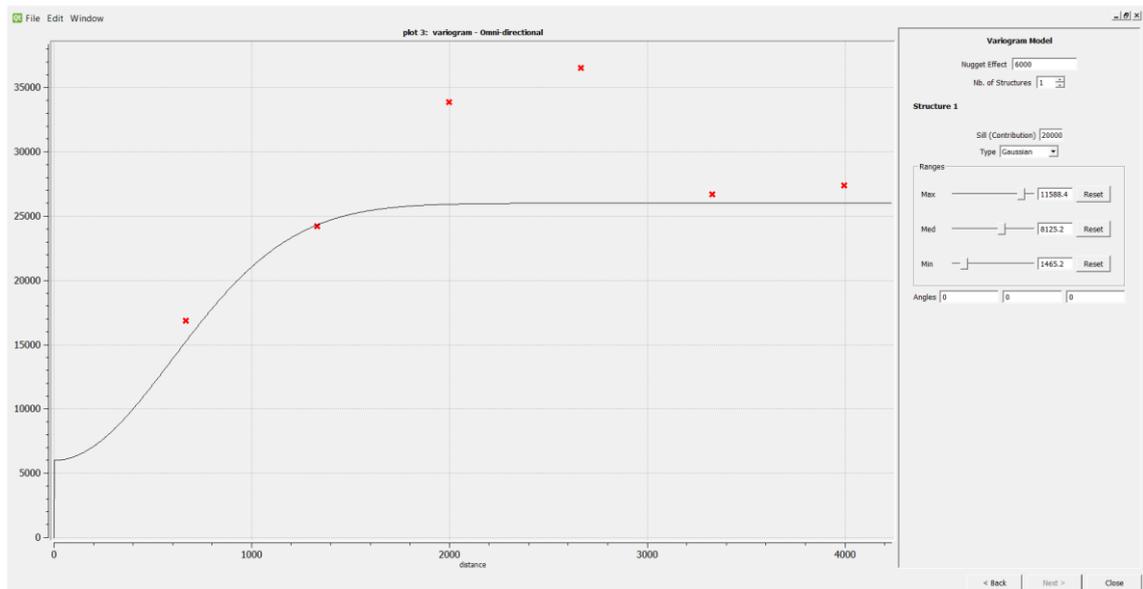


Ilustración 3-20: Variograma del límite líquido

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

3.6.4 Validación cruzada

La validación cruzada es una técnica utilizada para evaluar la precisión del modelo de interpolación. Para ello se siguen los siguientes pasos de la ilustración 3-21:

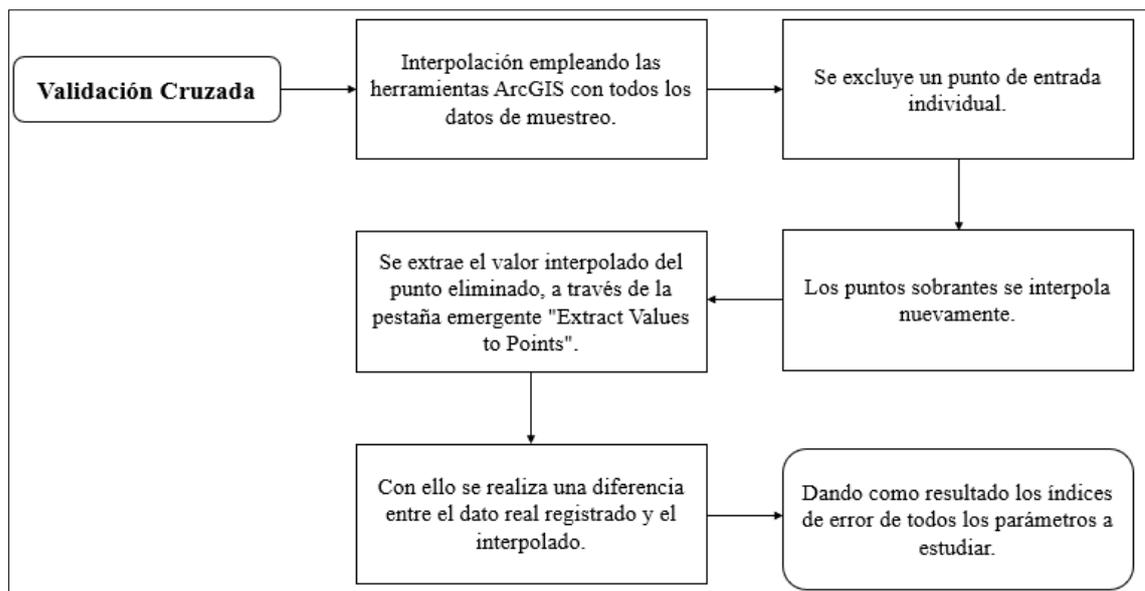


Ilustración 3-21: Diseño metodológico de la validación cruzada

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados del muestreo del suelo

Después de haber establecido una cuadrícula adecuada para tomar una muestra por cada 0.37 km², se obtuvieron un total de 24 puntos de muestreo, como se muestra en la ilustración 3-1. Sin embargo, se tomó la decisión de excluir del muestreo los puntos 3, 12, 16 y 20 debido al difícil acceso.

Tabla 4-1: Puntos de muestreo

Punto	Coordenada Este (x)	Coordenada Norte (y)
0	775887.3599	9662313.538
1	776552.4106	9662313.538
2	777217.4612	9662313.538
3	777882.5118	9662313.538
4	775887.3599	9663034.175
5	776552.4106	9663034.175
6	777217.4612	9663034.175
7	777882.5118	9663034.175
8	775887.3599	9663754.812
9	776552.4106	9663754.812
10	777217.4612	9663754.812
11	777882.5118	9663754.812
12	775887.3599	9664475.449
13	776552.4106	9664475.449
14	777217.4612	9664475.449
15	777882.5118	9664475.449
16	775887.3599	9665196.085
17	776552.4106	9665196.085
18	777217.4612	9665196.085
19	777882.5118	9665196.085
20	775887.3599	9665916.722
21	776552.4106	9665916.722
22	777217.4612	9665916.722
23	777882.5118	9665916.722

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.2 Resultados de los parámetros físicos - mecánicos y químicos del suelo

En la Tabla 4-2 se presentaron los resultados del análisis de laboratorio en relación a la humedad, el límite líquido, el límite plástico y la densidad aparente. Los valores correspondientes a la granulometría, es decir, el porcentaje de grava, arena y finos, se detallaron en la tabla 4-3. Adicionalmente, los datos concernientes al pH y la conductividad eléctrica del suelo fueron consignados en la Tabla 4-4.

Tabla 4-2: Parámetros físicos: contenido de humedad, límite líquido, límite plástico y densidad aparente

Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte	Contenido de humedad (%)	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Densidad aparente (kg/m ³)
0	775887.3599	9662313.538	26.2	47.08	33.74	2428.01787
1	776552.4106	9662313.538	44.42	73.12	52.35	2561.65827
2	777217.4612	9662313.538	79.12	91.22	59.42	2540.23882
4	775887.3599	9663034.175	83.75	74.02	60.53	2298.04142
5	776552.4106	9663034.175	51.05	72.03	56.85	2711.24762
6	777217.4612	9663034.175	52.76	86.03	54.81	2551.95681
7	777882.5118	9663034.175	55.51	92.15	63.32	2606.18973
8	775887.3599	9663754.812	109.82	69.7	56.62	2380.45147
9	776552.4106	9663754.812	77.31	62.91	52.84	2415.87376
10	777217.4612	9663754.812	72.71	73.68	60.91	2484.50073
11	777882.5118	9663754.812	72.97	71.45	57.17	2594.05099
13	776552.4106	9664475.449	126.06	83.28	71.06	2281.95405
14	777217.4612	9664475.449	106.29	86.72	68.32	2249.21499
15	777882.5118	9664475.449	110.55	83.89	68.75	2454.83291
17	776552.4106	9665196.085	89.62	70.82	61.13	2092.81294
18	777217.4612	9665196.085	45.22	59	45.85	2393.35931
19	777882.5118	9665196.085	54.44	77.09	45.34	2220.85521
21	776552.4106	9665916.722	60.17	31.28	53.62	2564.99115
22	777217.4612	9665916.722	51.14	57.14	50.88	2345.96802
23	777882.5118	9665916.722	48.4	48.37	43.31	2193.56081

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

Tabla 4-3: Parámetros físicos: granulometría

N° de muestra	Coordenada Este (x)	Coordenada Norte (y)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
0	775887.36	9662313.54	47	38	15
1	776552.411	9662313.54	40	34	26
2	777217.461	9662313.54	4	14	82
4	775887.36	9663034.17	0	10	90
5	776552.411	9663034.17	23	24	53
6	777217.461	9663034.17	7	14	79
7	777882.512	9663034.17	12	26	62
8	775887.36	9663754.81	1	11	88
9	776552.411	9663754.81	6	15	79
10	777217.461	9663754.81	25	17	58
11	777882.512	9663754.81	8	11	81
13	776552.411	9664475.45	0	12	88
14	777217.461	9664475.45	10	10	80
15	777882.512	9664475.45	12	14	74
17	776552.411	9665196.09	30	40	30
18	777217.461	9665196.09	13	50	37
19	777882.512	9665196.09	26	38	36
21	776552.411	9665916.72	23	38	39
22	777217.461	9665916.72	26	42	32
23	777882.512	9665916.72	47	29	24

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

Tabla 4-4: Valores del pH y conductividad eléctrica

N° de muestra	Coordenada Este (x)	Coordenada Norte (y)	pH	Conductividad Eléctrica (μS/cm)
0	775887.3599	9662313.538	6.08	40.2
1	776552.4106	9662313.538	4.86	54.6
2	777217.4612	9662313.538	5.23	26.7
4	775887.3599	9663034.175	5.28	21
5	776552.4106	9663034.175	6.61	35.7
6	777217.4612	9663034.175	4.56	18.91
7	777882.5118	9663034.175	5.02	12.65
8	775887.3599	9663754.812	5.07	19.36
9	776552.4106	9663754.812	4.99	24.3
10	777217.4612	9663754.812	5.69	20.3
11	777882.5118	9663754.812	5.5	13.48
13	776552.4106	9664475.449	5.58	16.55
14	777217.4612	9664475.449	5.23	12.78
15	777882.5118	9664475.449	4.89	29.8
17	776552.4106	9665196.085	5.04	27.3
18	777217.4612	9665196.085	5.62	16.23
19	777882.5118	9665196.085	5.78	13.22
21	776552.4106	9665916.722	5.96	19.51
22	777217.4612	9665916.722	6.04	18.59
23	777882.5118	9665916.722	5.99	84.3

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.2.1 Clasificación SUCS del suelo

La Tabla 4-5 presenta la clasificación SUCS de las muestras recolectadas. En esta clasificación, es posible identificar que las muestras 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14 y 15 exhiben la designación MH, lo cual señala la presencia de limos orgánicos, limos micáceos o diatomáceos, y características elásticas más pronunciadas.

En contraste, las muestras 0, 1 y 23 son clasificadas como suelos GM, lo que indica la presencia de gravas limosas, una mezcla que involucra grava, arena y limo. Las muestras 17, 18, 19, 21 y 22 se corresponden con la clasificación SM, señalando la presencia de arenas limosas y mezclas de arena y limo. En términos porcentuales, se observa que el 60% de las muestras se enmarcan en la categoría MH, mientras que un 15% se ajusta a la designación GM, y el restante 25% es clasificado como SM.

Tabla 4-5: Clasificación SUCS del suelo

N° de muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte	Clasificación SUCS
0	775887.3599	9662313.538	GM
1	776552.4106	9662313.538	GM
2	777217.4612	9662313.538	MH
4	775887.3599	9663034.175	MH
5	776552.4106	9663034.175	MH
6	777217.4612	9663034.175	MH
7	777882.5118	9663034.175	MH
8	775887.3599	9663754.812	MH
9	776552.4106	9663754.812	MH
10	777217.4612	9663754.812	MH
11	777882.5118	9663754.812	MH
13	776552.4106	9664475.449	MH
14	777217.4612	9664475.449	MH
15	777882.5118	9664475.449	MH
17	776552.4106	9665196.085	SM
18	777217.4612	9665196.085	SM
19	777882.5118	9665196.085	SM
21	776552.4106	9665916.722	SM
22	777217.4612	9665916.722	SM
23	777882.5118	9665916.722	GM

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.3 Estadística descriptiva

4.3.1 Análisis estadístico del contenido de humedad

El histograma presenta un solo tipo de distribución, la normal, dado que, se caracteriza por tener una forma de campana simétrica, lo que significa que la mayoría de los datos se concentran alrededor de la media y la probabilidad de encontrar valores alejados de la media disminuye a medida que nos alejamos hacia los extremos.

Por lo general, es común encontrar un contenido de humedad de 50-90% correspondiente en los puntos 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 17, 19, 21, 22. Esto quiere decir que localmente en aquellos sectores según la clasificación SUCS de la tabla 4-5 predominan los limos inorgánicos que suelen encontrarse en áreas pantanosas y tienen una alta capacidad para retener agua. Por el contrario, en los puntos 17, 19, 21, 22 las arenas limosas son finos no plásticos, es decir, tienen una textura intermedia entre las arenas y los limos, lo que significa que pueden retener cierta cantidad de agua, pero también permiten un buen drenaje.

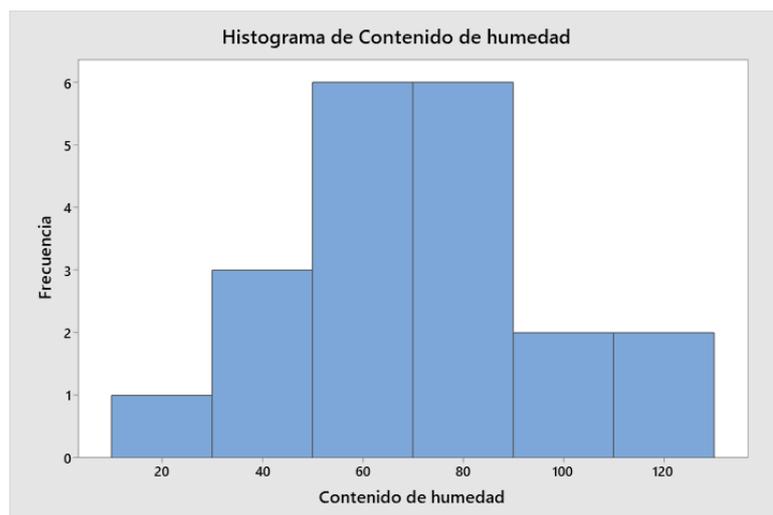


Ilustración 4-1: Histograma del contenido de humedad

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

Las muestras analizadas presentan un contenido de humedad promedio de 70.8755%, mostrando una desviación estándar del 26.77%. Con un rango de valores que van de 26.2% hasta 126.06% como mínimo y máximo respectivamente.

4.3.2 *Análisis estadístico del límite líquido*

El histograma del límite líquido no corresponde a ningún tipo de distribución, dado que se necesitan más muestras para definir la tendencia del histograma. Por tanto, el límite líquido característico es de 55-85% correspondiente a los puntos 1, 4, 5, 8, 10, 11, 17. Relacionadas con las gravas limosas que señalan cierta retención de agua y drenaje debido a la presencia de gravas.

No obstante, en los puntos mencionados anteriormente 4, 5, 8, 10, 11, los limos inorgánicos suelen encontrarse en áreas pantanosas y tienen una alta capacidad para retener agua. Y en la muestra 17, presenta las mismas características del apartado anterior; siendo finos no plásticos, es decir, tienen una textura intermedia entre las arenas y los limos, lo que significa que pueden retener cierta cantidad de agua, pero también permiten un buen drenaje.

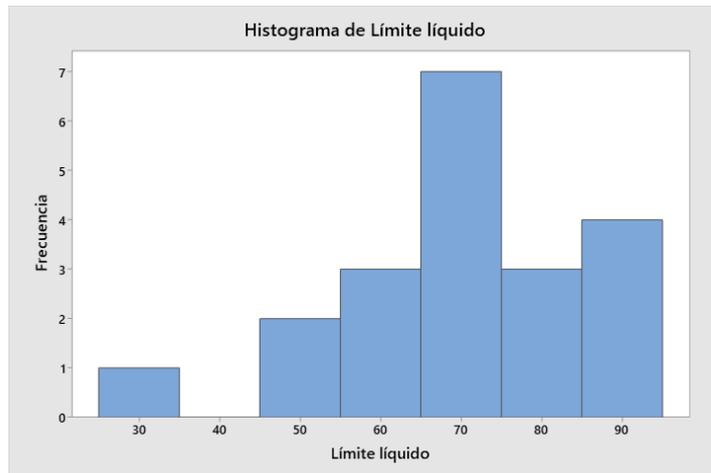


Ilustración 4-2: Histograma de límite líquido

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

Una vez analizado las muestras, arrojan un promedio de límite líquido de 70.549%, con una dispersión medida por la desviación estándar de 15.84%. Esta variabilidad se evidencia por el rango de valores, que abarca desde un mínimo de 31.28% hasta un máximo de 92.15%.

4.3.3 *Análisis estadístico del límite plástico*

El histograma no presenta ningún tipo distribución, dado que se necesitan más muestras para definir su tendencia. Limitando que es común encontrar un límite plástico de 52-58% correspondiente a los puntos 5, 6, 8, 9, 11, 21. Predominando los limos inorgánicos que suelen encontrarse en áreas pantanosas y tienen una alta capacidad para retener agua. Y en la muestra 21, presenta las mismas características del apartado anterior; las arenas limosas, permitiendo retener cierta cantidad de agua y un buen drenaje.

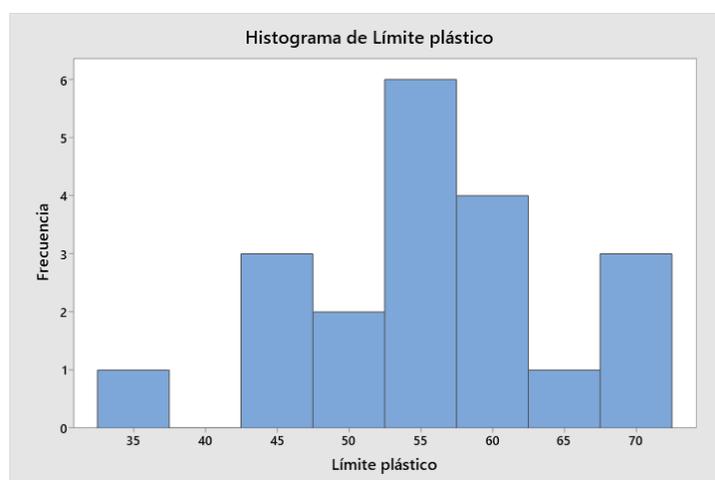


Ilustración 4-3: Histograma del límite plástico

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

De igual manera, el análisis de las muestras arroja un valor promedio de 55.84% de límite plástico, con una variabilidad representada por una desviación estándar de 9.20%. El intervalo de valores se extiende desde un mínimo de 43.31% hasta un máximo de 71.06%.

4.3.4 Análisis estadístico de la densidad aparente

Asimismo, el histograma de la densidad carece de una distribución definida, ya que se requiere una mayor cantidad de muestras para determinar su dirección. Sin embargo, es común encontrar una densidad aparente de 2500-2600 kg/m³ respectivamente en los puntos 1, 2, 6, 11, 21. Predominando inicialmente las gravas limosas que tienen un buen drenaje debido a la presencia de gravas, permitiendo que el agua se infiltre y drene rápidamente. Pero la presencia de limos también insinúa dar cierta retención de agua.

Por otra parte, en los puntos 2, 6, 11 los limos inorgánicos suelen encontrarse en áreas pantanosas y tienen una alta capacidad para retener agua. Y la muestra 21, las arenas limosas retienen cierta cantidad de agua, pero también permiten un buen drenaje. Concluyendo según la tabla 2-5 que todas las muestras presentan una densidad aparente muy alta.

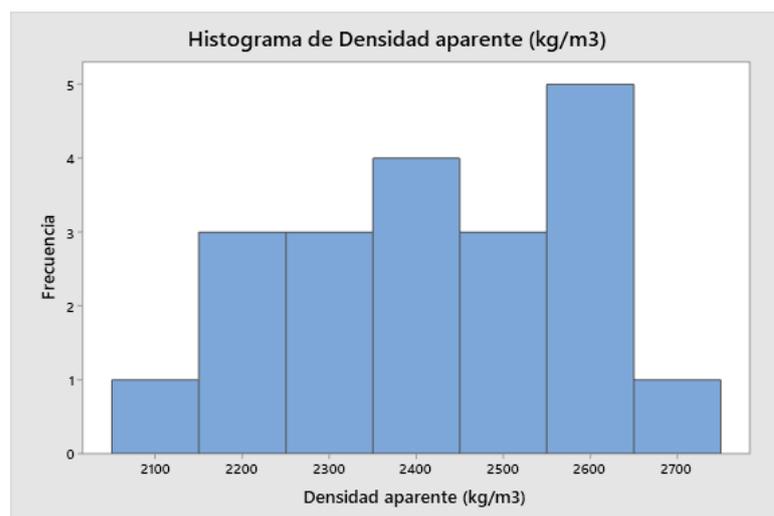


Ilustración 4-4: Histograma de la densidad aparente

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

La densidad aparente promedio del área muestreada es de 2418.48885 kg/m³. Su variabilidad se expresa mediante una desviación estándar de 161.73 kg/m³ con un valor mínimo y máximo de 2092.81 kg/m³ y 2711.25 kg/m³ respectivamente. El 100% de las muestras tomadas presentan una densidad aparente muy alta.

4.3.5 Análisis estadístico de la grava, arena y finos

Los histogramas de grava, arena y finos no corresponden a ningún tipo distribución, dado que se necesitan más muestras para definir la tendencia de dichos histogramas.

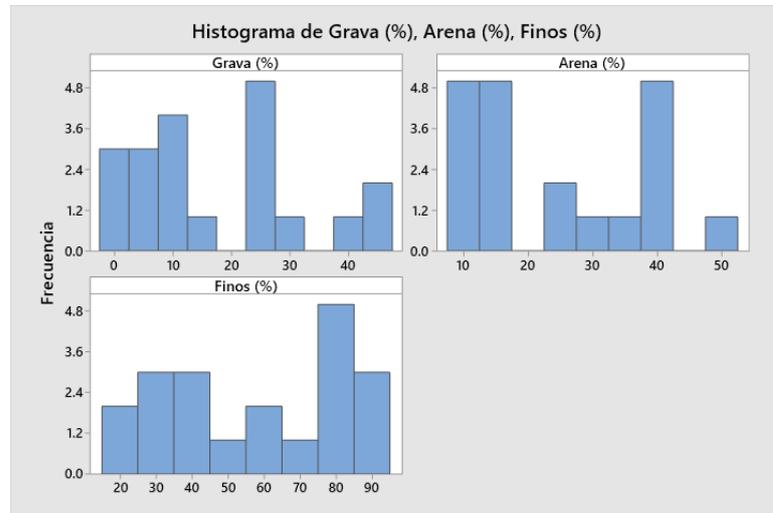


Ilustración 4-5: Histograma de la grava, arena y finos

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023

Finalmente, el análisis granulométrico de cada muestra revela la presencia de gravas, limos y arcillas en distintas proporciones. La grava tiene un promedio de 6.25%, con una desviación estándar de 14.86% con un máximo de 47% y un mínimo de 0%. El promedio de la arena es de 24.85% con su máximo y mínimo de 50% y 15% respectivamente, y una desviación estándar de 13.12. Por último, los finos presentan un valor medio de 57.65, una desviación estándar de 25.51%, con un valor máximo de 90% y un valor mínimo de 15%.

4.3.6 Análisis estadístico del pH

El histograma no presenta ningún tipo distribución, dado que se necesitan más muestras para definir la tendencia del histograma. Por lo tanto, es común encontrar un pH de 4.8-5.04 respectivamente en los puntos 1, 7, 9, 15, 17. Predominando inicialmente en la muestra 1 las gravas limosas con un pH muy ácido, según la tabla 2-6. Por otra parte, en los puntos 7, 9, 15 se muestran limos inorgánicos con un pH ácido por la muestra 7 y muy ácido en la 9 y 15. De igual manera, en la muestra 17 las arenas limosas con textura intermedia entre las arenas y los limos presenta un pH ácido.

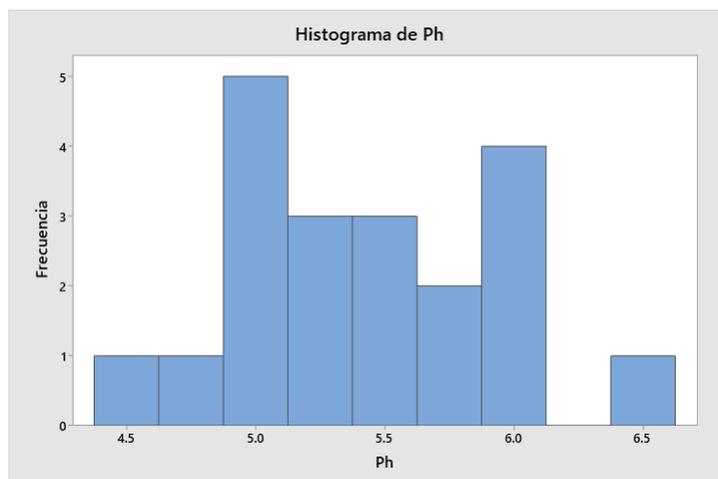


Ilustración 4-6: Histograma del pH

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

Además, se determinó que el pH promedio del suelo es de 5.451, presentando una variabilidad de 0.52 según la desviación estándar. Los valores extremos abarcan desde 4.56 hasta 6.61. Del total de muestras de suelo se observó que el 20% presenta un carácter muy ácido, el 35% de muestras corresponden a un pH ácido, el 30% se clasificó como suelo medianamente ácido, el 10% a suelo ligeramente ácido y el 5% se identificó como suelo prácticamente neutro.

Tabla 4-6: Resultados del pH del suelo del área de estudio

N° de muestra	pH	Clasificación
0	6.08	Ligeramente ácido
1	4.86	Muy ácido
2	5.23	Ácido
4	5.28	Ácido
5	6.61	Prácticamente Neutro
6	4.56	Muy ácido
7	5.02	Ácido
8	5.07	Ácido
9	4.99	Muy ácido
10	5.69	Medianamente ácido
11	5.5	Ácido
13	5.58	Medianamente ácido
14	5.23	Ácido
15	4.89	Muy ácido
17	5.04	Ácido
18	5.62	Medianamente ácido
19	5.78	Medianamente ácido
21	5.96	Medianamente ácido
22	6.04	Ligeramente ácido
23	5.99	Medianamente ácido

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.3.7 Análisis estadístico de la conductividad eléctrica (CE)

El histograma de la CE no pertenece a ningún tipo distribución, dado que se necesitan más muestras para definir la tendencia del histograma. Sin embargo, es común encontrar una conductividad eléctrica de 15-25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente a los puntos 4, 6, 8, 9, 10, 13, 18, 21, 22. Predominando inicialmente en los puntos 4, 6, 8, 9, 10, 13 los limos inorgánicos y arenas limosas en muestras 18, 21, 22. Generando como resultado una clasificación no salina según la tabla 2-7.

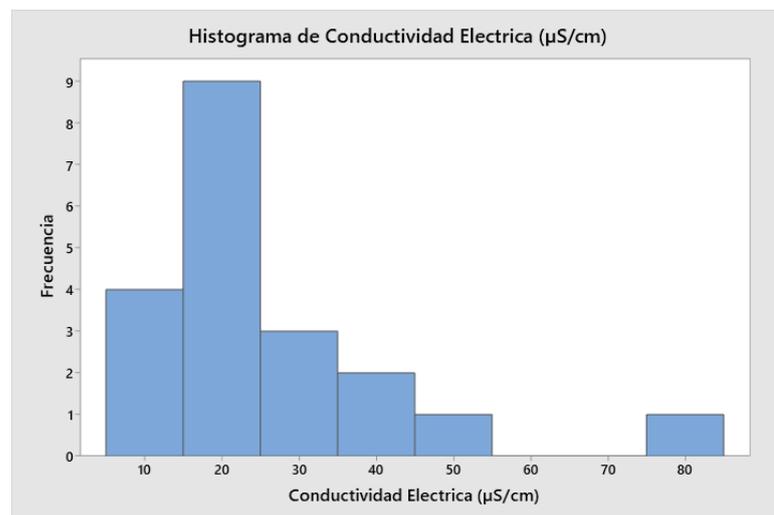


Ilustración 4-7: Histograma de la conductividad eléctrica

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

También se observó que la conductividad eléctrica del suelo presenta un promedio de 26.274 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el área de estudio, mostrando una variabilidad de 17.22 $\mu\text{S}/\text{cm}$ según la desviación estándar. Los extremos de estos valores se ubicaron en 12.65 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como el mínimo y 40.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como el máximo. El 100% de muestras analizadas indican que el suelo corresponde a un suelo no salino.

Tabla 4-7: Resultados de la conductividad eléctrica del suelo del área de estudio

Nº de muestra	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductividad Eléctrica (dS/m)	Clasificación
0	40.2	0.0402	No salino
1	54.6	0.0546	No salino
2	26.7	0.0267	No salino
4	21	0.021	No salino
5	35.7	0.0357	No salino
6	18.91	0.01891	No salino
7	12.65	0.01265	No salino
8	19.36	0.01936	No salino
9	24.3	0.0243	No salino
10	20.3	0.0203	No salino
11	13.48	0.01348	No salino
13	16.55	0.01655	No salino
14	12.78	0.01278	No salino
15	29.8	0.0298	No salino
17	27.3	0.0273	No salino
18	16.23	0.01623	No salino
19	13.22	0.01322	No salino
21	19.51	0.01951	No salino
22	18.59	0.01859	No salino
23	84.3	0.0843	No salino

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.4 Métodos de interpolación y análisis de distribución espacial

Para realizar la interpolación de los parámetros físico-mecánicos y químicos del suelo de las 20 muestras tomadas en la comunidad de Piamonte se empleó el software ArcGIS, mediante los métodos de Kriging Ordinario, Distancia Inversa Ponderada (IDW) y Kriging Ordinario con valores obtenidos del variograma para posteriormente realizar el análisis de la distribución espacial del mapa con el método de menor error de predicción (ver tabla 4-15).

4.4.1 Kriging ordinario

Se realizó la interpolación de los parámetros tanto físico-mecánicos y químicos del suelo de los 20 puntos de muestreo usando el método de Kriging Ordinario con los valores predeterminados del programa ArcGIS.

4.4.2 Kriging ordinario con el uso de variograma

Para realizar el modelo de interpolación del Kriging Ordinario se realizaron variogramas con valores que mejor se ajusten a las propiedades físico-mecánicas y químicas del suelo en el área de estudio. La tabla 4-12 presentan los datos obtenidos del variograma de cada parámetro estudiado asociadas en los 20 sitios de muestreo.

Tabla 4-8: Datos del variograma empleados en el kriging ordinario

Parámetro	Modelo	Rango (m)	Nugget (C0)	Sill
Límite líquido	Gaussiano	7992	100	450
Límite plástico	Gaussiano	2930.4	60	40
Contenido de humedad	Gaussiano	4555.44	410	410
Densidad aparente	Gaussiano	11588.4	6000	20000
Grava	Gaussiano	10656	75	175
Arena	Gaussiano	11322	75	150
Finos	Gaussiano	10522.8	310	470
pH	Gaussiano	9324	0.1	0.15
Conductividad eléctrica	Gaussiano	13320	180	410

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.4.3 IDW

A diferencia del método anterior, IDW no emplea modelos teóricos de semivariograma. Para llevar a cabo la interpolación de los atributos tanto físico-mecánicos como químicos se empleó el software ArcGIS, haciendo uso de los valores establecidos por defecto dentro de dicha herramienta.

4.4.4 Validación Cruzada

Con el fin de determinar cuál de los tres métodos mencionados previamente presenta el menor margen de error, se desarrolló un proceso de validación cruzada. En esta evaluación, se excluyó el punto N° 10 y se emplearon los 19 puntos restantes para llevar a cabo la interpolación. El propósito de este procedimiento fue predecir el valor correspondiente a la ubicación del punto

excluido. Los valores presentes en la tabla 4-13 y 4-14 muestran los datos reales como aquellos derivados de la validación cruzada.

Tabla 4-9: Datos obtenidos de la validación cruzada de los parámetros físicos-mecánicos

	Kriging	IDW	Kriging - Variograma
Punto de muestreo		10	
Contenido de humedad (valor real)		72.71	
Contenido de humedad (valor interpolado)	76.473518	80.111443	80.847885
Límite líquido (valor real)		73.68	
Límite líquido (valor interpolado)	77.907936	77.602547	78.560532
Límite plástico (valor real)		60.91	
Límite plástico (valor interpolado)	57.973831	59.686035	60.365238
Densidad (valor real)		2484.500736	
Densidad (valor interpolado)	2476.94434	2466.07544	2462.82861
Grava (valor real)		25	
Grava (valor interpolado)	8.941008	8.41604	8.366367
Arena (valor real)		17	
Arena (valor interpolado)	13.080355	15.549168	17.830435
Finos (valor real)		58	
Finos (valor interpolado)	78.664505	76.03479	73.917267

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

Tabla 4-10: Datos obtenidos de la validación cruzada de los parámetros químicos

	Kriging	IDW	Kriging - Variograma
Punto de muestreo		10	
Ph (valor real)		5.69	
Ph (valor interpolado)	5.282535	5.238543	5.285656
Conductividad Eléctrica (valor real)		20.3	
Conductividad Eléctrica (valor interpolado)	19.406876	19.706863	20.417093

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.4.4.1 Rango de errores en los métodos de interpolación usados

Tras llevar a cabo la validación cruzada, se evaluó el índice de error asociado a cada uno de los métodos previamente mencionados. Se determinó que, en términos de contenido de humedad el método de Kriging Ordinario exhibió el menor índice de error, con un valor de 3.76. Para el límite líquido, se identificó que el método IDW obtuvo un índice de error de 3.92, mientras que el límite plástico fue calculado a través del método Kriging-Variograma, revelando un error mínimo 0.5.

En cuanto a la densidad, el método de Kriging Ordinario se destacó con un índice de error mínimo de 7.55. En el caso de la grava, los tres métodos presentaron valores similares, siendo el método Kriging el que tuvo un error ligeramente menor por decimales de 16.05. Respecto a la arena, se encontró un error mínimo de 0.83 mediante el enfoque Kriging-Variograma. Para los componentes finos, el método Kriging-Variograma presentó el menor error mínimo de 15.91.

Para el pH, el método Kriging-Variograma reveló un índice de error mínimo de 0.4043, mientras que, para la conductividad eléctrica, el enfoque Kriging-Variograma también presentó un error mínimo de 0.11 (Ver tabla 4-15).

Tabla 4-11: Rango de errores en el Kriging Ordinario, IDW y Kriging Ordinario con Variograma de los parámetros físico-mecánicos y químicos

	Error - Kriging	Error - IDW	Error - Kriging Variograma
Contenido de humedad (%)	-3.763518	-7.401443	-8.137885
Límite líquido (%)	-4.227936	-3.922547	-4.880532
Límite plástico (%)	2.936169	1.223965	0.544762
Densidad (kg/m3)	7.55640032	18.42529732	21.67212332
Grava (%)	16.058992	16.58396	16.633633
Arenas (%)	3.919645	1.450832	-0.830435
Finos (%)	-20.664505	-18.03479	-15.917267
pH	0.407465	0.451457	0.404344
Conductividad eléctrica (µS/cm)	0.893124	0.593137	-0.117093

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.4.5 Interpolación del contenido de humedad mediante Kriging Ordinario

La ilustración 4-8 presenta la distribución espacial de los niveles de humedad del suelo obtenidos en las muestras, los cuales oscilan entre el 26.28% y el 125.94%. En el centro se localizan los niveles más elevados, registrando valores que abarcan desde el 101.027% hasta el 125.94%. Los datos adyacentes a esta región central se sitúan en el intervalo de 76.11% a 101.02%, y en sus proximidades, el contenido de humedad decrece, fluctuando entre 51.19% y 76.11%, mientras que, en las regiones norte y sur se ubican los niveles más bajos de humedad, con rangos que van del 26.28% al 51.19%. En resumen, los valores más altos de humedad se concentran en el centro y gradualmente decrecen a medida que se aproximan a los extremos del área de muestreo.

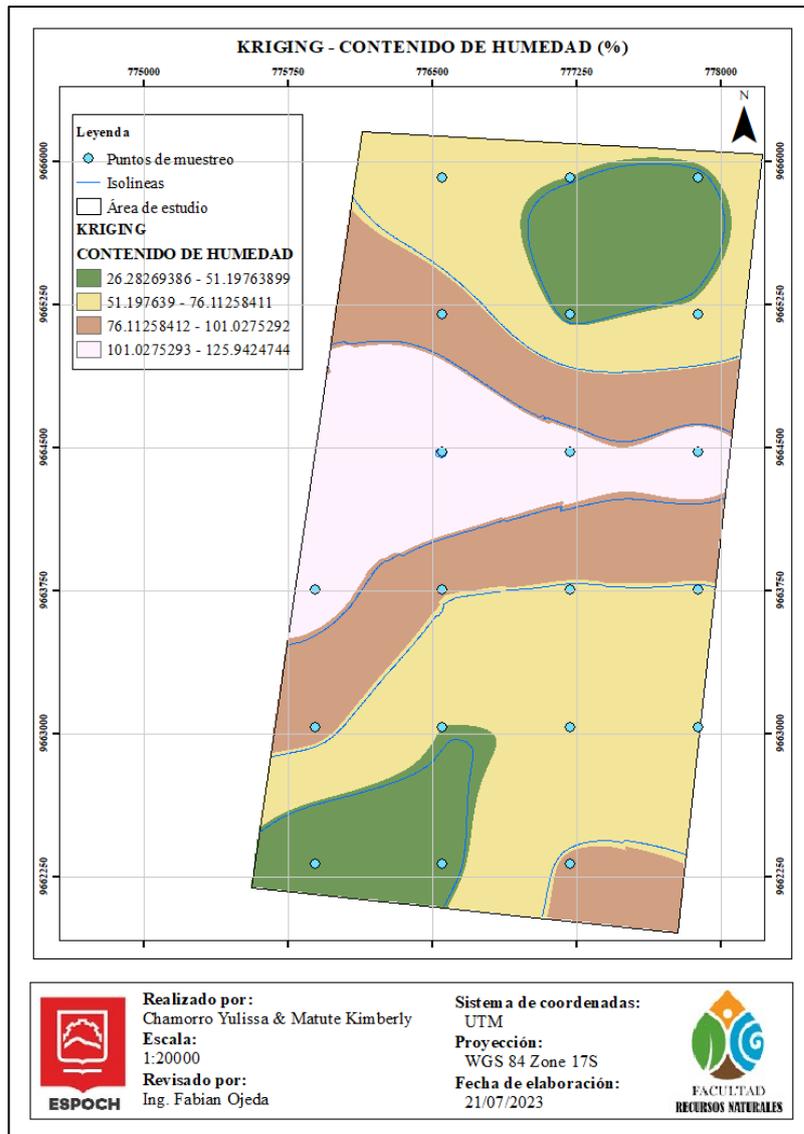


Ilustración 4-8: Mapa de interpolación del contenido de humedad mediante el uso del Kriging Ordinario

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.4.6 Interpolación del límite líquido mediante IDW

La ilustración 4-9 presenta la distribución espacial del límite líquido obtenidos en las muestras, los cuales oscilan entre 31.28% y el 92.14%. En las áreas central y sur del área de muestreo se encuentran los valores con mayor porcentaje de límite líquido con valores entre 76.93% a 92.14%. Alrededor de los datos más altos se encuentra el rango de 61.71% a 76.93%. En la zona norte y suroeste se observan intervalos de 46.50% a 61.71%. Y en el lado noroeste del mapa se encuentran los valores con menor porcentaje de límite líquido que tiene valores de 31.28% a 46.50%.

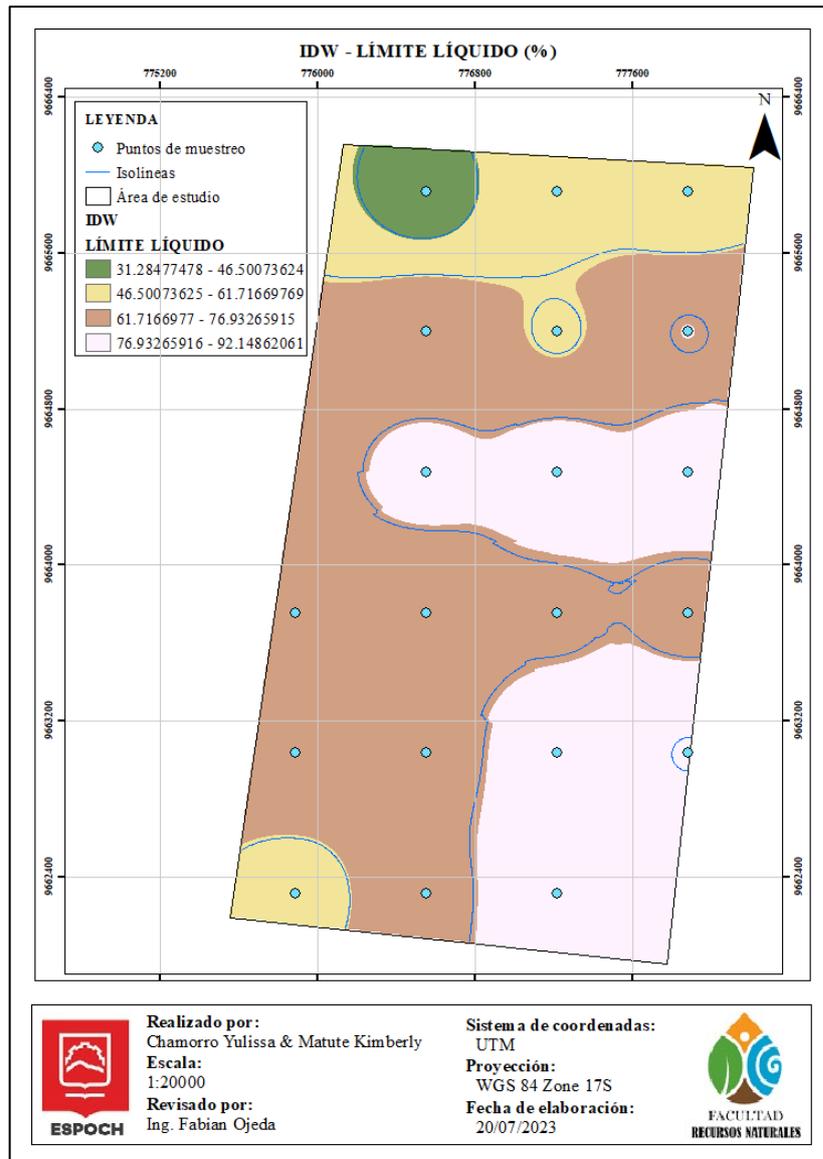


Ilustración 4-9: Mapa de interpolación del límite líquido mediante el uso IDW

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.4.7 Interpolación del límite plástico mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma

La ilustración 4-10 presenta la distribución espacial del límite plástico de los suelos muestreados, los cuales oscilan entre el 49.31% y 61.02%. Los valores más altos se encuentran en el centro del área de estudio con un rango de 59.71% a 61.02%. Estos datos decrecen gradualmente a medida que se desplazan hacia los extremos, descendiendo en 8 intervalos de 1.3013, hasta alcanzar los valores mínimos situados entre el 49.31% y el 50.61%.

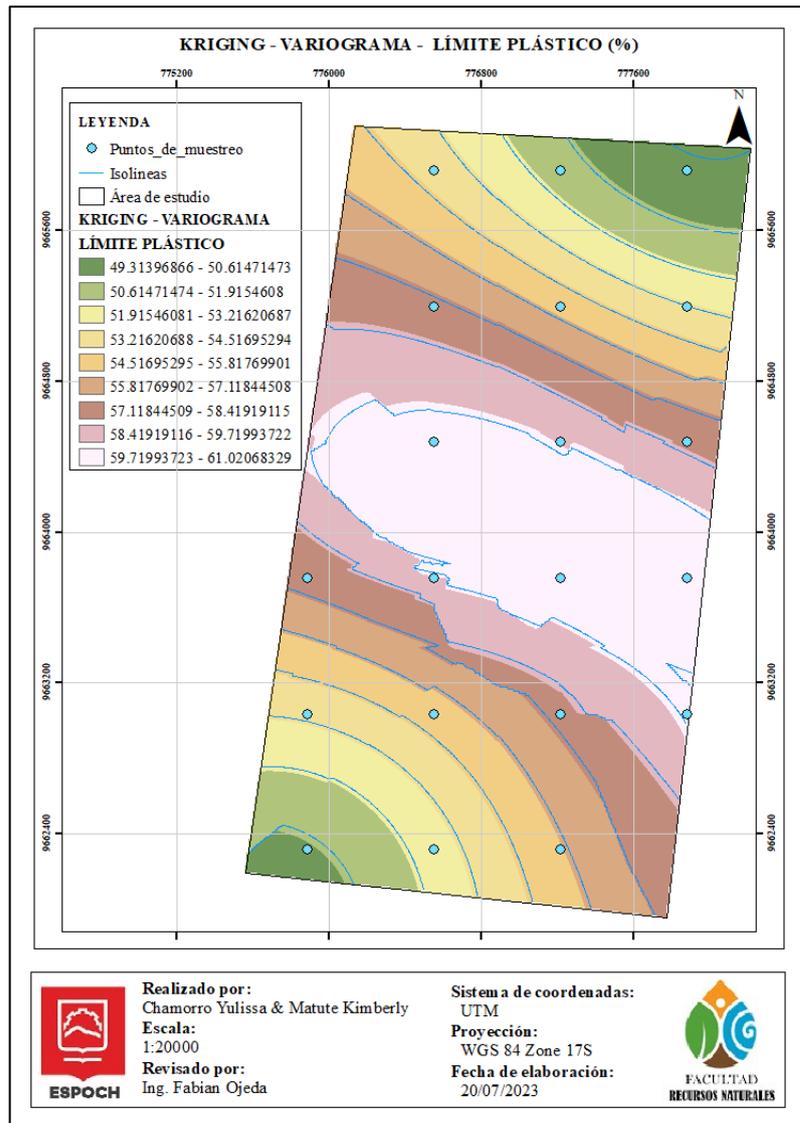


Ilustración 4-10: Mapa de interpolación del límite plástico mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.4.8 Interpolación de la densidad aparente mediante Kriging Ordinario

La ilustración 4-11 presenta la distribución espacial de la densidad aparente de los suelos muestreados, que oscilan entre el 2182.78 a 2627.18 kg/m³. Los rangos con mayor densidad aparente se encuentran en la zona sur con valores de 2577.80 a 2627.18 kg/m³, que decrecen gradualmente en 8 intervalos de 49.3767 hasta llegar a los datos con menor densidad ubicados en la zona noreste y noroeste con valores entre 2182.78 a 2232.16 kg/m³. En resumen, el mayor contenido de la densidad aparente está en la zona sur y disminuye parcialmente conforme se aleja de aquel punto.

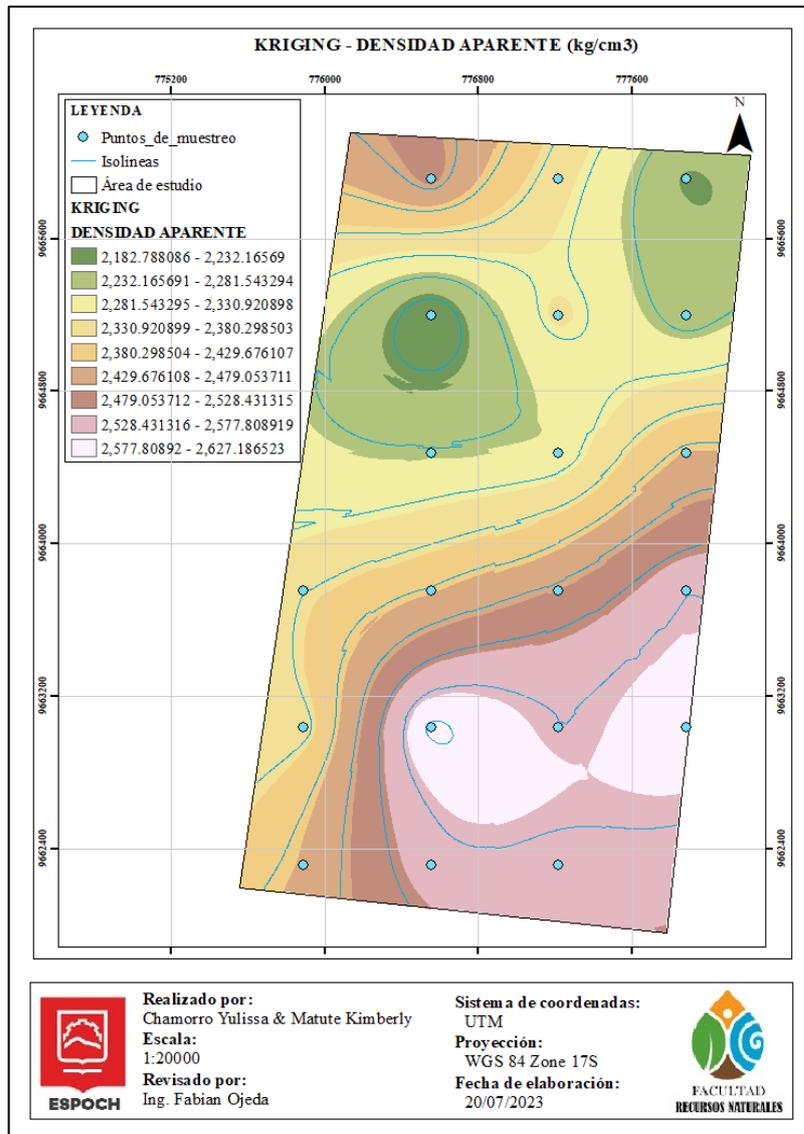


Ilustración 4-11: Mapa de interpolación de la densidad aparente mediante Kriging Ordinario

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.4.9 Interpolación de la grava mediante Kriging Ordinario

La ilustración 4-12 indica que los niveles más altos de contenido de grava (%) se localizan en los extremos noroeste y suroeste, abarcando un rango de 33.58% a 37.16%. Estos valores disminuyen gradualmente a lo largo de ocho intervalos de 3.5748 en dirección hacia el centro del área, donde se registra el menor porcentaje de grava, con valores de 4.99% a 8.56%. Evidenciando que el rango mínimo y máximo en el mapa es de 4.99% y 37.16%, respectivamente.

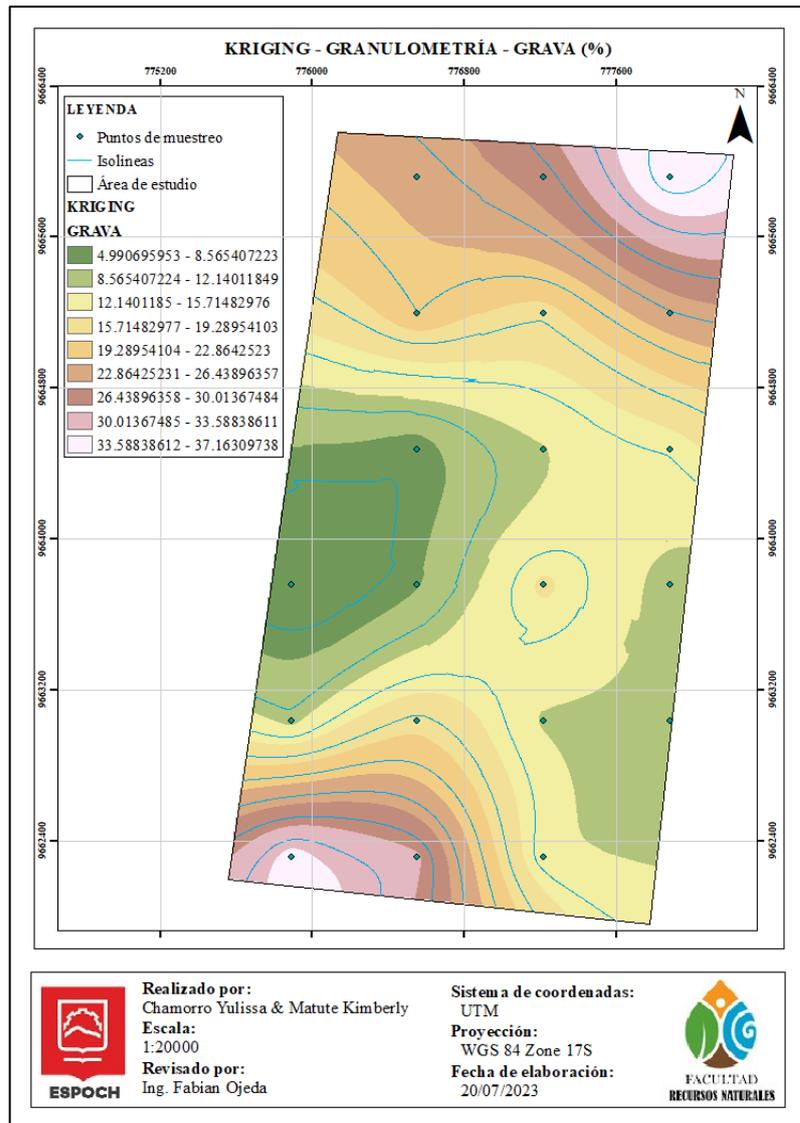


Ilustración 4-12: Mapa de interpolación de la grava mediante Kriging Ordinario

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.4.10 Interpolación de la arena mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma

En el mapa (Ilustración 4-13) se visualiza los valores de la arena (%) figurados por rangos de coloraciones. Es decir, muestra la disposición espacial de los niveles de arena variando entre el 14.60% y el 33.44%. En la región norte, se encuentran los niveles más altos de la arena, con valores que abarcan del 31.34% al 33.44%. Los datos que rodean gradualmente esta zona están en el rango del 29.25% al 27.16%, y en su descenso, el porcentaje de arena disminuye, oscilando entre el 22.97% y el 25.06%.

La región sur sigue con niveles bajos correspondiendo al 20.88% al 18.78%. Que rodean a los más bajos con intervalos que van desde el 16.69% al 14.60%. En resumen, los valores más altos se concentran en los extremos del área y disminuyen progresivamente a medida que se acercan a la parte central.

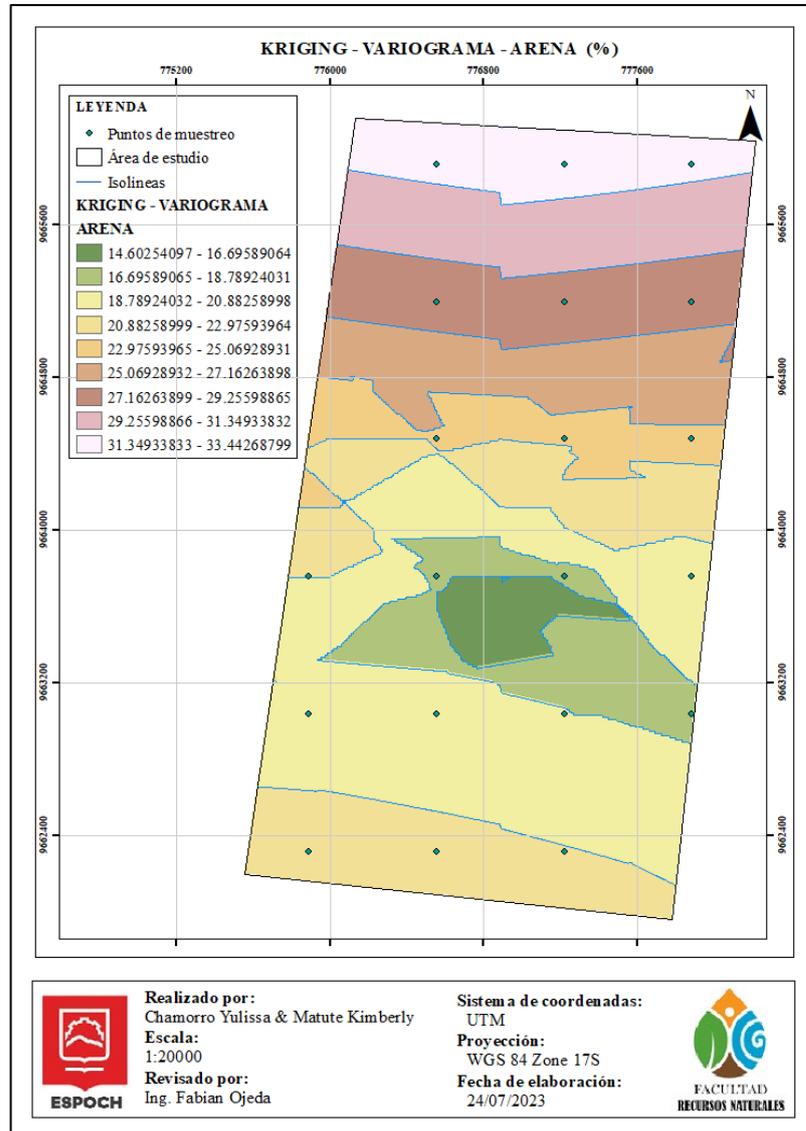


Ilustración 4-13: Mapa de interpolación del porcentaje de arena mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

4.4.11 Interpolación de finos mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma

El mapa (Ilustración 4-14) representa los valores de contenido de finos mediante rangos de colores. Es decir, exhibe la disposición espacial de los niveles de finos que varían desde el 43.63% hasta el 76.48%. En la zona norte, se observan los niveles más bajos de estos finos, con valores

que se sitúan entre el 43.63% y el 47.28%. Los valores circundantes a esta región aumentan gradualmente, abarcando un rango del 47.28% al 54.58%, y a medida que se incrementa, el porcentaje de finos oscila entre el 58.23% y el 65.53%. La región central presenta niveles más altos que van desde el 69.18% hasta el 76.48%. En síntesis, los valores de menor incidencia se concentran en los extremos y aumentan a medida que se acercan al centro.

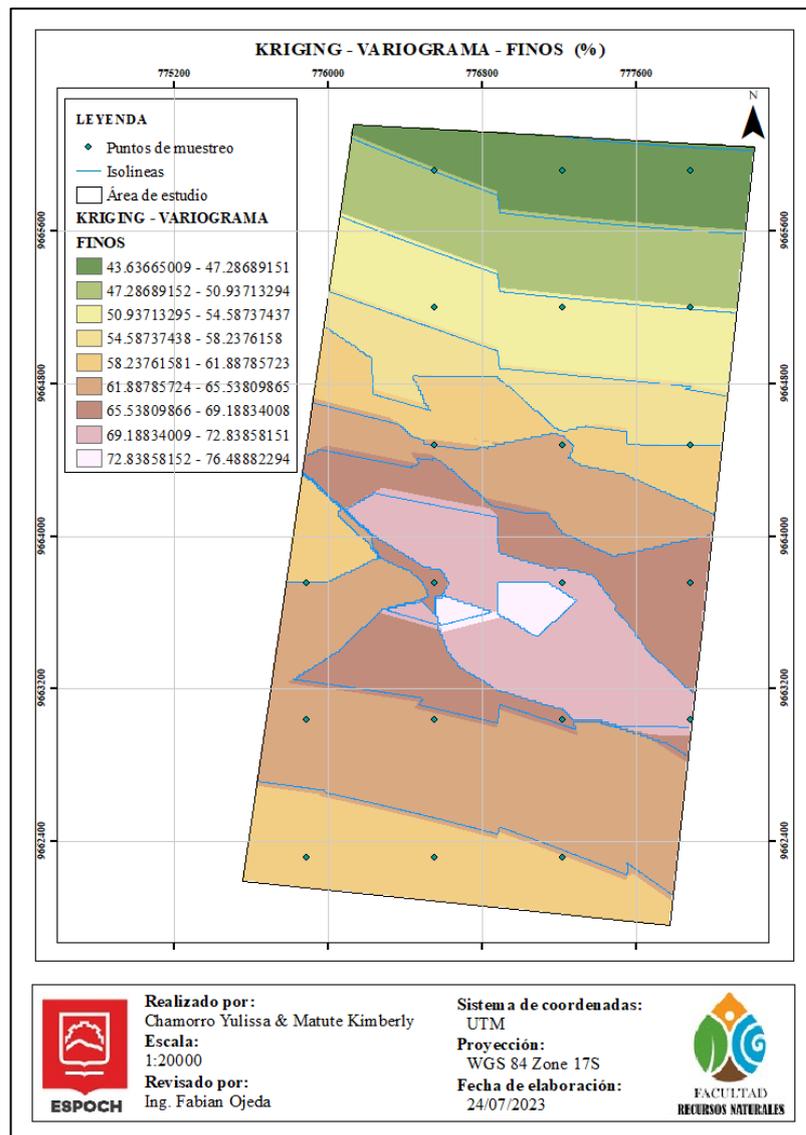


Ilustración 4-14: Mapa de interpolación del porcentaje de finos mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023

4.4.12 Interpolación del pH mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma

La ilustración 4-15 exhibe la disposición espacial del pH en los suelos que se han muestreado, presentando un rango que varía entre el 5.22 y el 5.69. Los valores más elevados se localizan en

la zona del límite superior del área de estudio, con un intervalo que va desde el 5.64 hasta el 5.53. Estos datos disminuyen de manera gradual al avanzar hacia el centro, decreciendo en intervalos de 0.052630107 llegando a los valores mínimos comprendidos entre el 5.32 al 5.22. En resumen, la propiedad química del pH disminuye conforme se acerca a la parte central del área.

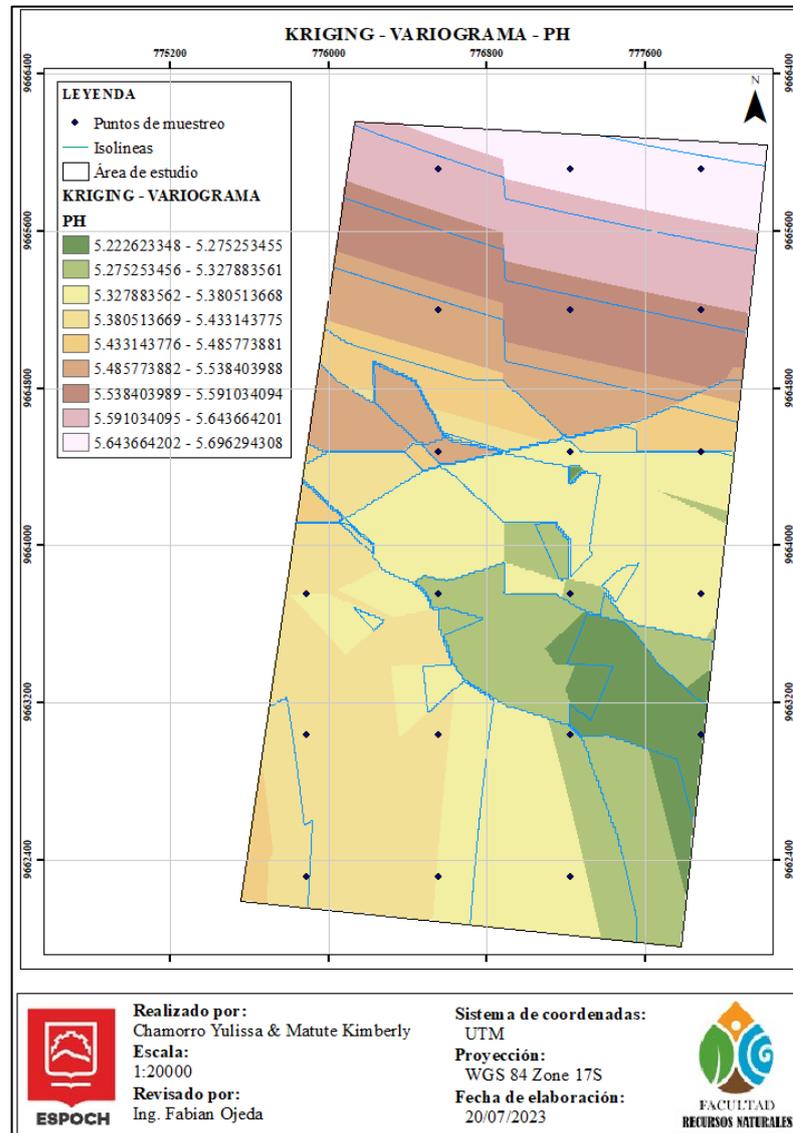


Ilustración 4-15: Mapa de interpolación del pH mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023

4.4.13 Interpolación de la conductividad eléctrica mediante Kriging Ordinario con el uso del variograma

La ilustración 4-16 muestra un mapa de distribución espacial de la conductividad eléctrica en las muestras, abarcando un rango que se extiende desde el 18.48 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta el 31.11 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores más bajos se encuentran en el centro del área de estudio, con un intervalo que oscila entre el 21.28 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el 18.48 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos datos aumentan gradualmente a los límites de la zona en intervalos de 22.69 $\mu\text{S}/\text{cm}$ al 28.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta alcanzar los valores más altos comprendidos entre el 29.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el 31.11 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En síntesis, la característica química de la conductividad eléctrica tiende a rebajar conforme se acerca a al centro del área, por ende, se plantea que en esa zona no existen metales conductores de electricidad.

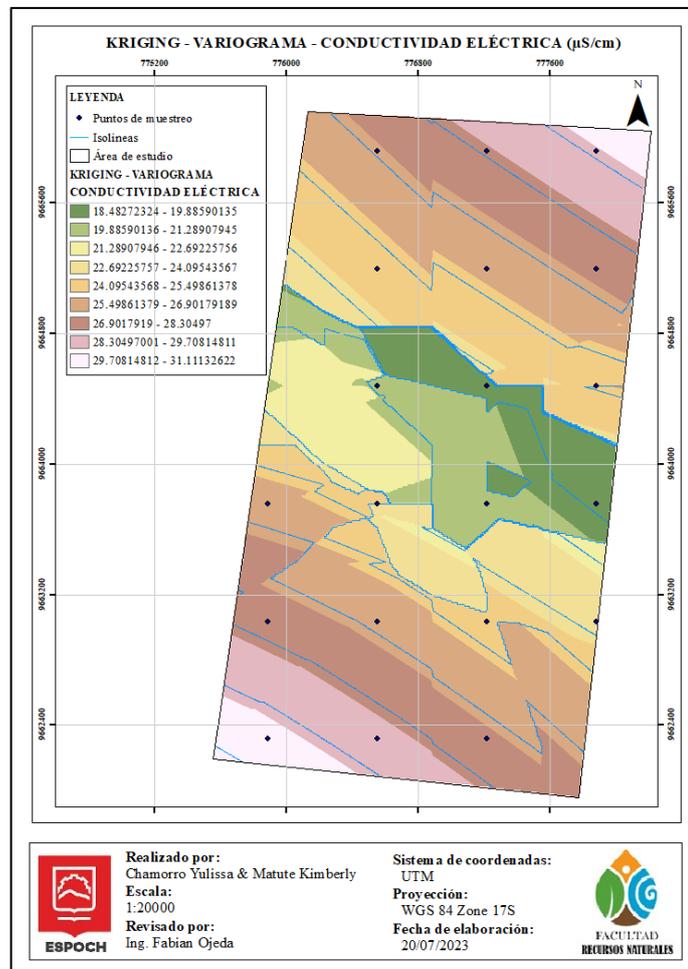


Ilustración 4-16: Mapa de interpolación de la conductividad eléctrica mediante Kriging Ordinario con el

Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly, 2023.

CONCLUSIONES

En la presente investigación se llevó a cabo a través de un muestreo sistemático que abarcó 8.82 km² ubicados en la comunidad de Piamonte. La implementación de un mallado regional en cuadrícula, con un total de 24 puntos de muestreo (equivalente a una muestra por cada 0.38 km²), permitió un análisis detallado de propiedades físico-mecánicas y químicas. Aunque se descartaron 4 puntos debido al difícil acceso, este enfoque demostró ser efectivo para evaluar parámetros clave como el contenido de humedad, los límites plástico y elástico, la densidad aparente, la composición granulométrica, el pH y la conductividad eléctrica del suelo.

Referente a la categorización de los suelos, se estableció que en la zona de investigación específicamente en los puntos 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14 y 15 se encontró un 60% de suelos con composición orgánica de limo, limo micáceo o diatomáceo, exhibiendo propiedades elásticas notables (suelos MH). De igual manera, en los sitios de 0, 1 y 23 se identificó un 15% de suelos compuestos por una combinación de limo y grava fina, así como una mezcla que abarca grava, arena y limo (suelos GM). Por otro lado, el 25% restante correspondió a las muestras 17, 18, 19, 21 y 22 de suelos que presentan una textura limosa en el caso de las arenas y combinaciones de arena y limo (suelos SM). Por otra parte, en la estadística descriptiva la falta de una tendencia definida en los histogramas indica la necesidad de realizar un mallado que permita obtener una cantidad mayor de muestras para identificar patrones subyacentes y proporcionar una comprensión más completa de las características del suelo en estudio.

Respecto a la elaboración de los mapas temáticos se utilizaron métodos de interpolación geostatísticos para estimar valores en los espacios no muestreados y de esa forma representar esas estimaciones de manera gráfica. Por el uso de estas técnicas de estimación, la implementación de la validación cruzada permitió determinar cuál de los tres métodos disponibles, presenta el menor índice de error. Dando como resultado que, para estimar el contenido de humedad y la densidad, se optó por el método de Kriging Ordinario. Para el límite líquido, se aplicó el método de IDW. En lo que respecta a la grava, se utilizó el enfoque de Kriging. En cuanto al límite plástico, la arena, los finos, el pH y la conductividad eléctrica, se determinó que el enfoque de Kriging-Variograma resulta en el menor error.

En relación con la estimación del contenido de humedad, se reveló una tendencia de valores superiores en la zona central, con una amplitud que fluctúa entre 101.02% y 125.94%. Lo mismo para el límite plástico, con valores más elevados en la zona central del área de investigación, presentando un intervalo que va desde el 59.71% hasta el 61.02%. Por otra parte, el porcentaje

del límite líquido concentra los niveles más significativos en la región central y sur del área de muestreo, presentando valores predominantes en el rango del 76.93% al 92.14%. En cambio, en la región sur, los valores más altos de densidad aparente oscilan entre 2577.80 y 2627.18 kg/m³.

En lo que concierne a la granulometría, se observan niveles más elevados de contenido de grava (%) en las zonas extremas, tanto en el noroeste como en el suroeste, con un intervalo que se extiende desde 33.58% hasta 37.16%. Del mismo modo, en la región norte, la arena presenta valores comprendidos entre el 31.34% y el 33.44%. En cuanto a la fracción de finos, en la región central se registran los índices más altos, que varían desde el 69.1883% hasta el 76.48%. Finalmente, los valores de pH más altos se hallan en la parte superior del área de estudio, variando entre 5.64 y 5.53. En términos de conductividad eléctrica, el intervalo más elevado se localiza en las franjas superiores de la zona, abarcando valores que van desde 29.7081 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 31.11 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Concluyendo con estas características el estudio planteado.

RECOMENDACIONES

Para la investigación de las propiedades del suelo en un área menor se recomienda utilizar un sistema de muestreo detallado, conocido como mallado local, que se adapte específicamente a la superficie del terreno que se desea analizar.

Para evitar la pérdida de información se recomienda llevar a campo impresas etiquetas que permitan la identificación de cada una de las muestras.

Comparar el comportamiento de los tres tipos de suelo en términos limos inorgánicos (MH), gravas limosas (GM) y arenas limosas (SM) para analizar cómo difieren en términos de deformación y resistencia para evaluar su idoneidad en proyectos de ingeniería civil y geotécnica.

Agrupar los datos obtenidos para mantener una organización adecuada con el fin de disminuir el tiempo empleado en la realización de los mapas temáticos.

Para realizar la validación cruzada se recomienda eliminar un punto central para obtener mayor precisión al momento de realizar la interpolación.

BIBLIOGRAFÍA

ABAD ENCALADA, Ivan Oswaldo. Estimación de precipitación espacial mediante correlación con variables secundarias y la ayuda de tecnologías de información geográficas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Posgrado). Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador. 2014. pág. 43. [Consulta: 2023-05-21]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/19857/1/Tesis.pdf>.

ACEVEDO, Edmundo; et al. “Informe de criterios de calidad de suelo agrícola”. *Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile*, (2005), (Santiago), pág. 205.

AGROCALIDAD. *Muestreo para análisis de suelos INT/SFA/10*. [en línea]. 2018. [Consulta: 9 abril 2023]. Disponible en: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/agua8.pdf>.

ALEHYEN, Sali; et al. “Characterization, microstructure and properties of fly ash-based geopolymer”. *Journal of materials and environmental sciences* [en línea], 2017, (Marruecos) vol. 8, (5), págs. 1783-1796. [Consulta: 29 mayo 2023]. ISSN 2028-2508. Disponible en: https://jmaterenvirosci.com/Document/vol8/vol8_N5/190-JMES-2930-Alehyen.pdf

ARBITO CHICA, David Andrés. Aplicabilidad del penetrómetro cónico en la determinación del límite líquido. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador. 2019. pág. 24. [Consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/32279/1/Aplicabilidad%20del%20Penetr%20c%20metro%20C%20c%20nico%20en%20la%20determinaci%20n%20del%20L%20c%20admi%20te%20L%20c%20adquido.pdf>

ASTIER CALDERÓN, Marta; et al. “Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable”. *Agrociencia* [en línea], 2002, (México), vol. 36, pág. 128. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/302/30236511.pdf>.

ASTM D422-63 (2007). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*.

AYALA DEL TORO, Yelitza; et al. *Manual de Ensayos para Laboratorio: Agregados (AG) para mezclas asfálticas*. [En línea]. Ciudad de México-México: INSTITUTO MEXICANO DEL

TRANSPORTE, 2019. [Consulta: 3 junio 2023]. Disponible en: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt551.pdf>.

BABY, Patrice; et al. 1997. *Modelo Estructural de la parte norte de la cuenca Oriente Ecuatoriana*. [en línea]. Quito-Ecuador: 1997. [Consulta: 17 mayo 2023]. Disponible en: https://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/pleins_textes_6/griseli1/010015385.pdf.

BARAJAS, Das. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Ciudad de México-México: 2001, pág. 2.

BOGGS, Joe; et al. *Soil Testing for Ohio Lawns, Landscapes, Fruit Crops, and Vegetable Gardens*. [blog] [consulta: 16 mayo 2023]. Disponible en: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/hyg-1132>.

BURROUGH, P. “GIS and geostatistics: Essential partners for spatial analysis. *Environmental and Ecological Statistics*” [En línea], 2001, (Alemania), vol. 8 (4), pág. 365. [Consulta: 15 julio 2023]. ISSN 13528505. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1012734519752#citeas>.

CALERO, Kevin; et al. “MODELOS DE DEPÓSITOS TIPO VHMS PARA LAS DIVISIONES DE LA CORDILLERA REAL: ALAO Y SALADO”. *FIGEMPA* [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 11 (1), pág. 4. [Consulta: 17 mayo 2023]. ISSN-i 1390-7042. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/view/2664/3777>

CAMARGO VASQUEZ, Stewart & DURÁN VERGARA, Juan Sebastián. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE BAJA PLASTICIDAD MEDIANTE EL USO DEL CEMENTO PARA CAPA DE RODADURA EN VÍAS TERCARIAS. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Cartagena. Cartagena de Indias-Colombia. 2018. págs. 24-25. [Consulta: 2023-07-22]. Disponible en: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/7089/TESIS%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CASTILLO CERNA, Carmen Margarita. SELECCIÓN Y CALIBRACIÓN DE INDICADORES LOCALES Y TÉCNICO PARA EVALUAR LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS LADERAS, EN LA MICROCUENCA CUSCAMÁ EL TUMA - LA DALIA

MATAGALPA, 2005. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional Agraria, Managua-Nicaragua. 2005. pág. 13. [Consulta: 2023-05-13]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/1094/1/tnp35c352.pdf>

CEVALLOS LUNA, Andrés Sebastián. Determinación del límite líquido y plástico de los suelos mediante el uso del penetrómetro cónico. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado) PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, Quito - Ecuador. 2012. págs. 53-54. [Consulta:2023-05-2018]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6403/9.20.001327.pdf>

CHICA, Mario. *Geoestadística y modelos matemáticos en hidrogeología.* [en línea]. Castelló de la Plana-España: Universitat Jaume I, 2003. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en: <https://books.google.com.bo/books?id=8X3F4yZ-9DwC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

CUANDOVISITAR. *Pan de Azúcar tiempo, clima y mejor momento para viajar.* [blog]. [Consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://www.cuandovisitar.com/ec/ecuador/pan-de-azucar-1184985/>.

DÍAZ VIERA, Martín. 2002. *Geoestadística Aplicada.* Ciudad de México-México, 2002, pág. 1.

DORAN, J; et al. “Defining soil quality for a sustainable environment”. *Madison*, (1994), (United State of America). págs 1-21.

DUQUE, Gonzalo & ESCOBAR, Carlos Enrique. *ESTRUCTURA DEL SUELO Y GRANULOMETRÍA* [en línea]. Bogotá-Colombia, 2016. [Consulta: 17 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/geomecanica.pdf?sequence=15&isAllowed=y>.

FLORES DELGADILLO, Lourdes & ALCALÁ MARTÍNEZ, Jorge René. *Manual de Procedimientos Analíticos* [en línea]. Ciudad de México – México: Universidad Nacional Autónoma De México, 2010. [Consulta: 13 abril 2023]. Disponible en: <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/lfs/manualLFS.pdf>

GARCIA, Yoansy; et al. “Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso”. *Pastos y Forrajes* [en línea], 2012, (Cuba) vol.35 (2), págs. 125-138. [Consulta: 2023-05-09]. ISSN 0864-0394. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&nrm=iso

GAMERO BURÓN, Carlos. *Estadística I: elementos de estadística descriptiva y de teoría de la probabilidad* [en línea]. Málaga-España: Servicio de Publicaciones y Divulgación Científica de la Universidad de Málaga, 2017. [Consulta: 17 julio 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/60724>.

GIRALDO HENAO, Ramón. *Introducción a la Geoestadística* [en línea]. Bogotá- Colombia: Departamento de Estadística-Universidad Nacional de Colombia, 2021. [Consulta: 21 mayo 2023]. Disponible en: https://geoinnova.org/wp-content/uploads/2021/08/LIBRO_-DE-GEOESTADISTICA-R-Giraldo.pdf.

GONZÁLES DE VALLEJO, Luis; et al. *Ingeniería Geológica*. Madrid-España: PEARSON Prentice Hall, 2002, pág. 22.

GONZÁLEZ RUIZ, Rosa María; et al. “Análisis geoestadístico del coeficiente de corrección por accesibilidad a núcleos de población en las valoraciones urbanísticas en España”. *EURE (Santiago)* [en línea], 2019, (Chile), vol. 45 (134), pág. 136. [Consulta: 16 abril 2023]. ISSN 0250-7161. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612019000100125

GRISO, Robert; et al. “Precision farming tools. soil electrical conductivity”. Virginia Cooperative Extension [en línea], 2005, (Virginia), págs. 2-6. [Consulta: 2023-05-08]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/285309866_Precision_Farming_Tools_Soil_Electrical_Conductivity_Virginia_Cooperative_Extension

GUTIÉRREZ, Joan Sebastian; et al. “Potencial en el uso de las propiedades químicas como indicadores de calidad de suelo”. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* [en línea], 2017, (Colombia), vol. 11 (2), pág. 452. [Consulta: 8 mayo 2023]. ISSN 2422-3719. Disponible en: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/2851/PPS_1477_Potencial_uso_propiedade_s_quimicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

HOSSEINI-DINANI, Hengamenh; et al. “Sampling Density in Regional Exploration and Environmental Geochemical Studies”. *Natural Resources Research* [en línea], 2019, vol. 28 (3). [Consulta: 12 agosto 2023]. ISSN 1520-7439. Disponible en: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/SS402>

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO. *Mapas Temáticos 1: 100.000. Hoja Geológica Gonzanamá* [Blog]. 2017. [Consulta: 18 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-tematicos-1-100-000/>

JUÁREZ BADILLO, Eulalio & RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. *Mecánica de Suelos* [en línea]. 1ª ed. D.F- México: Limusa, 2005. [Consulta: 18 abril 2023]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=3OPOaDHQC8wC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

LAGRINI, Khaoula; et al. “Application of geographical information system (GIS) for the development of climatological air temperature vulnerability maps: An example from Morocco”. *Meteorological Applications* [en línea], 2020, vol. 27, (1). [Consulta: 22 agosto 2023]. ISSN 1350-4827. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/met.1871>

LIDUEÑAS LÓPEZ, Yajaira & MORENO CARRASCA, Yuraine. Caracterización de los efectos de la quema en algunas comunidades biológicas de un vertisol de tres zonas en el departamento de sucre, Colombia. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Sucre, Facultad de Educación y Ciencia. Sincelejo-Colombia. 2019. págs. 1-118. [Consulta: 2023-05-15]. Disponible en: <https://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/1665>

LITHERLAND, Martin; et al. “The Metamorphic Belts of Ecuador”. *Overseas Memoir of The British Geological Survey* [en línea], 1994, (Ecuador), vol. 1 (11), págs. 1-168. [Consulta: 17 julio 2023]. Disponible en: <https://archive.org/details/1994-litherland-los-cinturones-metamorficos-del-ecuador-sp/page/n7/mode/1up?view=theater&q=formacion+napo>

MÁXIMO HIDALGO, Andrés; et al. “Actualización Del Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial De La Parroquia Pan Azúcar”. *Junta Parroquial Pan de Azúcar* [en línea], 2015, (Ecuador), págs. 1-22. [Consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://docplayer.es/87381777-Actualizacion-del-plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-de-la-parroquia-pan-azucar.html>

MAYCOTTE MORALES, Carlos César. “Edafogafía 1”. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo* [en línea], 2011, (México), págs. 1-168. [Consulta: 21 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>

MENDOZA, Reynaldo & ESPINOZA, Ariel. “Guía técnica para muestreo de suelos”. *Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services* [en línea], 2017, (Nicaragua), págs. 1-56. [Consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>

MEZA MORI, Gerson. Análisis de la distribución espacial de parámetros físico-químicos en el suelo aplicando SIG, Utcubamba, Amazonas, Perú. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Chachapoyas-Perú. 2019. págs. 1-81. [Consulta: 2023-07-20]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14077/1960>

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS. “La Troncal Amazónica”. *Ministerio de Transporte y Obras Públicas* [en línea], 2012, (Ecuador), págs. 1-2. [consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/TRONCAL_AMAZONICA.pdf

MINITAB. *Interpretar los resultados clave para Histograma.* [blog]. [Consulta: 19 julio 2023]. Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/graphs/histogram/interpret-the-results/key-results/>

MONROY SALDÍVAR, Salvador. *Estadística descriptiva* [en línea]. México: Instituto Politécnico Nacional, 2008. [Consulta: 17 julio 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/74722>

MOSQUERA CADENA, Leonardo Andrés. Correlación geológica, geoquímica y geofísica en Sistemas Tipo Pórfido Cuprífero de la zona oeste del cantón Centinela del Cóndor. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Quito-Ecuador. 2020. págs. 1-142. [Consulta: 2023-07-17]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21103>

MYLAVARAP, Rao & LEE DANIEL, Won Suk. *UF/IFAS NUTRIENT MANAGEMENT SERIES: SOIL SAMPLING STRATEGIES FOR PRECISION AGRICULTURE.* [Blog] Florida:

University of Florida, 2020. [Consulta: 13 mayo 2023]. Disponible en: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/SS402>

NARANJO CALLE, Silvia Katalina. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E HIDROFÍSICOS DEL SUELO EN EL PROYECTO “ACUERDOS RECÍPROCOS POR AGUA” DE EMAPAL-EP. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador. 2017. pág. 19. [Consulta: 2023-04-25]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28124>

ORTIZ ALTAMIRANO, Robert Alexander. Estudio geológico y geotécnico para delimitar zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa, en el área urbana del Cantón San Juan Bosco. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas-Ecuador. 2020. [Consulta: 2023-07-17]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15365>

OYALA, Victor. *Sistemas de Información Geográfica* [en línea]. Polonia, 2020. [Consulta: 3 julio 2023]. Disponible en: <https://pcsitna.navarra.es/archivo/Documents/Sistemas.de.Informacion.Geografica.pdf>

PANAGOPOULOS, Thomas & ANTUNES, Maria Dulce. “Integrating Geostatistics and GIS for Assessment of Erosion Risk on Low Density Quercus suber Woodlands of South Portugal”. *Arid Land Research and Management* [en línea], 2008, vol. 22 (2), págs. 1-20. [Consulta: 5 de mayo 2023]. ISSN 1532-4982. Disponible en: <https://sci-hub.se/10.1080/15324980801958000>

PANAGOPOULOS, Thomas & ANTUNES, Maria Dulce. “Integrating Geostatistics and GIS for Assessment of Erosion Risk on Low Density Quercus suber Woodlands of South Portugal”. *Arid Land Research and Management* [en línea], 2008, (Portugal) vol. 22 (2), pág. 162. [Consulta: 3 de mayo 2023]. ISSN 1532-4982. Disponible en: <https://sapientia.ualg.pt/handle/10400.1/6467>

POSADA HERNÁNDEZ, Gabriel Jaime. *Elementos básicos de estadística descriptiva para el análisis de datos* [en línea]. Medellín-Colombia: Universidad Católica Luis Amigó, 2016. [Consulta: 17 julio 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/espoch/127436>

PROSAP. *R 017- Medida De La Salinidad De Un Suelo.* [blog]. [Consulta: 11 agosto 2023]. Disponible en:

<http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20R017%20Medida%20de%20la%20salinidad%20de%20un%20suelo.pdf>

PUJUPAT ALVARADO, Erika Joana. Estudio geotécnico para la construcción de obras civiles: espacio cubierto, edificación para aulas y laboratorios, ubicados en el terreno de la ESPOCH extensión Morona Santiago. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Macas-Ecuador. 2022. pág. 43. [Consulta: 29 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/17544>

RAMOS AZCUY, Fridel Julio & GUERRA BRETaña, Rosa Mayelin. *Introducción a los métodos estadísticos* [en línea]. La Habana-Cuba: Editorial Universitaria, 2019. [Consulta: 19 julio 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esepoch/123793>

RIVERA, Evelin; et al. “pH como factor de crecimiento en plantas”. *Revista de Iniciación Científica* [en línea], 2018, vol. 4(1), pág. 101. [Consulta: 5 de mayo 2023]. ISSN 2413-6786. Disponible en: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1829>

ROMERO VILLAFRANCA, Rafael & ZÚNICA RAMAJO, Luisa. *Métodos estadísticos para ingenieros* [en línea]. Valencia-España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2020. [Consulta: 15 agosto 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esepoch/129644?page=19>

ROMEUF, Nathalie; et al. “Middle Jurassic volcanism in the Northern and Central Andes”. *INGEMMET* [en línea], 1995, (Chile), vol. 22 (2), págs 245-249. [Consulta: 10 julio 2023]. Disponible en: <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/RGC22-245.pdf>

RUBIO GUTIÉRREZ, Ana María. La Densidad Aparente En Suelos Forestales Del Parque Natural Los Alcornocales. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Sevilla, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. 2010. págs. 1-88. [Consulta: 2023-05-15]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/57951>

SORIANO SOTO, María Desamparados. “Conductividad eléctrica del suelo”. *Universitat Politècnica de València Públicas* [en línea], 2018, (España), págs. 1-10. [Consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/105110>

TOIRAC CORRAL, José. “Caracterización Granulométrica de las Plantas Productoras de Arena en la República Dominicana, su Impacto en la Calidad y Costo del Hormigón”. *Ciencia y Sociedad* [en línea], 2012, (República Dominicana), vol. 37 (3), págs. 293-334. [Consulta: 16 de abril de 2023]. ISSN: 0378-7680. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87024622003.pdf>

VARGAS RAMIREZ, Andrés Felipe; et al. “Relación entre el PH y las mediciones de conductividad eléctrica en un suelo cultivable ubicado en Medellín, Colombia”. *Ingenierías USBMed* [en línea], 2022, (Colombia), vol. 13 (2), págs. 56-62. [Consulta: 16 de mayo de 2023]. ISSN 2027-5846. Disponible en: <https://doi.org/10.21500/20275846.4706>

VILLARROEL, Pablo & CARRASCO, Ramón. “Aplicación de modelos geoestadísticos a datos de ensayos de cono dinámico DPSH Grizzly® realizados en suelos potencialmente licuables en el sector norte de la ciudad de Punta Arenas”. *Obras y Proyectos* [en línea], 2022, (Chile), (31), págs. 45-51. [Consulta: 18 de mayo de 2023]. ISSN 0718-2813. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-28132022000100045>

VILLARROEL ULLOA, Pablo Sebastián. Estudios del Control de Compactación de Tranques de Relaves Mineros Utilizando Modelos Geoestadísticos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles. Valparaíso-Chile. 2018. págs. 1-80. [Consulta: 2023-06-20]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/42311?show=full>

VILLATORO, Mario; et al. “Comparación de los interpoladores IDW Y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo”. *Agronomía Costarricense* [en línea], 2008, vol. 32 (1), págs. 95-105. [Consulta: 16 agosto 2023]. ISSN: 0377-9424. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43632109>

WILKS, D.S. “Empirical Distributions and Exploratory Data Analysis”. *Elsevier* [en línea], 2011, vol. 100, págs. 23-70. [Consulta: 21 de septiembre 2023]. Disponible en: <https://sci-hub.se/10.1016/B978-0-12-385022-5.00003-8>

WU, Daoxiang; et al. “Study on Correlation of Physical and Mechanical Properties Indexes of Cohesive Soil in Hilly and Plain Region along the Yangtze River in Anhui Province”. *Journal of Physics: Conference Series* [en línea], 2022, vol. 2148 (1), págs. 1-6. [Consulta: 23 de octubre

2023]. ISSN 1742-6588. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2148/1/012019/pdf>

YARASCA BEJARANO, José Luis. Modelo sistémico para evaluar la recuperación de suelos contaminados por plomo en el distrito de Concepción. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Posgrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Sistemas. Huancayo-Perú. 2015. Págs. 1-101. [Consulta: 2023-09-26]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1481>

ZHANG, Yue; et al. “Estimating temporal changes in soil pH in the black soil region of Northeast China using remote sensing”. *Computers and Electronics in Agriculture* [en línea], 2018, vol. 154, págs. 204-212. [Consulta: 26 de octubre 2023]. ISSN 0168-1699. Disponible en: <https://sci-hub.se/10.1016/j.compag.2018.09.005>

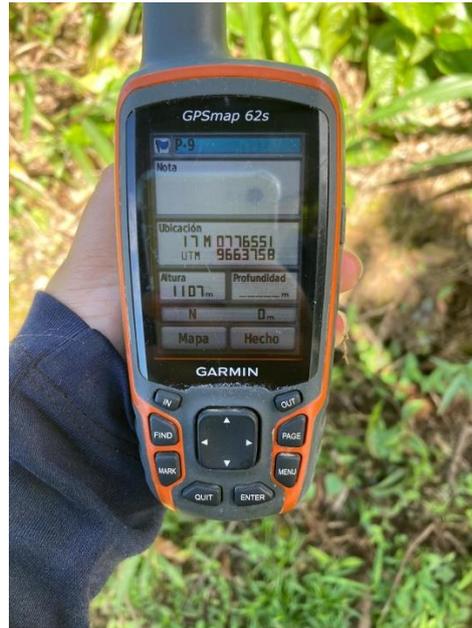


ANEXOS

ANEXO A: USO DEL GPS PARA LA UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO



P-6



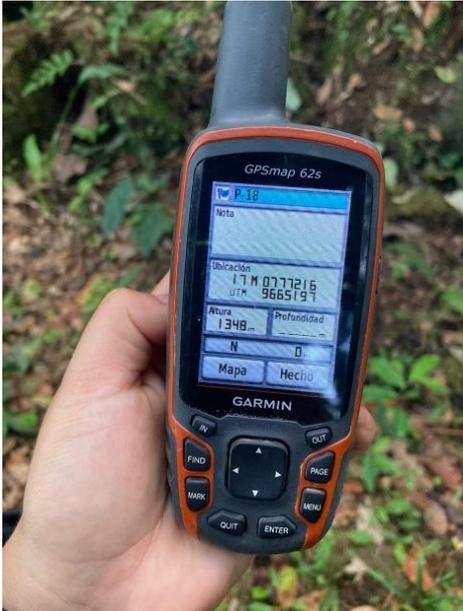
P-9



P-10



P-14



P-18



ANEXO A: ENSAYOS DE LABORATORIO



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-0
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	60.30	51.28	15.87	25.47	26.20
	2	58.56	49.58	16.22	26.92	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

34	3	63.54	48.93	17.09	45.89	47.08
23	4	50.62	39.19	15.17	47.59	
14	5	39.38	31.78	16.27	49.00	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	14.10	13.02	9.76	33.13	33.74
	7	14.82	13.53	9.70	33.68	
	8	13.07	11.90	8.50	34.41	

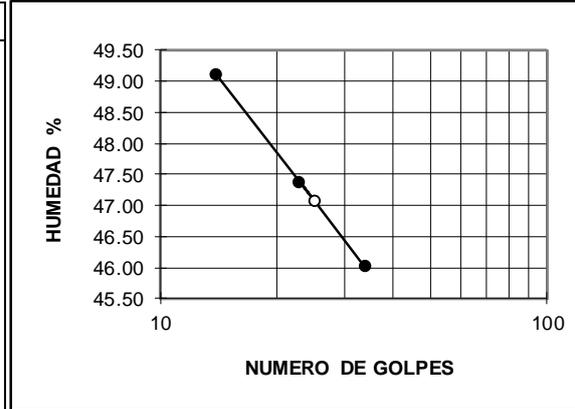
Peso de la muestra húmeda	419.61 g
Peso de la muestra seca	322.10 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"	49.56g	15.39	84.61
3/4"	68.79g	21.36	78.64
1/2"	87.42g	27.14	72.86
3/8"	100.99g	31.35	68.65
No 4	150.90g	46.85	53.15
No 10	193.36g	60.03	39.97
No 40	236.97g	73.57	26.43
No 200	272.60g	84.63	15.37

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	47%	L. Líquido	47.1%	SUCS	GM
Arena	38%	L. Plástico	33.7%	AASHTO	A-2-7
Finos	15%	I. Plástico	13.3%	IG.	1



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-1
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	55.04	42.92	15.51	44.22	44.42
	2	64.35	49.74	17.00	44.62	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

33	3	22.33	14.19	2.92	72.23	73.12
23	4	22.41	14.16	2.94	73.53	
13	5	24.10	14.98	2.80	74.88	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	14.16	12.60	9.65	52.88	52.35
	7	12.91	11.51	8.85	52.63	
	8	14.83	13.14	9.86	51.52	

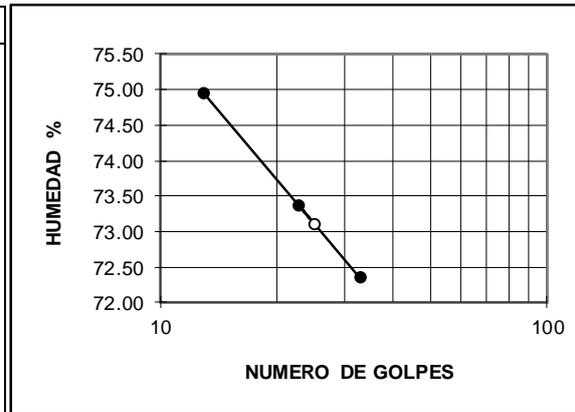
Peso de la muestra húmeda	300.58 g
Peso de la muestra seca	197.72 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"	39.30g	19.88	80.12
3/8"	50.17g	25.37	74.63
No 4	79.61g	40.26	59.74
No 10	102.69g	51.94	48.06
No 40	127.72g	64.60	35.40
No 200	147.08g	74.39	25.61

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	40%	L. Líquido	73.1%	SUCS	GM
Arena	34%	L. Plástico	52.3%	AASHTO	A-2-7
Finos	26%	I. Plástico	20.8%	IG.	4



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-2
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	44.77	32.51	16.81	78.09	79.12
	2	44.01	30.97	14.70	80.15	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

35	3	36.67	26.96	16.14	89.74	91.22
24	4	40.81	29.56	17.27	91.54	
14	5	26.64	22.00	17.04	93.55	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	18.72	17.27	14.84	59.67	59.42
	7	13.73	12.21	9.66	59.61	
	8	13.19	11.81	9.47	58.97	

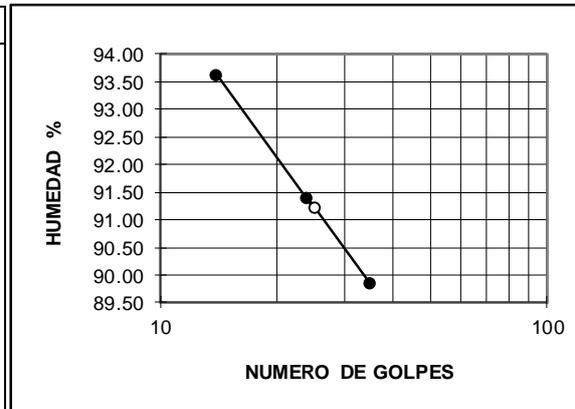
Peso de la muestra húmeda	351.96 g
Peso de la muestra seca	186.09 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"	2.06g	1.11	98.89
3/8"	2.06g	1.11	98.89
No 4	6.94g	3.73	96.27
No 10	12.15g	6.53	93.47
No 40	21.00g	11.29	88.71
No 200	32.75g	17.60	82.40

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	4%	L. Líquido	91.2%	SUCS	MH
Arena	14%	L. Plástico	59.4%	AASHTO	A-7-5
Finos	82%	I. Plástico	31.8%	IG.	20



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-4
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	58.53	39.73	17.49	84.53	83.75
	2	48.14	34.07	17.11	82.96	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

34	3	30.76	19.24	3.03	71.07	74.02
24	4	20.47	12.97	2.96	74.93	
14	5	16.36	10.47	2.99	78.74	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	13.90	12.42	9.98	60.66	60.53
	7	12.33	10.99	8.78	60.63	
	8	12.97	11.74	9.70	60.29	

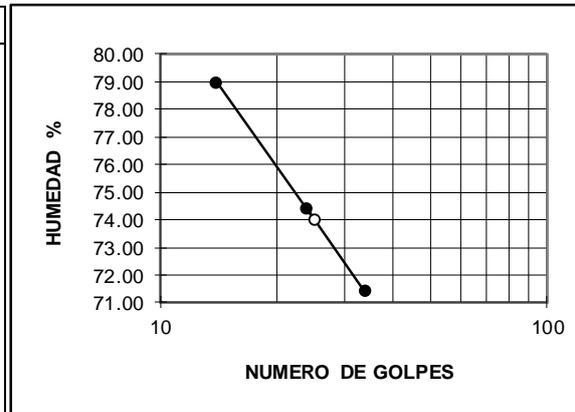
Peso de la muestra húmeda	326.92 g
Peso de la muestra seca	167.51 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"		0.00	100.00
3/8"		0.00	100.00
No 4	0.41g	0.24	99.76
No 10	2.47g	1.47	98.53
No 40	8.74g	5.22	94.78
No 200	16.66g	9.95	90.05

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	0%	L. Líquido	74.0%	SUCS	MH
Arena	10%	L. Plástico	60.5%	AASHTO	A-7-5
Finos	90%	I. Plástico	13.5%	IG.	13



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-5
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	50.39	38.28	14.95	51.91	51.05
	2	48.75	38.22	17.24	50.19	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

33	3	24.58	15.62	2.81	69.95	72.03
23	4	20.73	13.24	2.98	73.00	
12	5	14.18	9.26	2.84	76.64	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	12.00	10.76	8.56	56.36	56.85
	7	13.87	12.06	8.86	56.56	
	8	15.06	12.64	8.44	57.62	

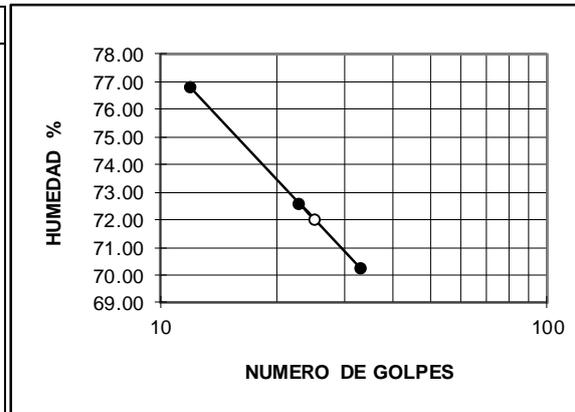
Peso de la muestra húmeda	340.90 g
Peso de la muestra seca	215.28 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"		0.00	100.00
3/8"	23.22g	10.79	89.21
No 4	48.88g	22.71	77.29
No 10	64.80g	30.10	69.90
No 40	83.18g	38.64	61.36
No 200	100.96g	46.90	53.10

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	23%	L. Líquido	72.0%	SUCS	MH
Arena	24%	L. Plástico	56.8%	AASHTO	A-7-5
Finos	53%	I. Plástico	15.2%	IG.	8



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-6
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	51.58	39.10	15.71	53.36	52.76
	2	55.21	41.59	15.48	52.16	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

30	3	33.99	25.73	15.87	83.77	86.03
24	4	36.76	27.60	17.11	87.32	
14	5	38.94	28.74	17.51	90.83	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	13.49	11.82	8.76	54.58	54.81
	7	13.40	11.83	8.96	54.70	
	8	13.33	11.62	8.52	55.16	

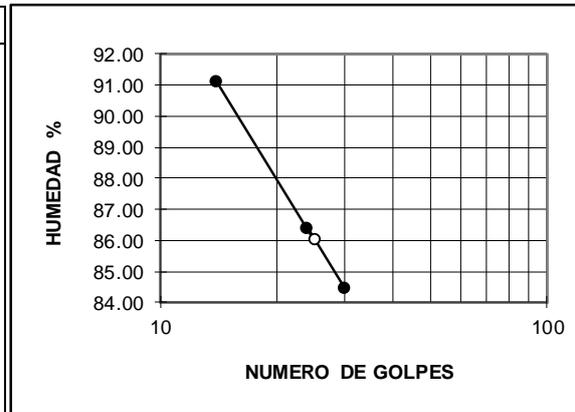
Peso de la muestra húmeda	307.94 g
Peso de la muestra seca	191.17 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"		0.00	100.00
3/8"	5.07g	2.65	97.35
No 4	12.50g	6.54	93.46
No 10	18.67g	9.77	90.23
No 40	28.10g	14.70	85.30
No 200	40.90g	21.39	78.61

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	7%	L. Líquido	86.0%	SUCS	MH
Arena	15%	L. Plástico	54.8%	AASHTO	A-7-5
Finos	79%	I. Plástico	31.2%	IG.	20



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-7
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	49.52	37.92	17.09	55.69	55.51
	2	50.17	38.50	17.41	55.33	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

33	3	38.77	28.08	16.23	90.21	92.15
23	4	34.45	25.32	15.51	93.07	
14	5	32.75	25.06	17.01	95.53	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	13.67	12.07	9.52	62.75	63.32
	7	13.48	11.67	8.85	64.18	
	8	12.52	10.90	8.33	63.04	

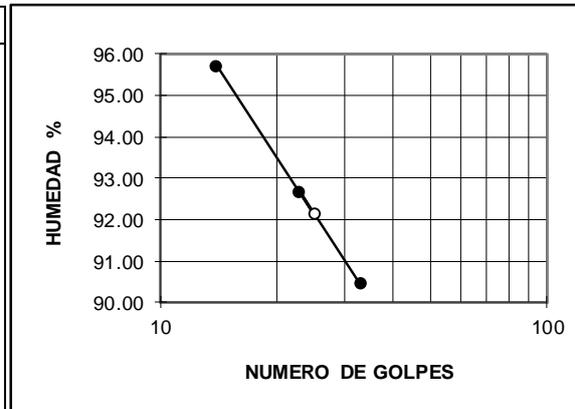
Peso de la muestra húmeda	305.15 g
Peso de la muestra seca	185.81 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"		0.00	100.00
3/8"	5.53g	2.98	97.02
No 4	22.12g	11.90	88.10
No 10	38.77g	20.87	79.13
No 40	56.51g	30.41	69.59
No 200	71.25g	38.34	61.66

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	12%	L. Líquido	92.1%	SUCS	MH
Arena	26%	L. Plástico	63.3%	AASHTO	A-7-5
Finos	62%	I. Plástico	28.8%	IG.	16



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-8
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	49.75	33.04	17.72	109.07	109.82
	2	51.71	33.28	16.61	110.56	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

32	3	22.83	14.73	2.82	68.01	69.70
22	4	20.34	13.14	2.98	70.87	
12	5	16.44	10.71	2.94	73.75	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	14.05	12.57	9.96	56.70	56.62
	7	14.75	12.63	8.95	57.61	
	8	13.90	12.25	9.28	55.56	

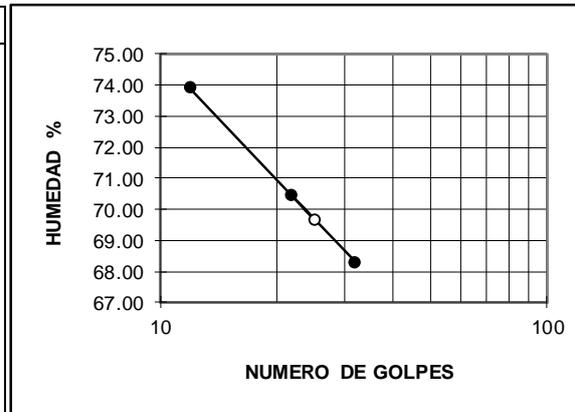
Peso de la muestra húmeda	342.78 g
Peso de la muestra seca	152.96 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"		0.00	100.00
3/8"		0.00	100.00
No 4	1.85g	1.21	98.79
No 10	4.51g	2.95	97.05
No 40	10.66g	6.97	93.03
No 200	18.27g	11.94	88.06

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	1%	L. Líquido	69.7%	SUCS	MH
Arena	11%	L. Plástico	56.6%	AASHTO	A-7-5
Finos	88%	I. Plástico	13.1%	IG.	13



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-9
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	53.39	37.24	16.15	76.58	77.31
	2	52.05	36.02	15.48	78.04	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

33	3	56.30	41.06	16.27	61.48	62.91
22	4	38.66	30.14	16.80	63.87	
12	5	49.25	36.64	17.50	65.88	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	12.93	11.47	8.76	53.87	52.84
	7	14.58	12.84	9.51	52.25	
	8	14.45	12.91	9.97	52.38	

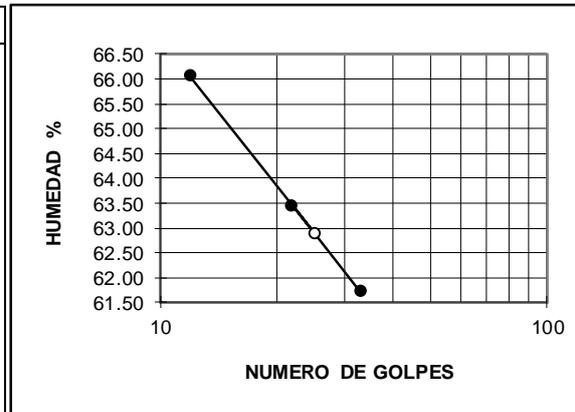
Peso de la muestra húmeda	257.82 g
Peso de la muestra seca	135.00 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"	2.03g	1.50	98.50
3/8"	3.84g	2.84	97.16
No 4	8.08g	5.99	94.01
No 10	12.23g	9.06	90.94
No 40	19.61g	14.53	85.47
No 200	28.92g	21.42	78.58

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	6%	L. Líquido	62.9%	SUCS	MH
Arena	15%	L. Plástico	52.8%	AASHTO	A-7-5
Finos	79%	I. Plástico	10.1%	IG.	12



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-10
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	51.97	37.50	17.40	71.99	72.71
	2	53.89	38.44	17.40	73.43	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

34	3	19.29	12.48	2.99	71.76	73.68
24	4	24.07	15.01	2.82	74.32	
13	5	20.24	12.75	3.03	77.06	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	12.34	10.82	8.33	61.04	60.91
	7	11.80	10.53	8.44	60.77	
	8	12.31	11.00	8.85	60.93	

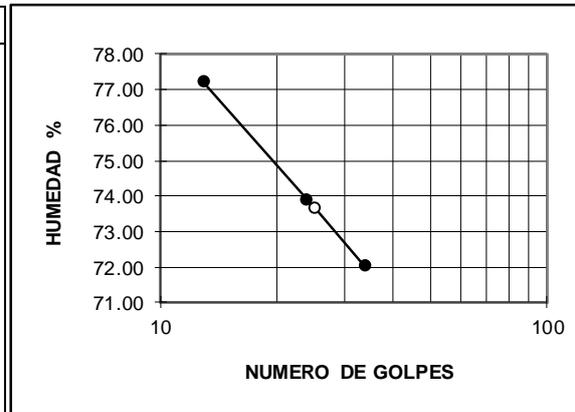
Peso de la muestra húmeda	245.52 g
Peso de la muestra seca	131.75 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"	14.90g	11.31	88.69
1/2"	25.69g	19.50	80.50
3/8"	25.69g	19.50	80.50
No 4	33.31g	25.28	74.72
No 10	41.47g	31.48	68.52
No 40	49.43g	37.52	62.48
No 200	55.71g	42.29	57.71

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	25%	L. Líquido	73.7%	SUCS	MH
Arena	17%	L. Plástico	60.9%	AASHTO	A-7-5
Finos	58%	I. Plástico	12.8%	IG.	8



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-11
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	52.05	37.64	17.71	72.30	72.97
	2	48.91	34.75	15.52	73.63	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

35	3	15.32	10.31	2.96	68.16	71.45
24	4	24.82	15.69	3.04	72.17	
14	5	21.07	13.14	2.79	76.62	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	14.36	12.76	9.98	57.55	57.17
	7	12.62	11.16	8.57	56.37	
	8	13.81	12.29	9.65	57.58	

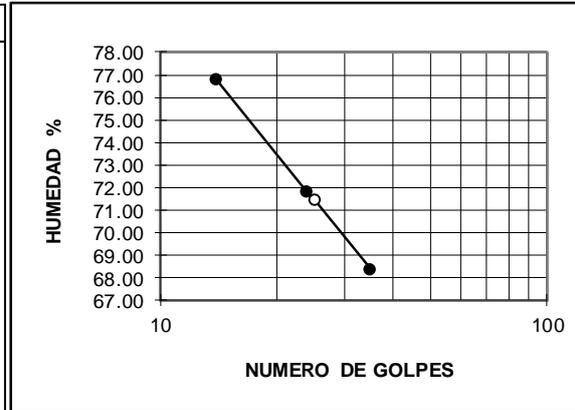
Peso de la muestra húmeda	387.79 g
Peso de la muestra seca	213.79 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"	5.16g	2.41	97.59
3/8"	9.60g	4.49	95.51
No 4	17.89g	8.37	91.63
No 10	23.08g	10.80	89.20
No 40	30.61g	14.32	85.68
No 200	40.76g	19.07	80.93

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	8%	L. Líquido	71.5%	SUCS	MH
Arena	11%	L. Plástico	57.2%	AASHTO	A-7-5
Finos	81%	I. Plástico	14.3%	IG.	14



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-13
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	48.02	29.33	14.71	127.84	126.06
	2	50.78	32.20	17.25	124.28	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

31	3	42.54	30.82	16.63	82.59	83.28
21	4	46.46	32.10	14.97	83.83	
12	5	33.50	25.30	15.72	85.59	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	13.29	11.49	8.97	71.43	71.06
	7	14.27	12.44	9.85	70.66	
	8	13.73	11.96	9.47	71.08	

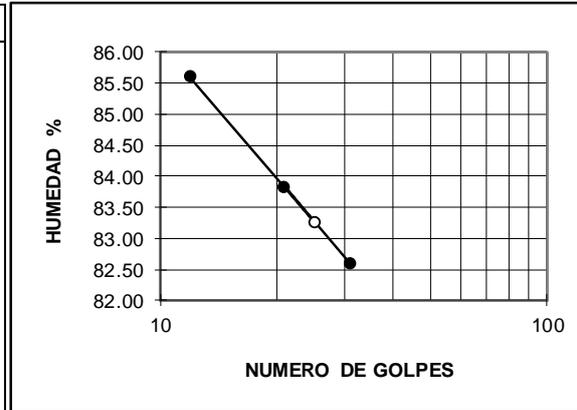
Peso de la muestra húmeda	254.49 g
Peso de la muestra seca	102.17 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"		0.00	100.00
3/8"		0.00	100.00
No 4	0.47g	0.46	99.54
No 10	2.93g	2.87	97.13
No 40	8.29g	8.11	91.89
No 200	12.10g	11.84	88.16

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	0%	L. Líquido	83.3%	SUCS	MH
Arena	11%	L. Plástico	71.1%	AASHTO	A-7-5
Finos	88%	I. Plástico	12.2%	IG.	13



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-14
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	54.11	34.97	17.10	107.11	106.29
	2	48.99	32.62	17.10	105.48	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

32	3	48.02	33.89	17.27	85.02	86.72
22	4	42.54	30.53	16.87	87.92	
12	5	34.34	26.11	17.04	90.74	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	14.07	12.04	9.08	68.58	68.32
	7	11.57	10.33	8.50	67.76	
	8	14.88	12.43	8.86	68.63	

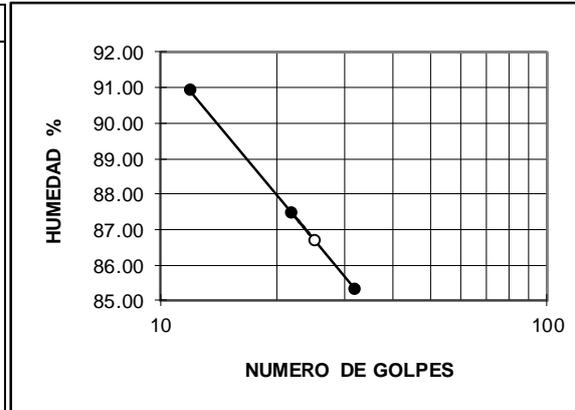
Peso de la muestra húmeda	380.32 g
Peso de la muestra seca	173.95 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"	8.69g	5.00	95.00
3/8"	14.88g	8.55	91.45
No 4	18.27g	10.50	89.50
No 10	22.22g	12.77	87.23
No 40	28.51g	16.39	83.61
No 200	34.84g	20.03	79.97

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	11%	L. Líquido	86.7%	SUCS	MH
Arena	10%	L. Plástico	68.3%	AASHTO	A-7-5
Finos	80%	I. Plástico	18.4%	IG.	15



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-15
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	51.67	33.49	16.99	110.18	110.55
	2	51.18	32.80	16.23	110.92	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

33	3	20.43	12.56	2.98	82.15	83.89
22	4	35.08	25.94	15.17	84.87	
12	5	26.32	15.40	2.99	87.99	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	13.76	11.82	8.98	68.31	68.75
	7	13.30	11.51	8.92	69.11	
	8	13.75	11.72	8.77	68.81	

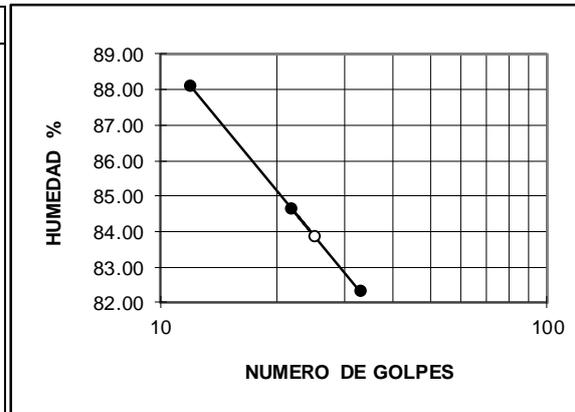
Peso de la muestra húmeda	272.48 g
Peso de la muestra seca	119.00 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"	4.70g	3.95	96.05
3/8"	10.50g	8.82	91.18
No 4	15.15g	12.73	87.27
No 10	19.20g	16.13	83.87
No 40	25.66g	21.56	78.44
No 200	31.26g	26.27	73.73

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	13%	L. Líquido	83.9%	SUCS	MH
Arena	14%	L. Plástico	68.7%	AASHTO	A-7-5
Finos	74%	I. Plástico	15.1%	IG.	14



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-17
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	37.04	26.97	15.88	90.80	89.62
	2	39.89	29.26	17.24	88.44	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

33	3	45.07	33.66	17.09	68.86	70.82
23	4	46.17	33.68	16.28	71.78	
13	5	34.49	27.02	17.01	74.63	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	12.11	10.89	8.92	61.93	61.13
	7	12.80	11.36	8.97	60.25	
	8	12.52	11.10	8.78	61.21	

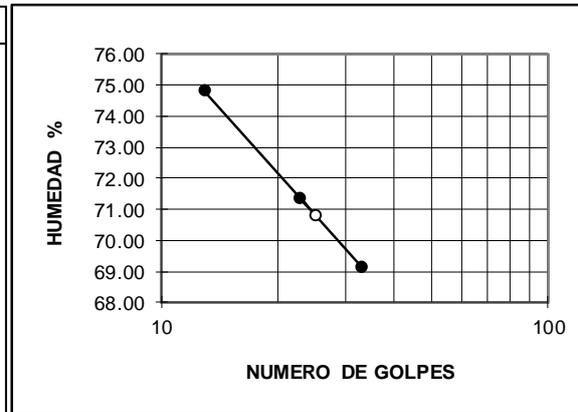
Peso de la muestra húmeda	161.25 g
Peso de la muestra seca	74.63 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"	7.10g	9.51	90.49
3/8"	13.35g	17.89	82.11
No 4	22.32g	29.91	70.09
No 10	30.33g	40.64	59.36
No 40	40.21g	53.88	46.12
No 200	52.61g	70.50	29.50

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	30%	L. Líquido	70.8%	SUCS	SM
Arena	41%	L. Plástico	61.1%	AASHTO	A-2-5
Finos	30%	I. Plástico	9.7%	IG.	0



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-18
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	48.56	38.56	17.03	46.45	45.22
	2	51.20	40.97	17.72	44.00	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

33	3	40.32	32.07	17.75	57.61	59.00
23	4	53.07	39.15	15.87	59.79	
12	5	54.29	40.08	17.06	61.73	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	13.82	12.26	8.86	45.88	45.85
	7	13.59	12.15	8.95	45.00	
	8	21.69	19.51	14.84	46.68	

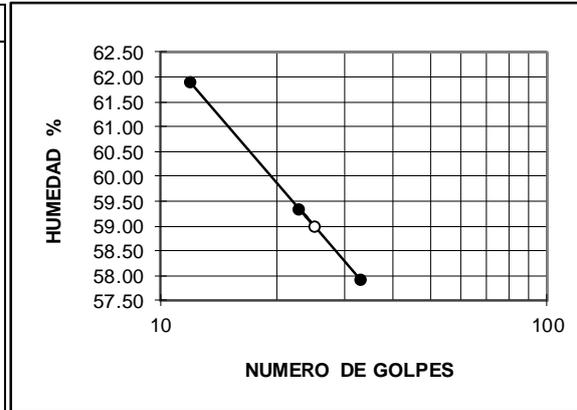
Peso de la muestra húmeda	275.34 g
Peso de la muestra seca	179.19 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"	8.92g	4.98	95.02
1/2"	8.92g	4.98	95.02
3/8"	13.37g	7.46	92.54
No 4	23.84g	13.30	86.70
No 10	39.21g	21.88	78.12
No 40	77.70g	43.36	56.64
No 200	113.54g	63.36	36.64

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	13%	L. Líquido	59.0%	SUCS	SM
Arena	50%	L. Plástico	45.9%	AASHTO	A-7-5
Finos	37%	I. Plástico	13.1%	IG.	2



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-19
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	51.62	39.60	17.40	54.14	54.44
	2	50.60	38.75	17.10	54.73	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

32	3	40.40	29.96	16.16	75.65	77.09
23	4	42.01	31.19	17.28	77.79	
13	5	40.59	29.42	15.52	80.36	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	15.27	13.32	9.08	45.99	45.34
	7	14.26	12.46	8.51	45.57	
	8	15.66	13.77	9.52	44.47	

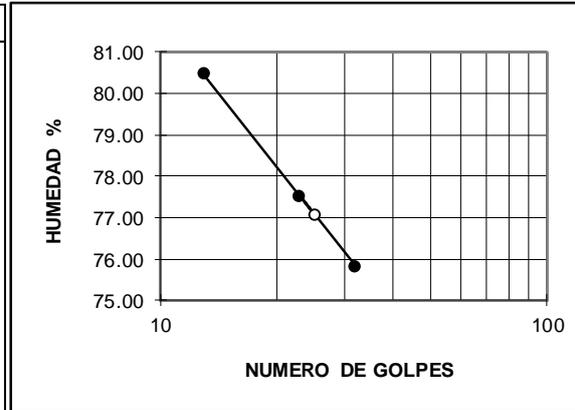
Peso de la muestra húmeda	333.04 g
Peso de la muestra seca	205.23 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"	18.40g	8.97	91.03
1/2"	26.01g	12.67	87.33
3/8"	36.30g	17.69	82.31
No 4	53.44g	26.04	73.96
No 10	74.71g	36.40	63.60
No 40	105.75g	51.53	48.47
No 200	131.13g	63.89	36.11

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	26%	L. Líquido	77.1%	SUCS	SM
Arena	38%	L. Plástico	45.3%	AASHTO	A-7-5
Finos	36%	I. Plástico	31.7%	IG.	8



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-21
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	59.00	43.11	16.22	59.09	60.17
	2	47.50	35.77	16.62	61.25	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

33	3	40.51	31.14	15.48	59.83	61.28
23	4	37.78	29.87	17.10	61.94	
12	5	37.28	29.38	17.13	64.49	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	17.18	14.29	8.86	53.22	53.62
	7	19.15	15.84	9.65	53.47	
	8	17.10	14.50	9.70	54.17	

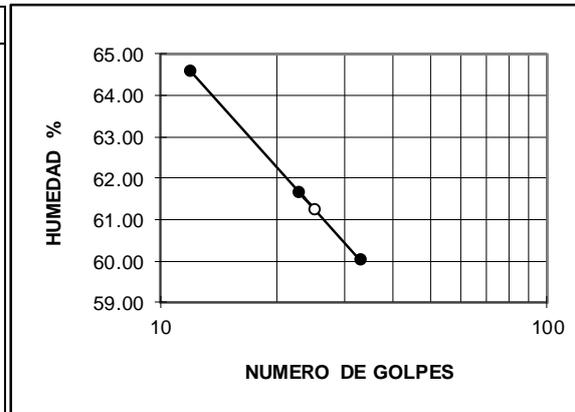
Peso de la muestra húmeda	238.00 g
Peso de la muestra seca	138.18 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"	10.92g	7.90	92.10
3/8"	14.48g	10.48	89.52
No 4	31.87g	23.06	76.94
No 10	50.48g	36.53	63.47
No 40	70.95g	51.35	48.65
No 200	84.85g	61.41	38.59

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	23%	L. Líquido	61.3%	SUCS	SM
Arena	38%	L. Plástico	53.6%	AASHTO	A-5
Finos	39%	I. Plástico	7.7%	IG.	1



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-22
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	47.66	36.68	15.72	52.39	51.28
	2	45.89	35.47	14.70	50.17	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

32	3	44.46	34.36	16.22	55.68	57.14
22	4	40.40	30.97	14.76	58.17	
13	5	32.20	26.68	17.51	60.20	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	16.20	13.99	9.64	50.80	50.88
	7	15.28	13.26	9.28	50.75	
	8	13.24	11.58	8.33	51.08	

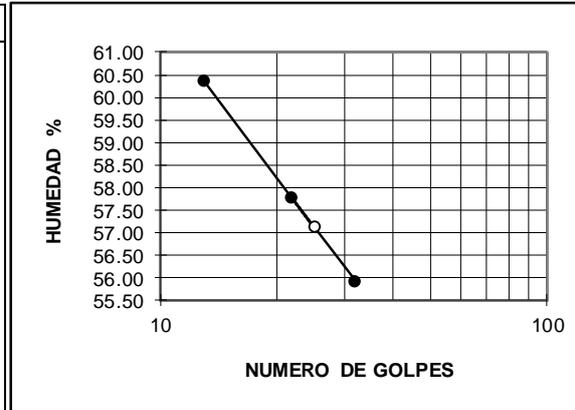
Peso de la muestra húmeda	282.77 g
Peso de la muestra seca	176.51 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"	22.51g	12.75	87.25
3/8"	28.74g	16.28	83.72
No 4	46.08g	26.11	73.89
No 10	66.10g	37.45	62.55
No 40	95.24g	53.96	46.04
No 200	120.25g	68.13	31.87

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	26%	L. Líquido	57.1%	SUCS	SM
Arena	42%	L. Plástico	50.9%	AASHTO	A-2-5
Finos	32%	I. Plástico	6.3%	IG.	0



ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

(NORMA ASTM D 2487-06)

Proyecto: Distribución Espacial
Ubicación: Piamonte
Fecha: Mayo - 2023.

Calicata: M-23
Muestra N°: M-1
Profundidad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216-05)

No.golpes	Capsula No	P.Húmedo	P.Seco	P.cápsula	Humedad	Media/valor
	1	52.05	40.28	16.15	48.78	48.40
	2	42.48	33.72	15.48	48.03	

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318-05)

34	3	47.14	37.20	15.71	46.25	48.37
23	4	50.00	39.03	16.82	49.39	
12	5	36.17	29.67	17.27	52.42	

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-06)

	6	17.31	14.72	8.78	43.60	43.31
	7	14.03	12.37	8.49	42.78	
	8	16.64	14.62	9.98	43.53	

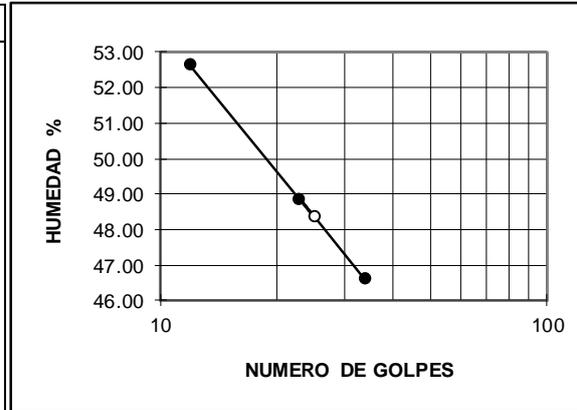
Peso de la muestra húmeda	252.75 g
Peso de la muestra seca	159.90 g

GRANULOMETRÍA

(NORMA ASTM D 422-63)

Tamiz	P.Retenido	% Retenido	% Q' pasa
2"		0.00	100.00
1 1/2"		0.00	100.00
1"		0.00	100.00
3/4"		0.00	100.00
1/2"	58.68g	36.70	63.30
3/8"	64.81g	40.53	59.47
No 4	75.40g	47.15	52.85
No 10	84.81g	53.04	46.96
No 40	101.58g	63.53	36.47
No 200	121.87g	76.21	23.79

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADOS

Grava	47%	L. Líquido	48.4%	SUCS	GM
Arena	29%	L. Plástico	43.3%	AASHTO	A-1-b
Finos	24%	I. Plástico	5.1%	IG.	0

ANEXO B: ENSAYOS DE LABORATORIO – DENSIDAD DEL AGREGADO.

		DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO NORMA ASTM C-128	
Proyecto: Distribución Espacial			
Ubicación: Piamonte.		Calicata: C-0	
Densidad: Agregado Fino			
1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	52.29	43.99	
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	152.17	194.38	
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	646.00	692.00	
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	676.60	718.00	
5. Volumen de sólidos (cm ³)	21.69	17.99	
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2411	2445	
Promedio (kg/cm³)		2428	
$D=A/(B+A-C)$			
* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.			
Observaciones:			



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL
ÁRIDO FINO

NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-1

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	51.00	40.89
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	193.88	194.38
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	692.00	693.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	723.00	718.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	20.00	15.89
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2550	2573
Promedio (kg/cm³)	2562	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN
DEL ÁRIDO FINO

NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-1

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	51.00	40.89
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	193.88	194.38
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	692.00	693.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	723.00	718.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	20.00	15.89
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2550	2573
Promedio (kg/cm³)	2562	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO

NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-2

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	41.09	39.72
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	198.30	184.44
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	695.00	683.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	720.00	707.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	16.09	15.72
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2554	2527
Promedio (kg/cm³)	2540	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO

NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-4

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	42.12	51.90
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	194.38	152.17
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	693.00	649.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	718.00	676.60
5. Volumen de sólidos (cm ³)	17.12	24.30
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2460	2136
Promedio (kg/cm³)	2298	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL
ÁRIDO FINO
NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-5

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	45.85	49.22
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	186.35	193.88
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	684.00	692.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	713.00	723.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	16.85	18.22
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2721	2701
Promedio (kg/cm³)	2711	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN
DEL ÁRIDO FINO
NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-6

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	39.58	40.99
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	184.44	198.30
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	683.00	695.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	707.00	720.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	15.58	15.99
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2540	2563
Promedio (kg/cm³)	2552	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN
DEL ÁRIDO FINO
NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-7

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	50.20	47.15
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	152.17	186.35
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	646.00	685.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	677.00	714.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	19.20	18.15
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2615	2598
Promedio (kg/cm³)	2606	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN
DEL ÁRIDO FINO
NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-8

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	48.18	55.30
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	193.88	194.38
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	693.00	693.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	721.00	725.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	20.18	23.30
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2388	2373
Promedio (kg/cm³)	2380	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



**DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL
ÁRIDO FINO**

NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-9

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	54.52	58.10
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	198.30	184.40
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	696.00	683.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	728.00	717.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	22.52	24.10
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2421	2411
Promedio (kg/cm³)	2416	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



**DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN
DEL ÁRIDO FINO**

NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-10

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	50.34	48.41
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	186.35	186.35
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	685.00	685.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	715.00	714.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	20.34	19.41
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2475	2494
Promedio (kg/cm³)	2485	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL
ÁRIDO FINO

NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-11

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	40.75	51.99
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	194.38	194.38
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	693.00	693.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	718.00	725.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	15.75	19.99
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2587	2601
Promedio (kg/cm³)	2594	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL
ÁRIDO FINO

NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-13

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	46.55	60.18
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	198.30	184.40
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	695.00	683.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	721.00	717.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	20.55	26.18
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2265	2299
Promedio (kg/cm³)	2282	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL
ÁRIDO FINO
NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-14

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	58.06	43.15
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	152.17	194.38
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	646.00	693.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	678.20	717.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	25.86	19.15
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2245	2253
Promedio (kg/cm³)	2249	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN
DEL ÁRIDO FINO
NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-15

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	61.52	45.61
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	193.88	194.38
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	692.00	693.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	728.50	720.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	25.02	18.61
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2459	2451
Promedio (kg/cm³)	2455	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



**DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN
DEL ÁRIDO FINO**

NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-17

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	37.95	44.01
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	198.30	193.88
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	695.00	692.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	714.80	715.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	18.15	21.01
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2091	2095
Promedio (kg/cm³)	2093	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



**DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN
DEL ÁRIDO FINO**

NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-18

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	50.42	39.57
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	194.38	184.44
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	693.00	683.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	722.40	706.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	21.02	16.57
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2399	2388
Promedio (kg/cm³)	2393	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL
ÁRIDO FINO
NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-19

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	53.16	48.75
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	152.17	193.88
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	646.00	692.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	675.00	719.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	24.16	21.75
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2200	2241
Promedio (kg/cm³)	2221	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL
ÁRIDO FINO
NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-21

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	59.93	45.81
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	193.88	194.38
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	692.00	693.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	728.50	721.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	23.43	17.81
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2558	2572
Promedio (kg/cm³)	2565	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL
ÁRIDO FINO

NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-22

Densidad: Agregado Fino

1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	59.93	42.10
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	193.88	198.30
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	692.00	695.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	726.60	719.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	25.33	18.10
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2366	2326
Promedio (kg/cm³)	2346	

$$D=A/(B+A-C)$$

* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:



DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL
ÁRIDO FINO

NORMA ASTM C-128

Proyecto: Distribución Espacial

Ubicación: Piamonte.

Calicata: C-23

Densidad: Agregado Fino

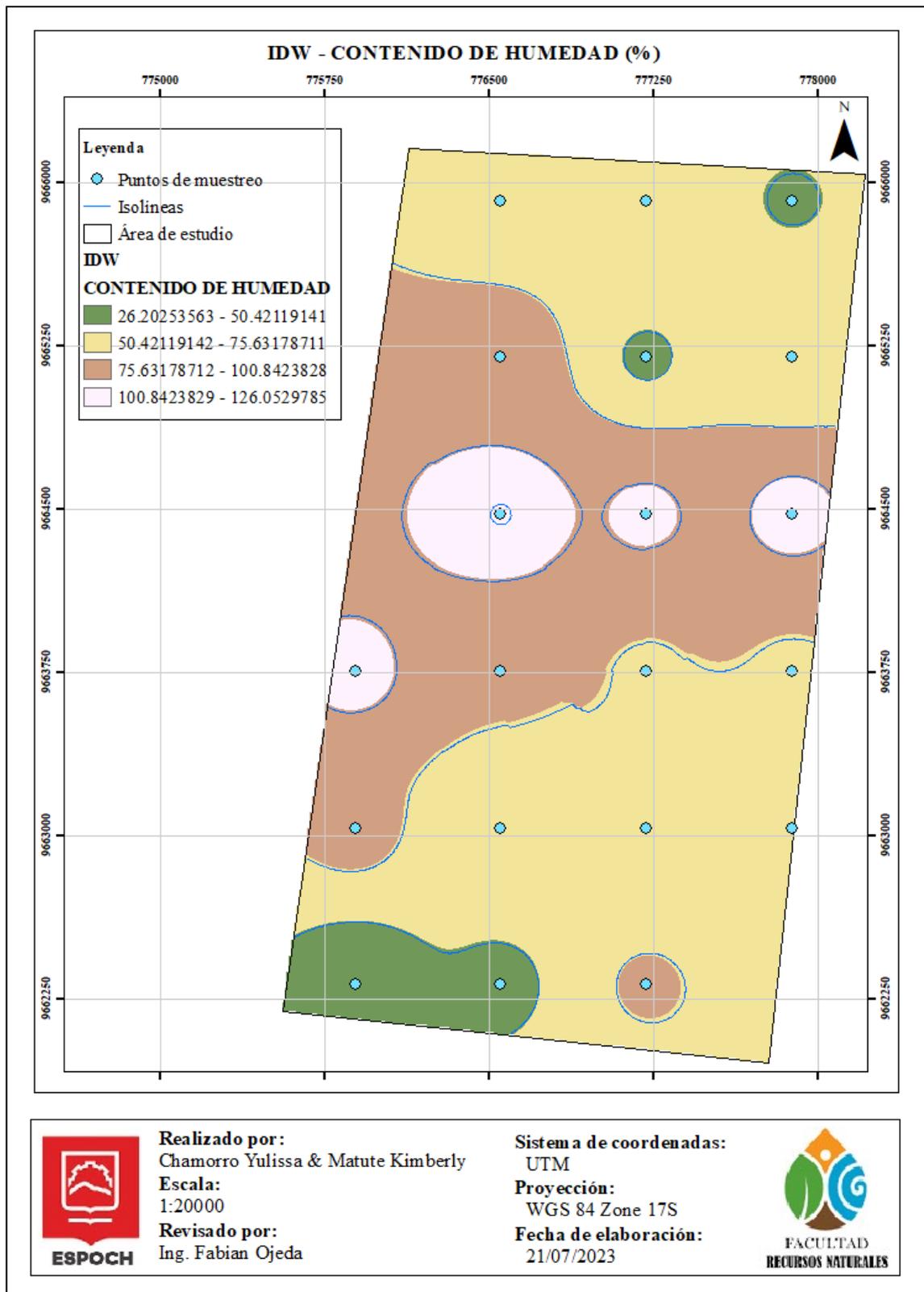
1. Masa del Agregado Seco en el Horno (A) (g)	53.16	42.38
2. Masa del Picnómetro Vacío (g)	152.17	194.38
3. Masa del Picnómetro + Agua 500ml (B)(cm ³)	646.00	693.00
4. Masa del Picnómetro + Agregado + Agua (C)(cm ³)	675.00	716.00
5. Volumen de sólidos (cm ³)	24.16	19.38
6. Densidad del Agregado Fino (D) (kg/cm³)	2200	2187
Promedio (kg/cm³)	2194	

$$D=A/(B+A-C)$$

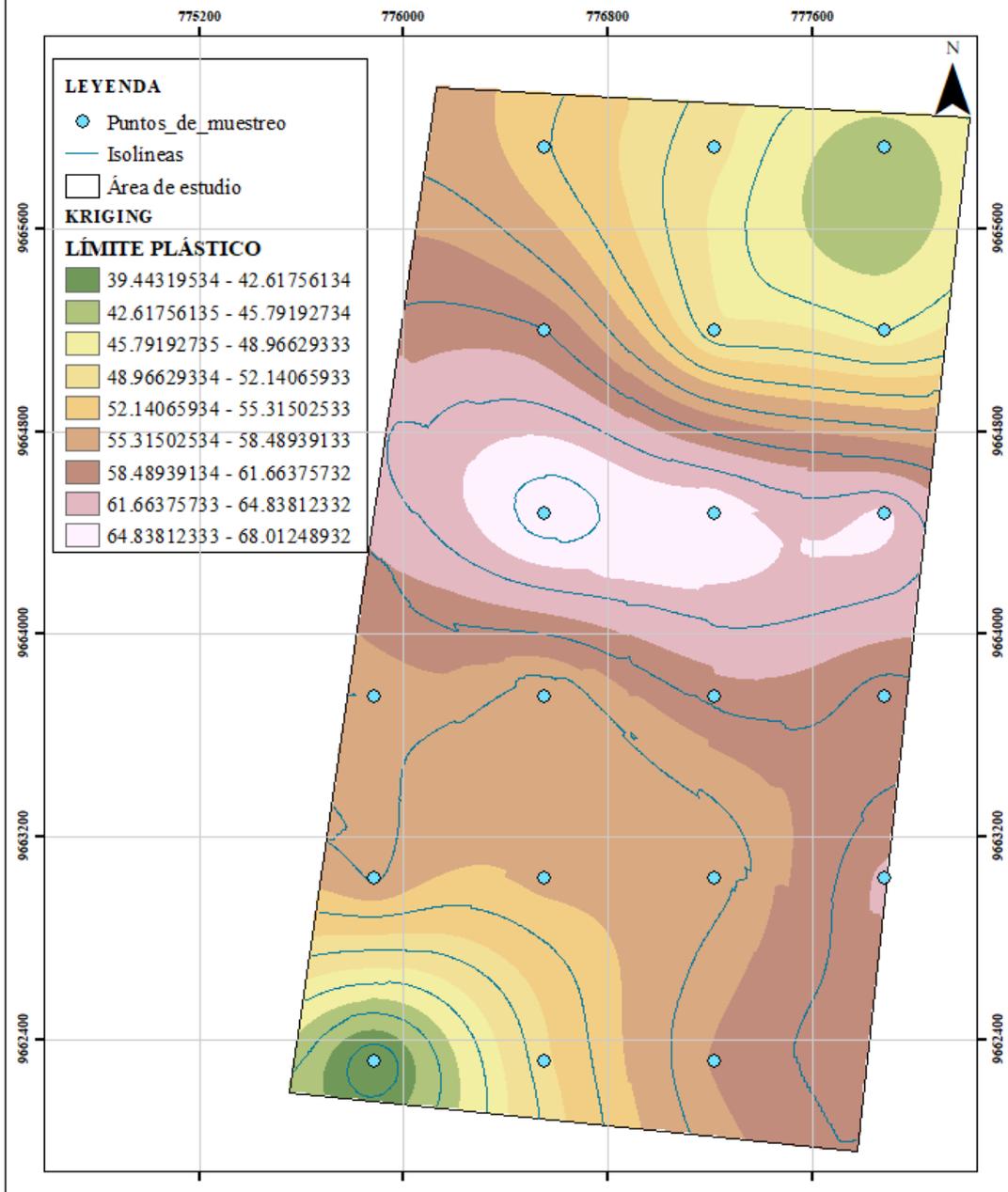
* La muestra fue entrega en el laboratorio por el cliente.

Observaciones:

ANEXO C: MAPAS DE INTERPOLACIÓN CON IDW, KRIGING, VARIOGRAMA Y VALIDACIÓN CRUZADA.



KRIGING - LÍMITE PLÁSTICO (%)

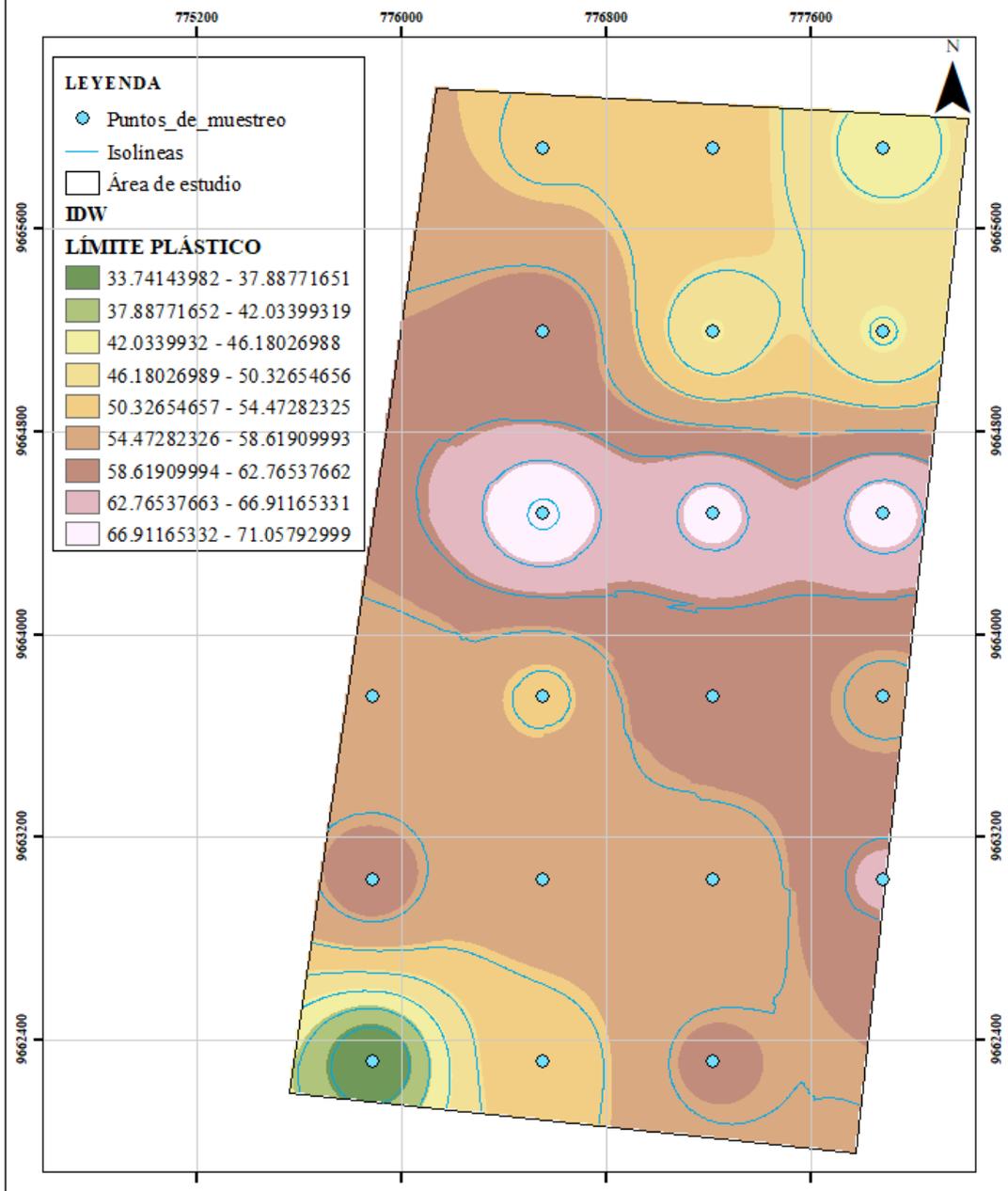


Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
20/07/2023



IDW - LÍMITE PLÁSTICO (%)

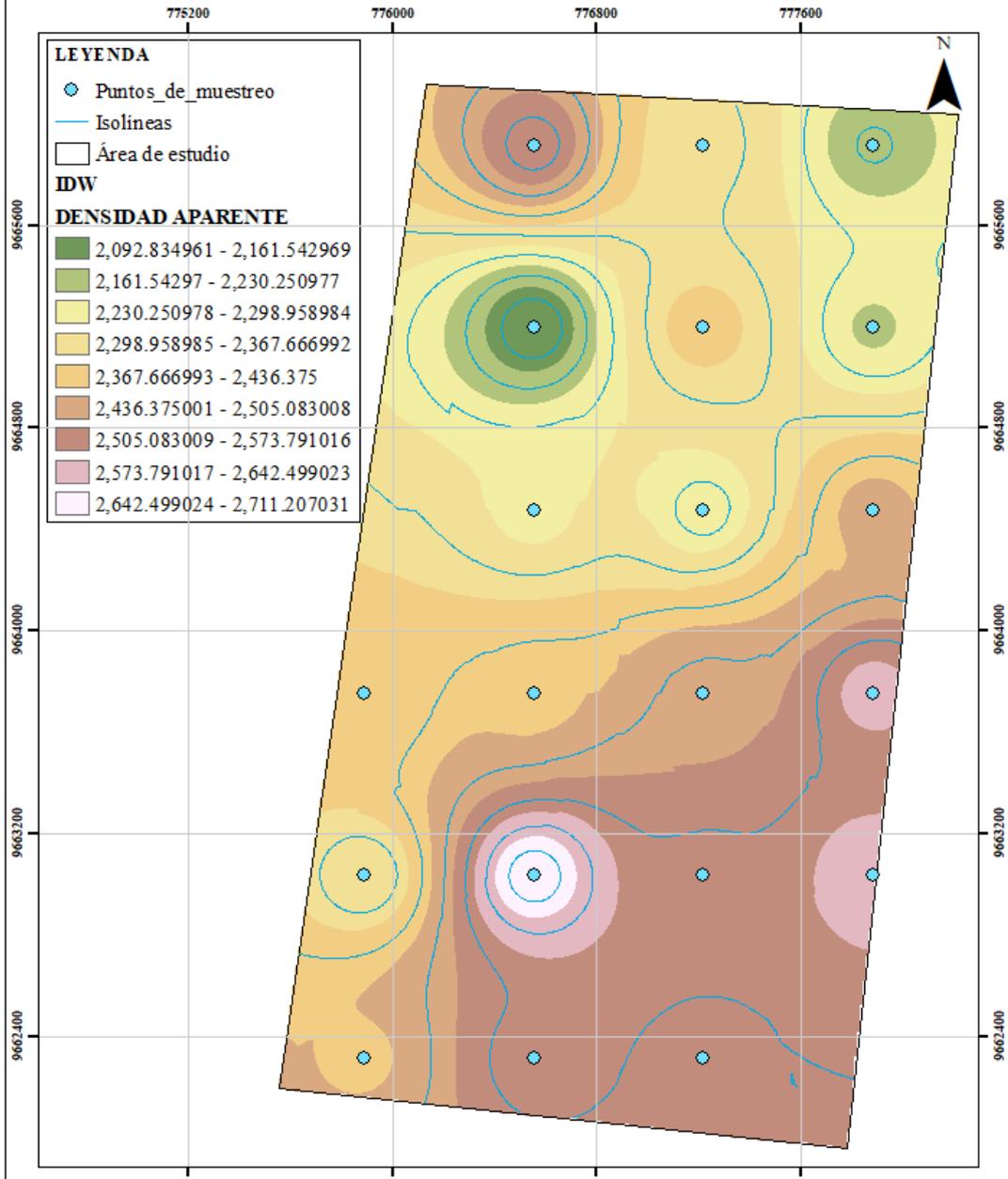


Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
20/07/2023



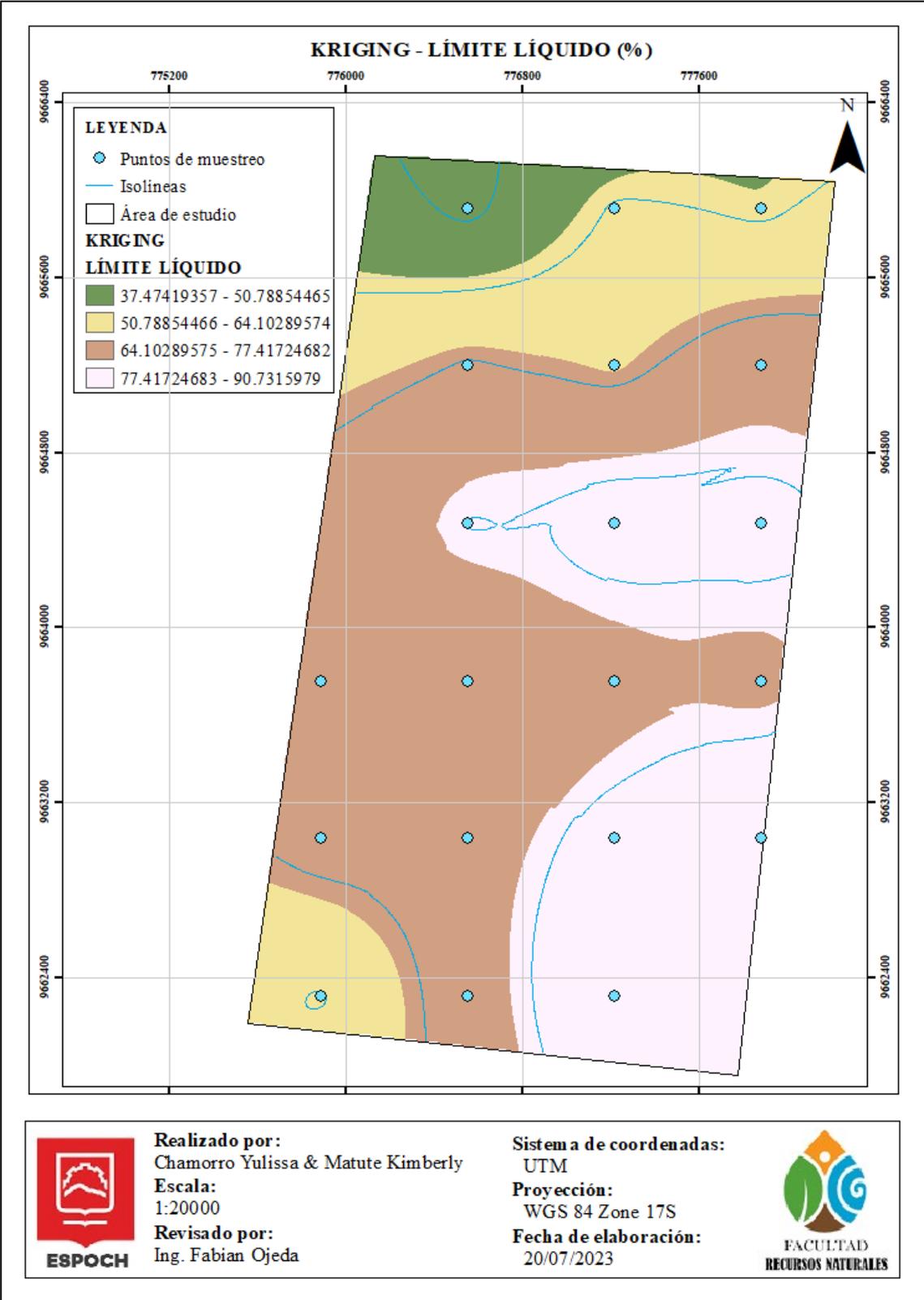
IDW - DENSIDAD APARENTE (kg/cm³)



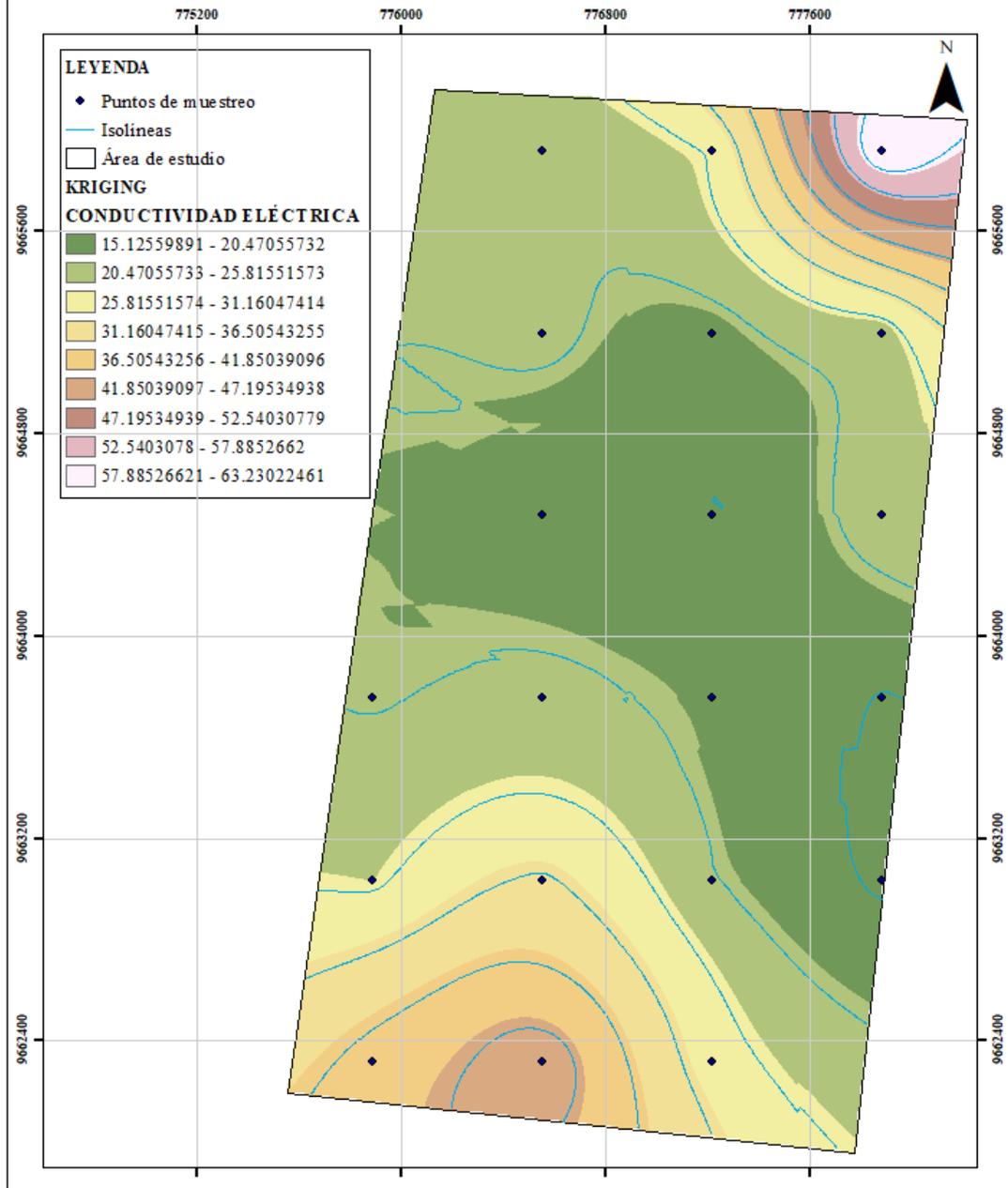
Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
20/07/2023





KRIGING - CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

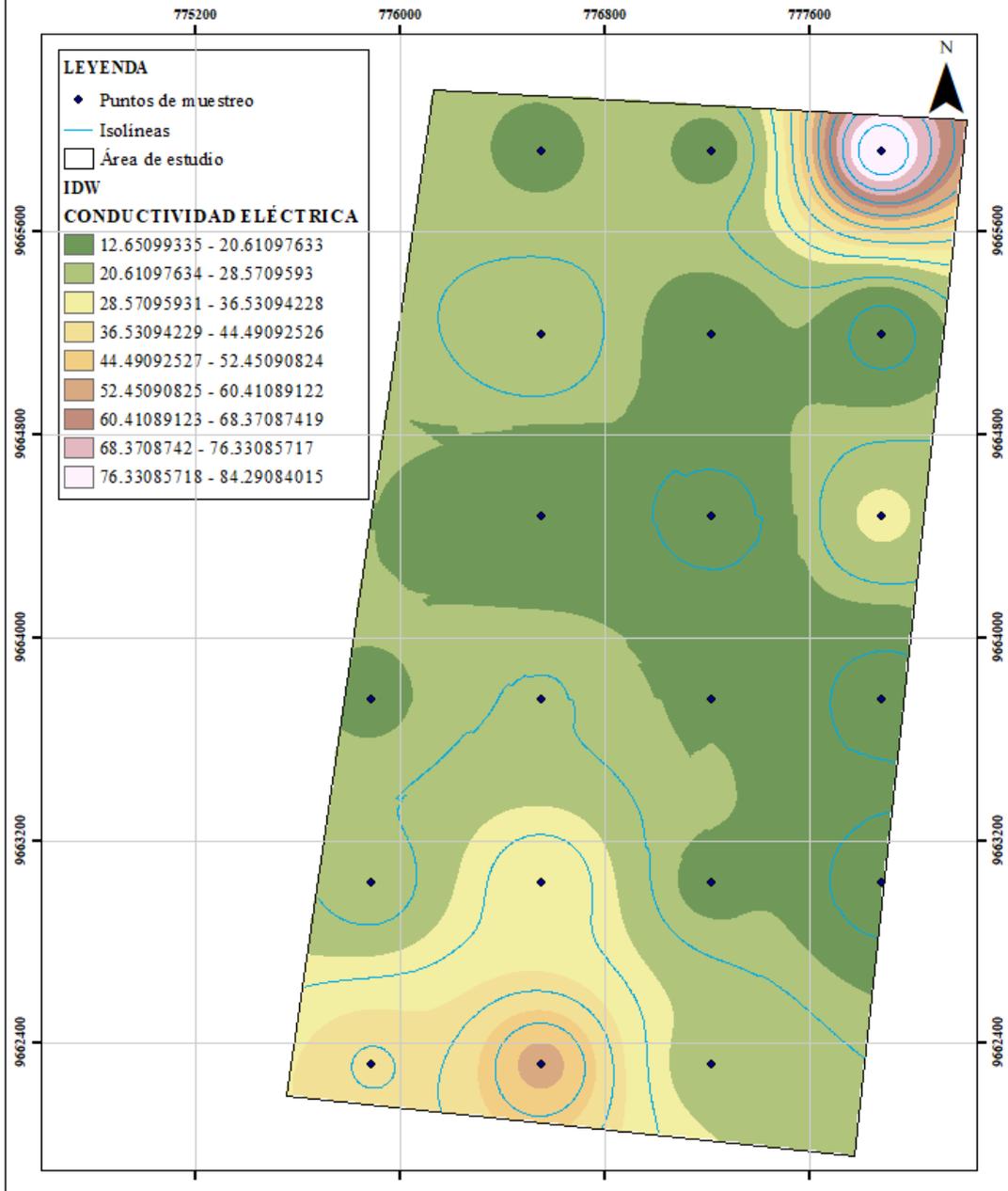


Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
20/07/2023



IDW - CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

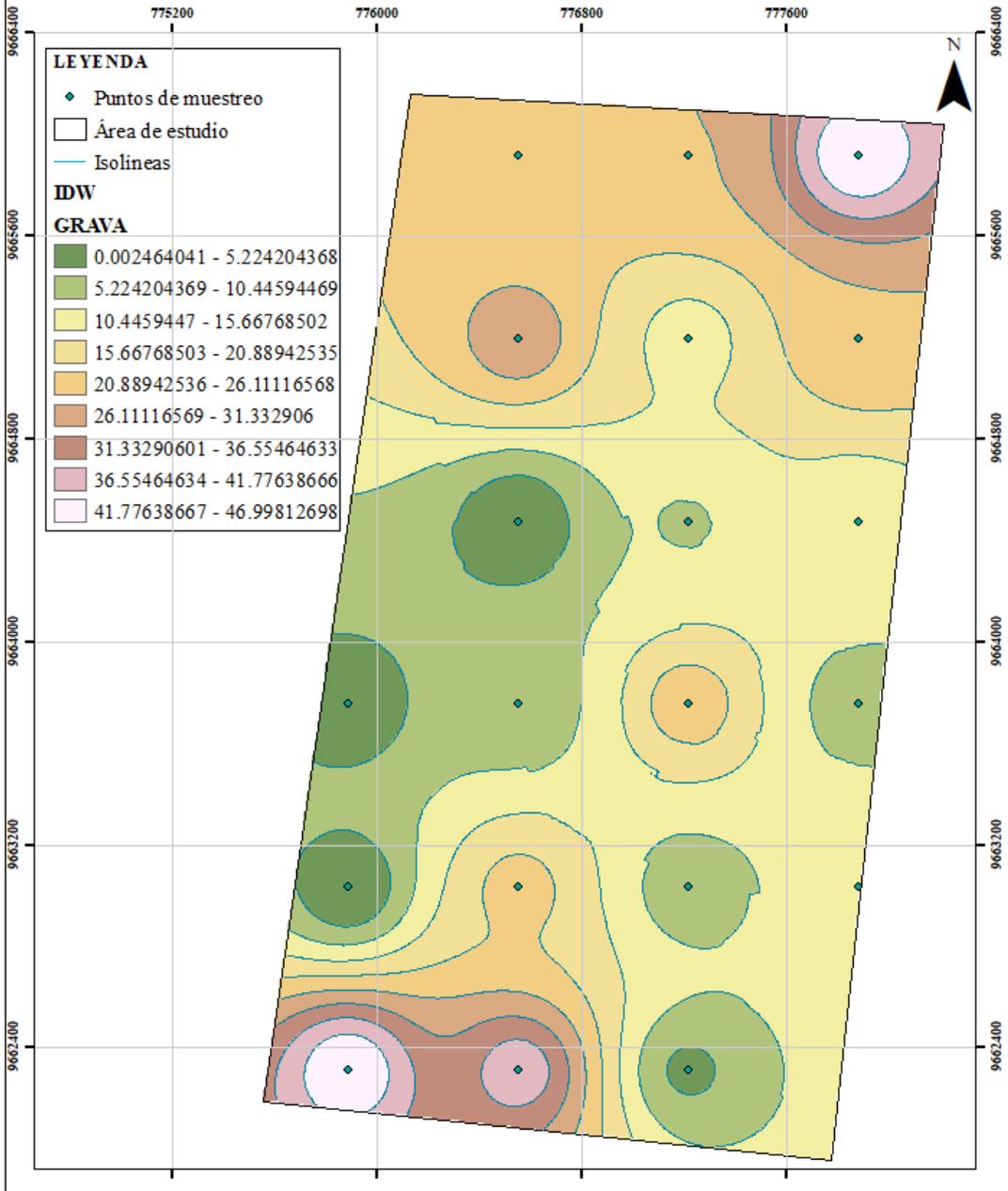


Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
20/07/2023



IDW - GRANULOMETRÍA - GRAVA (%)

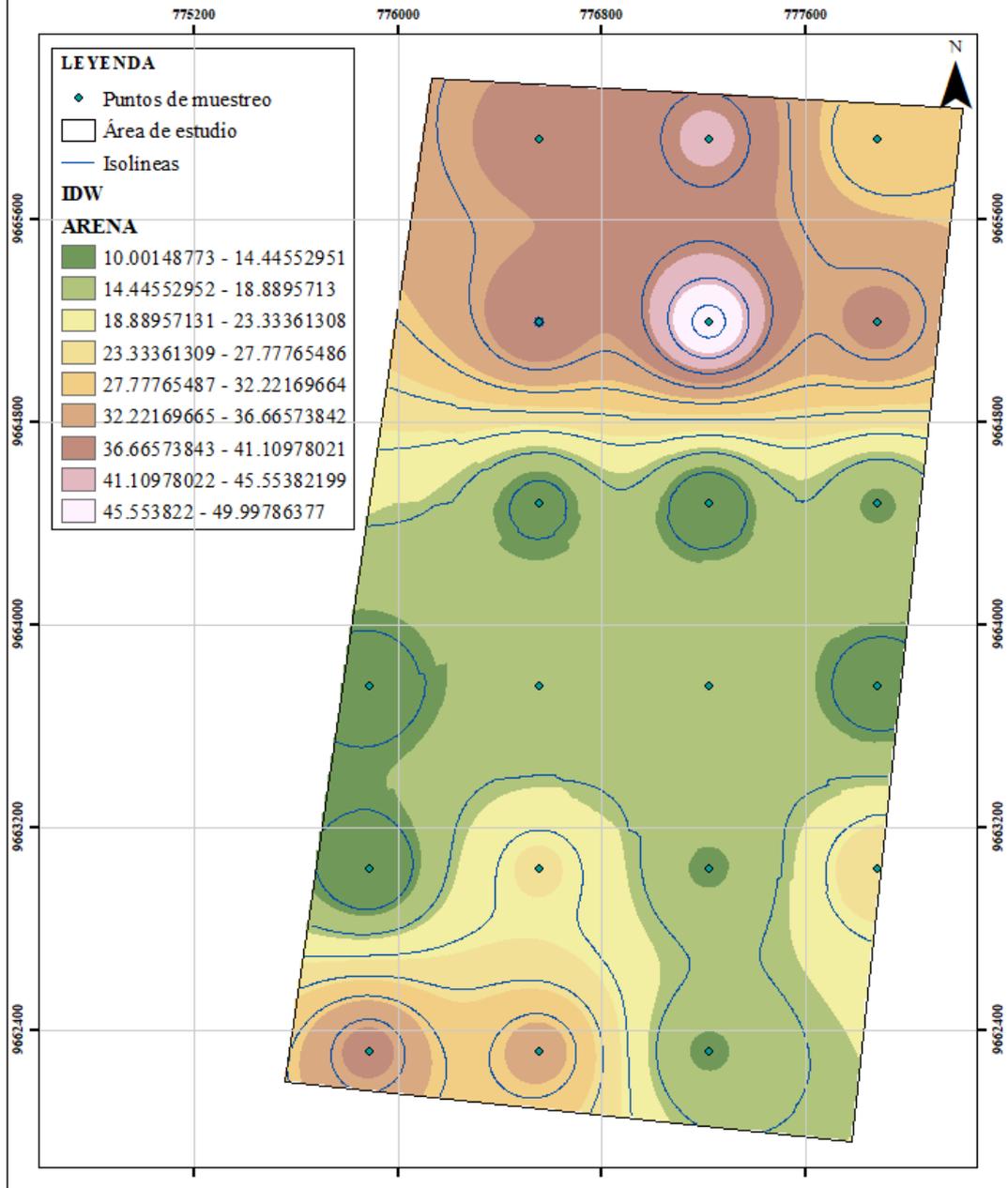


Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
20/07/2023



IDW - GRANULOMETRÍA - ARENA (%)

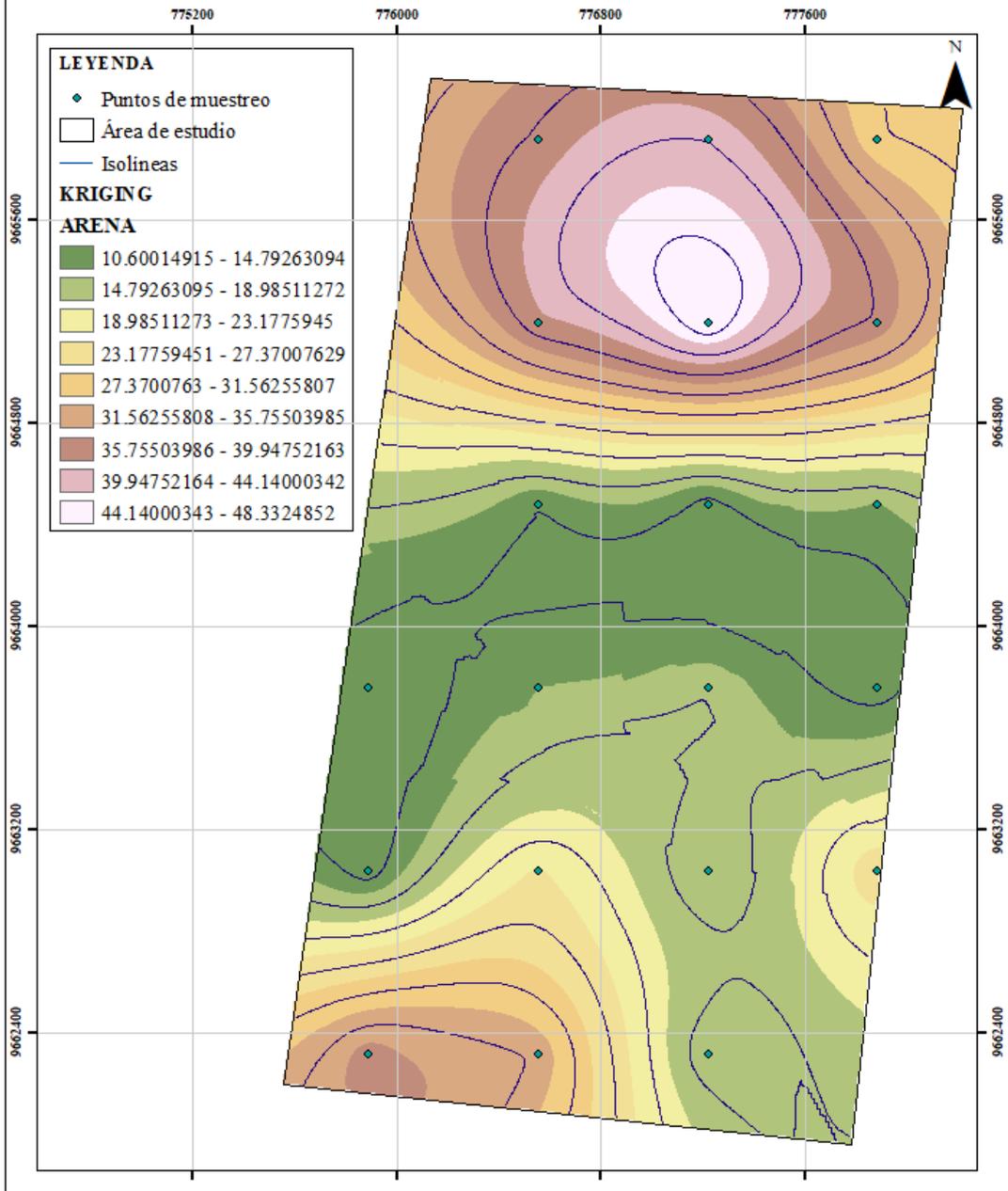


Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
24/07/2023



KRIGING - GRANULOMETRÍA - ARENA (%)

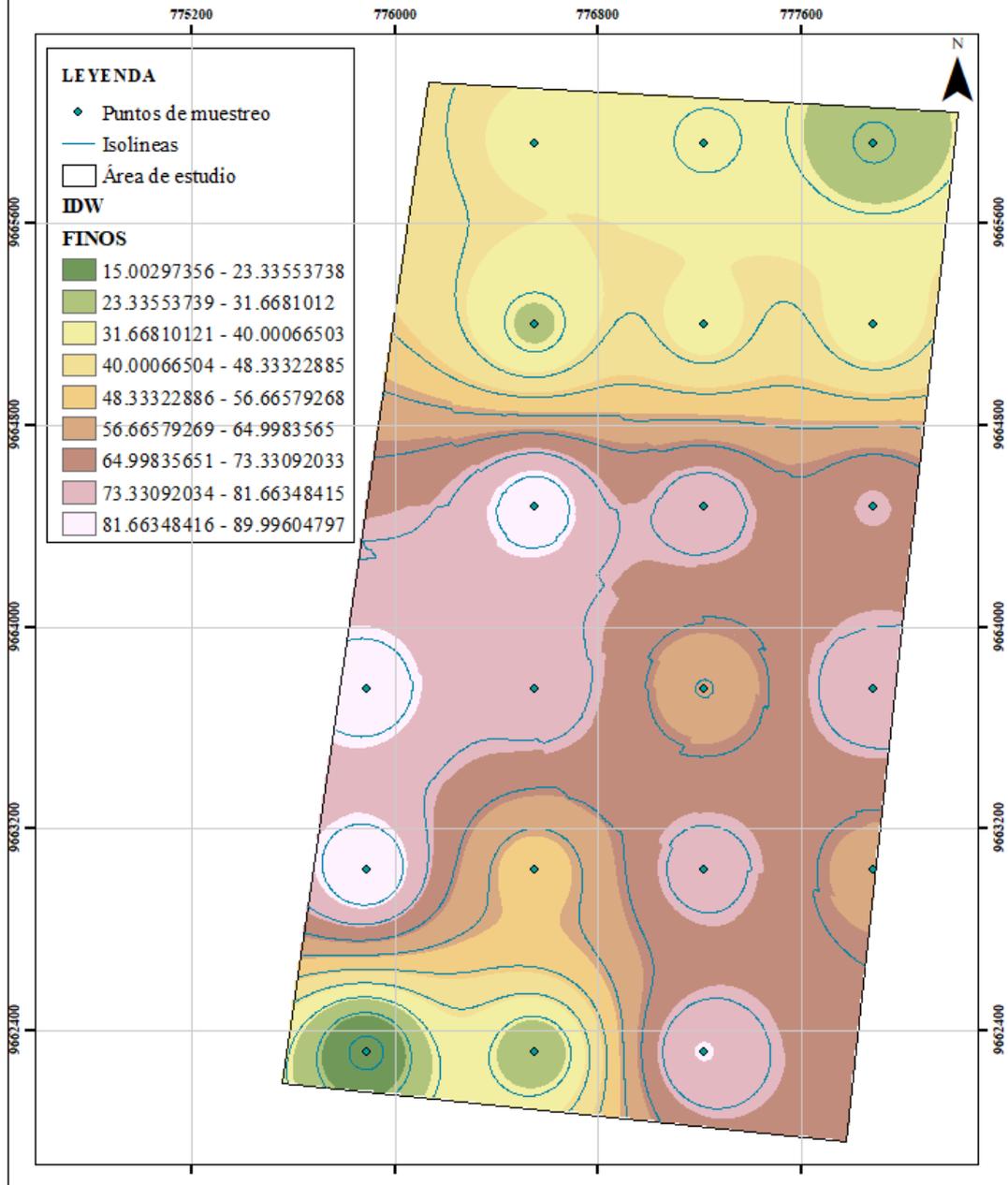


Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
24/07/2023



IDW - GRANULOMETRÍA - FINOS (%)

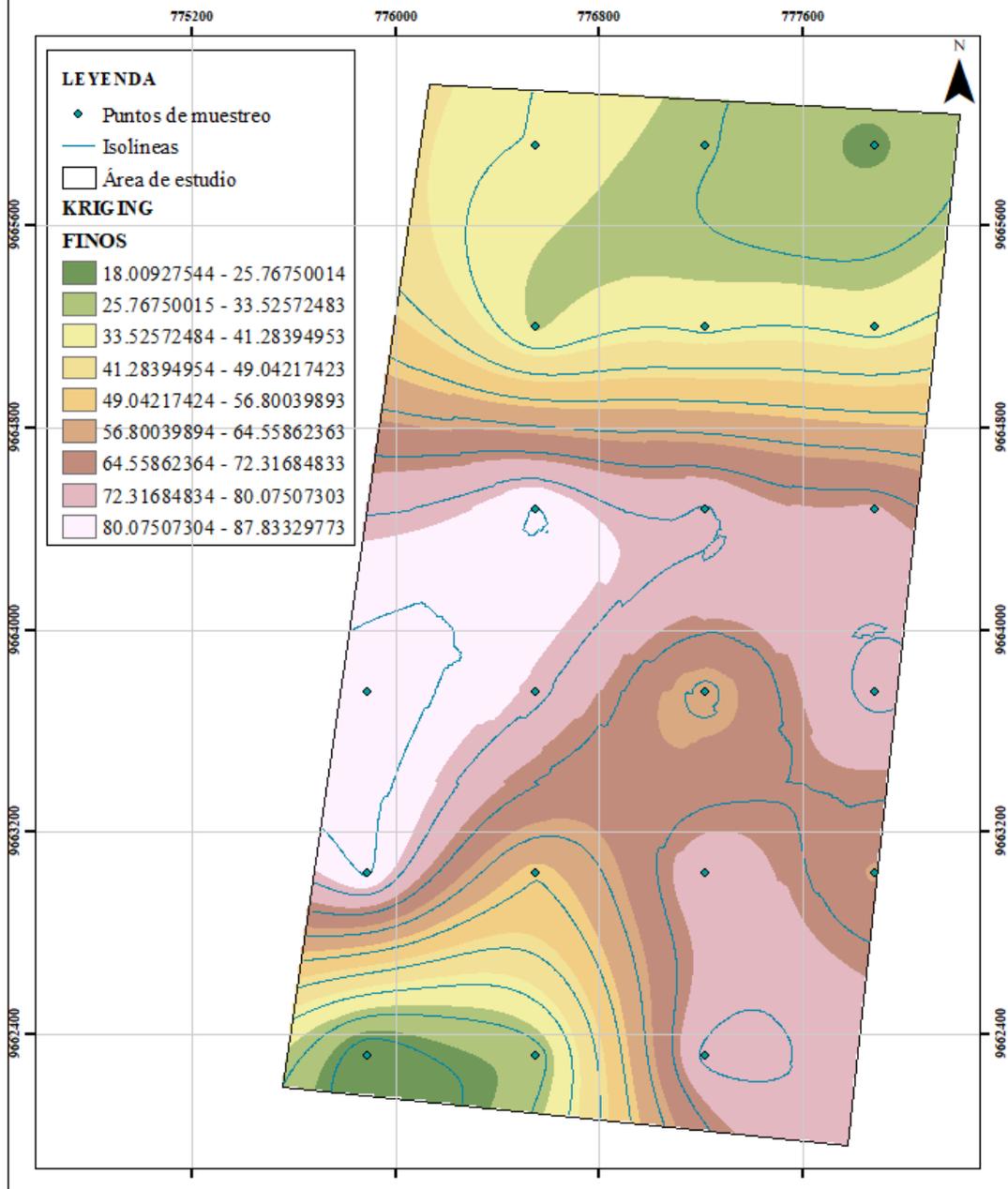


Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
24/07/2023



KRIGING - GRANULOMETRÍA - FINOS (%)

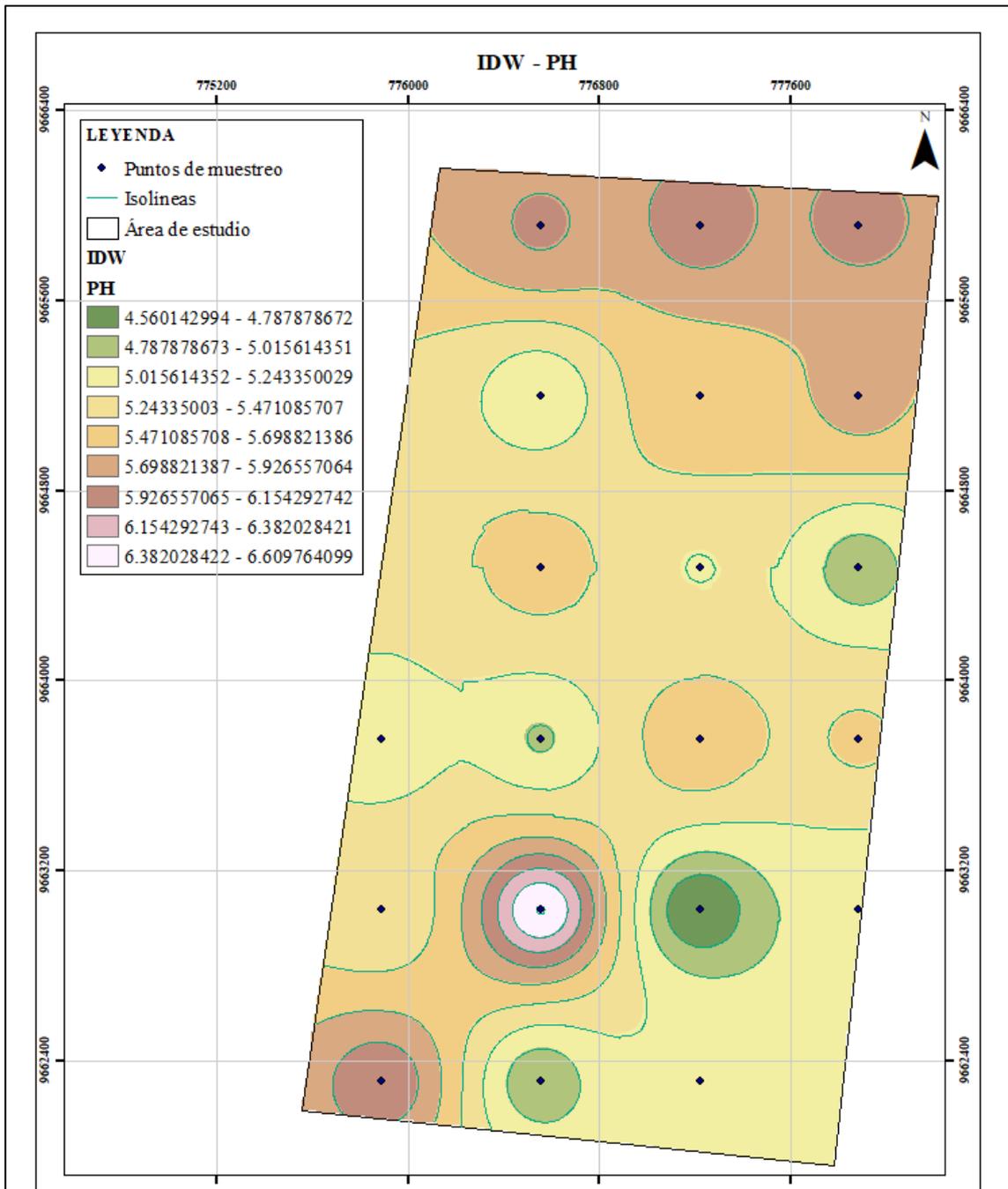


Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
24/07/2023



FACULTAD
RECURSOS NATURALES



Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly

Escala:
1:20000

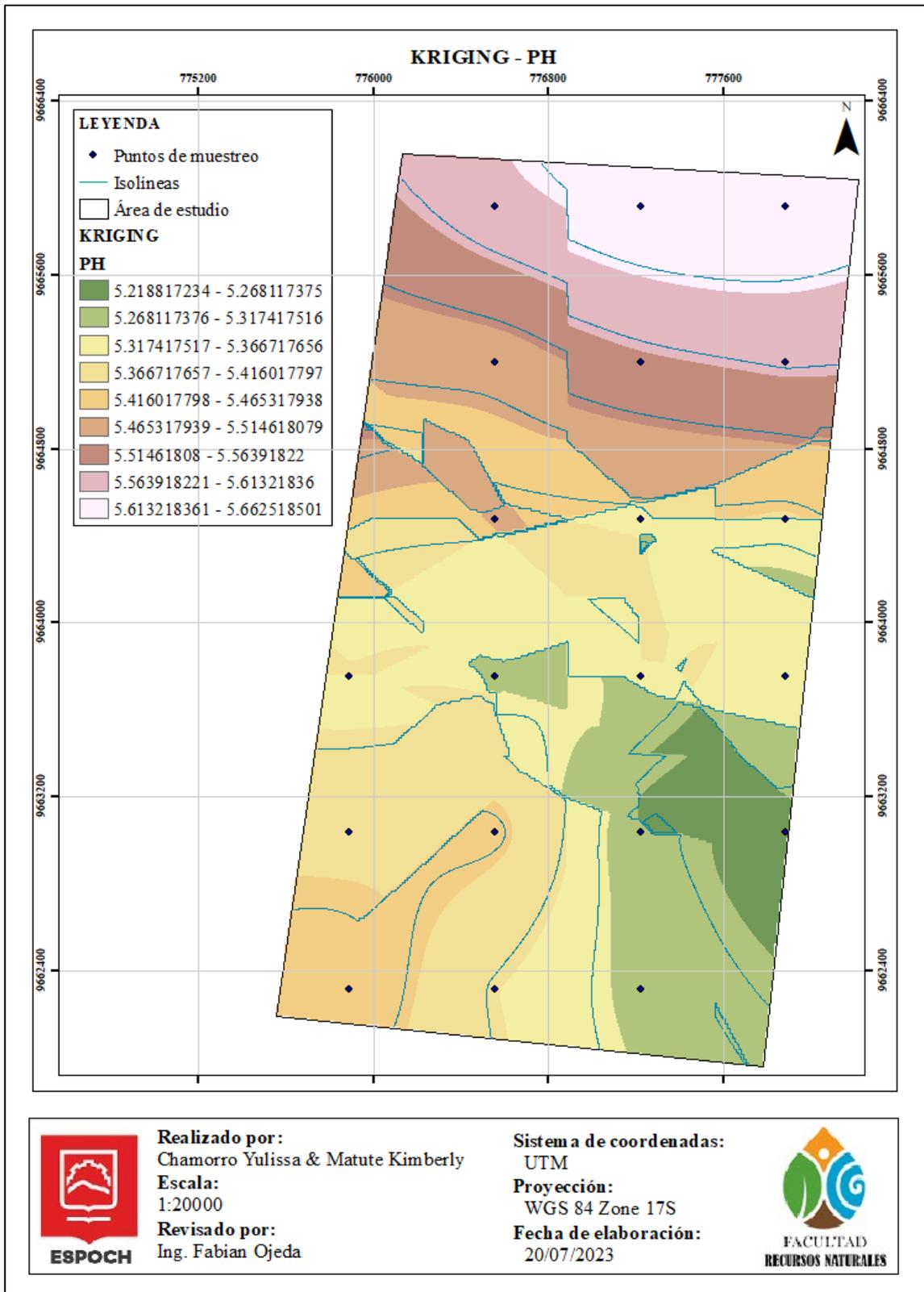
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM

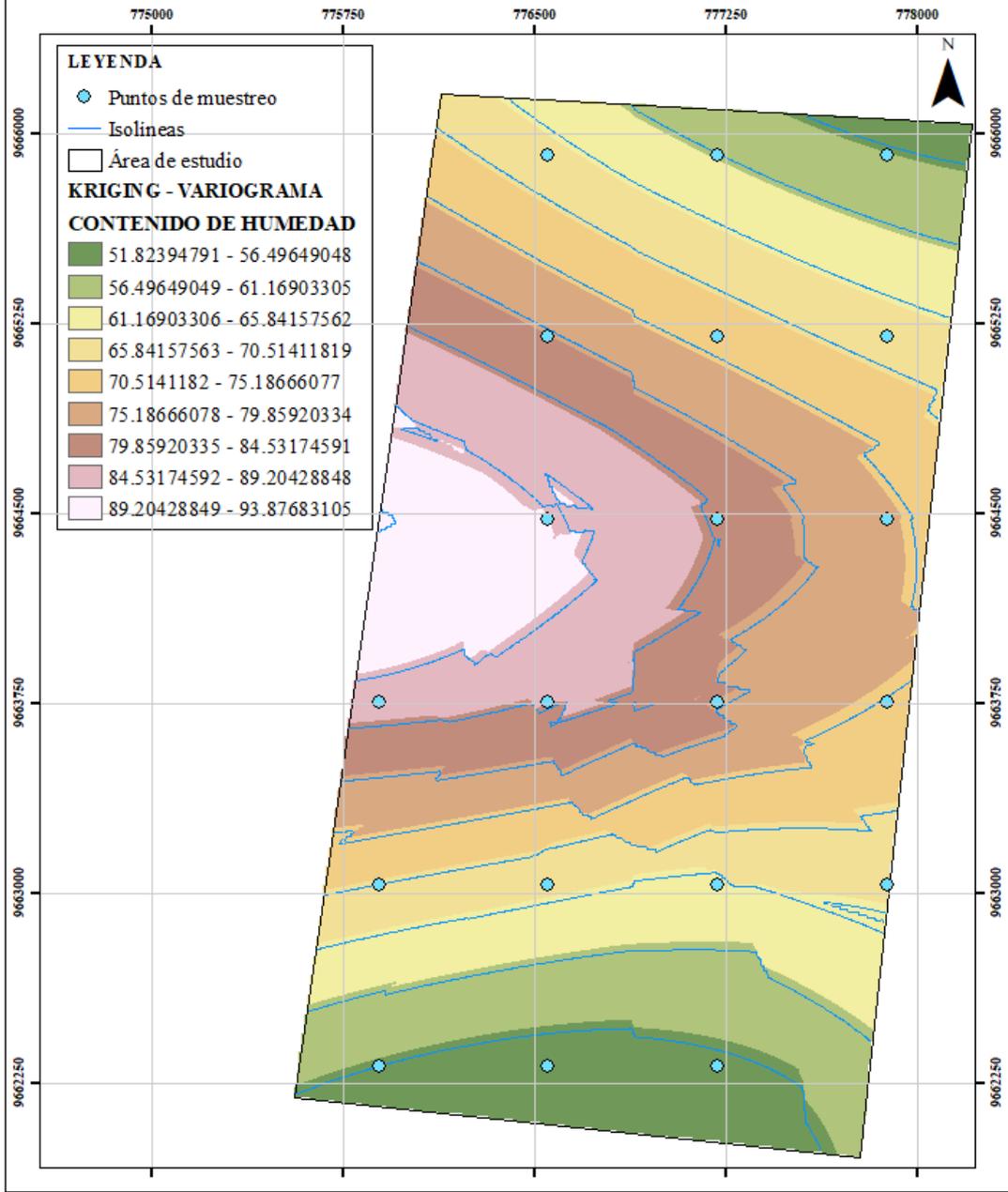
Proyección:
WGS 84 Zone 17S

Fecha de elaboración:
20/07/2023





KRIGING - VARIOGRAMA - CONTENIDO DE HUMEDAD (%)

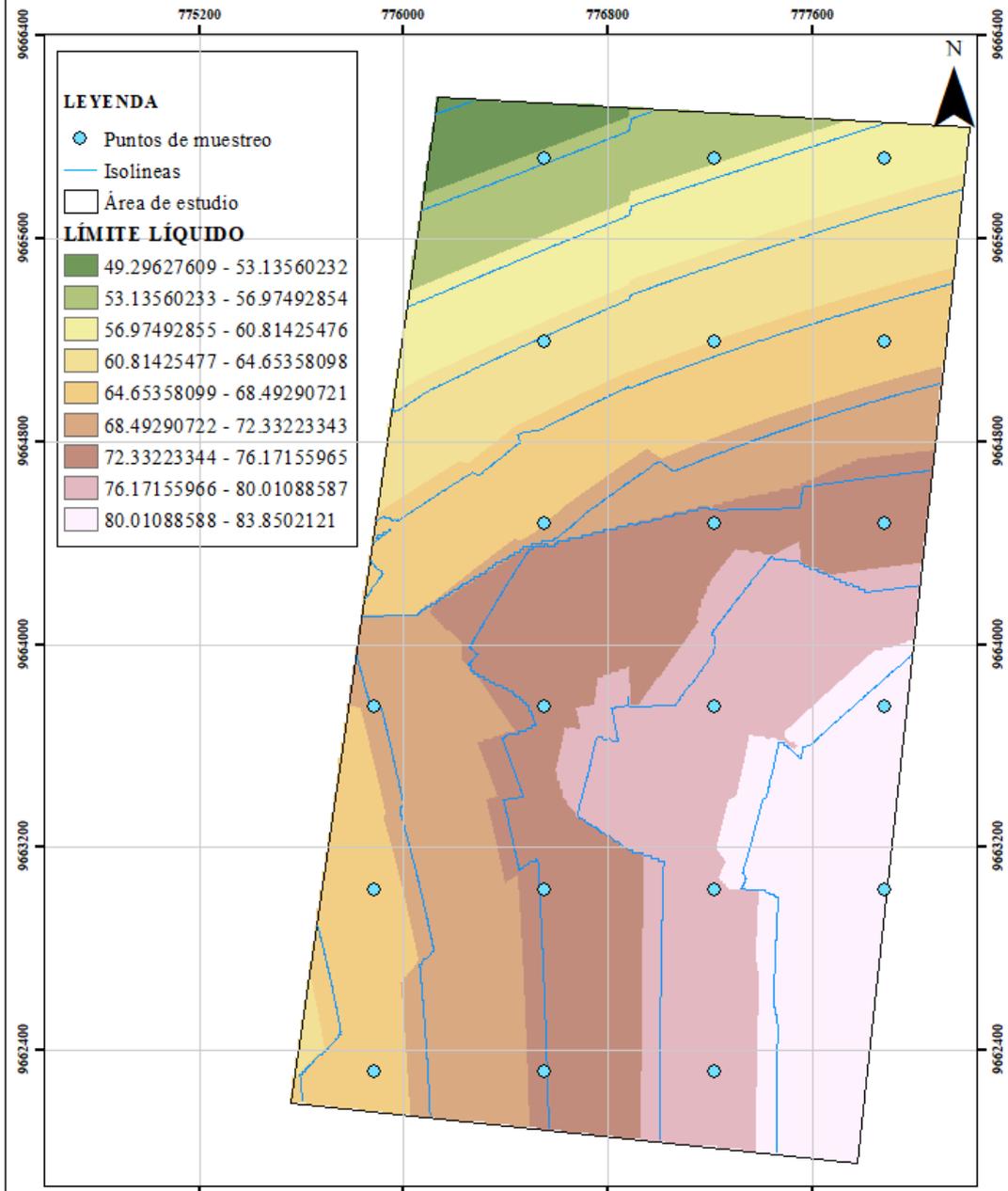


Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
21/07/2023



KRIGING - VARIOGRAMA - LÍMITE LÍQUIDO (%)

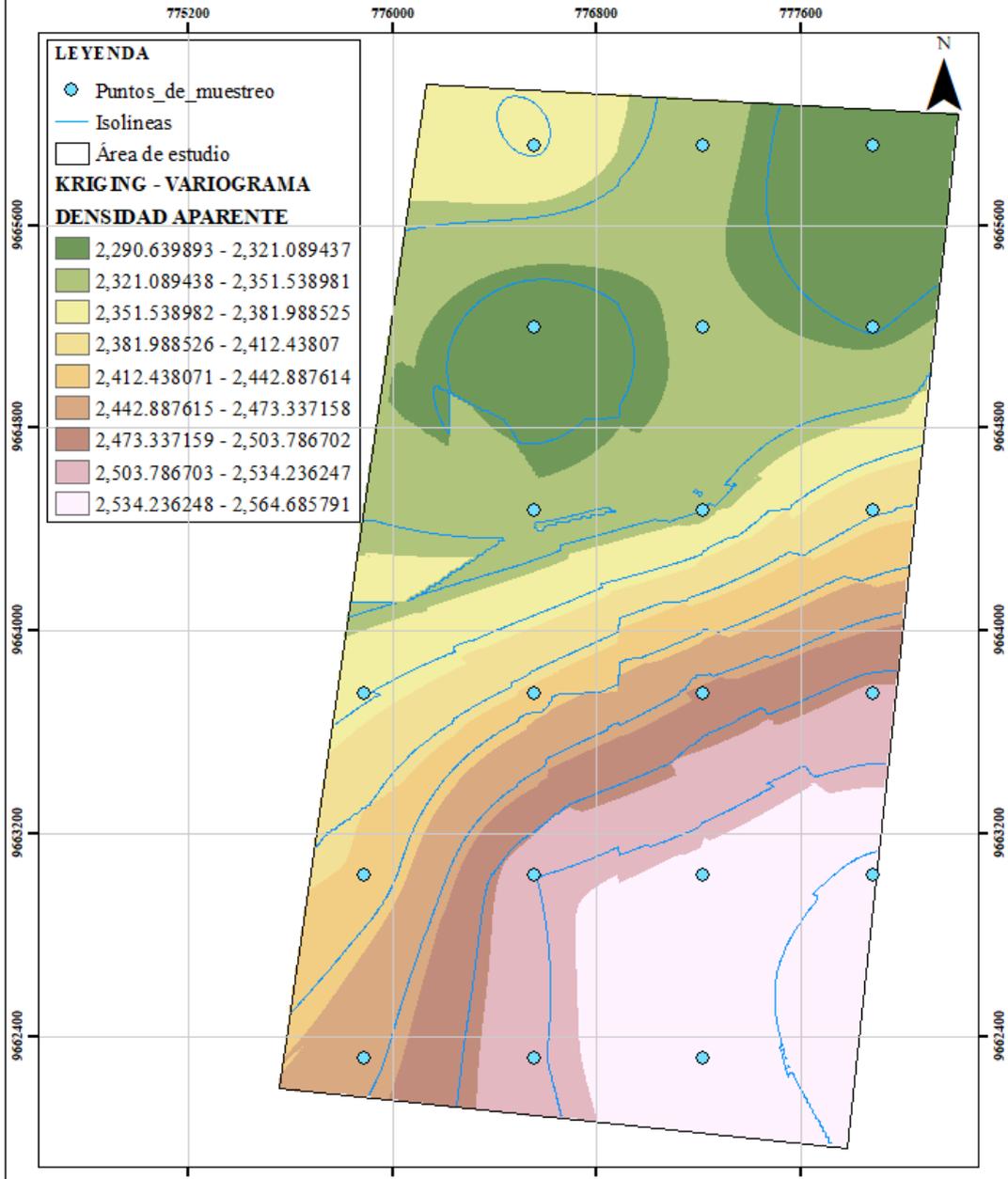


Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
20/07/2023



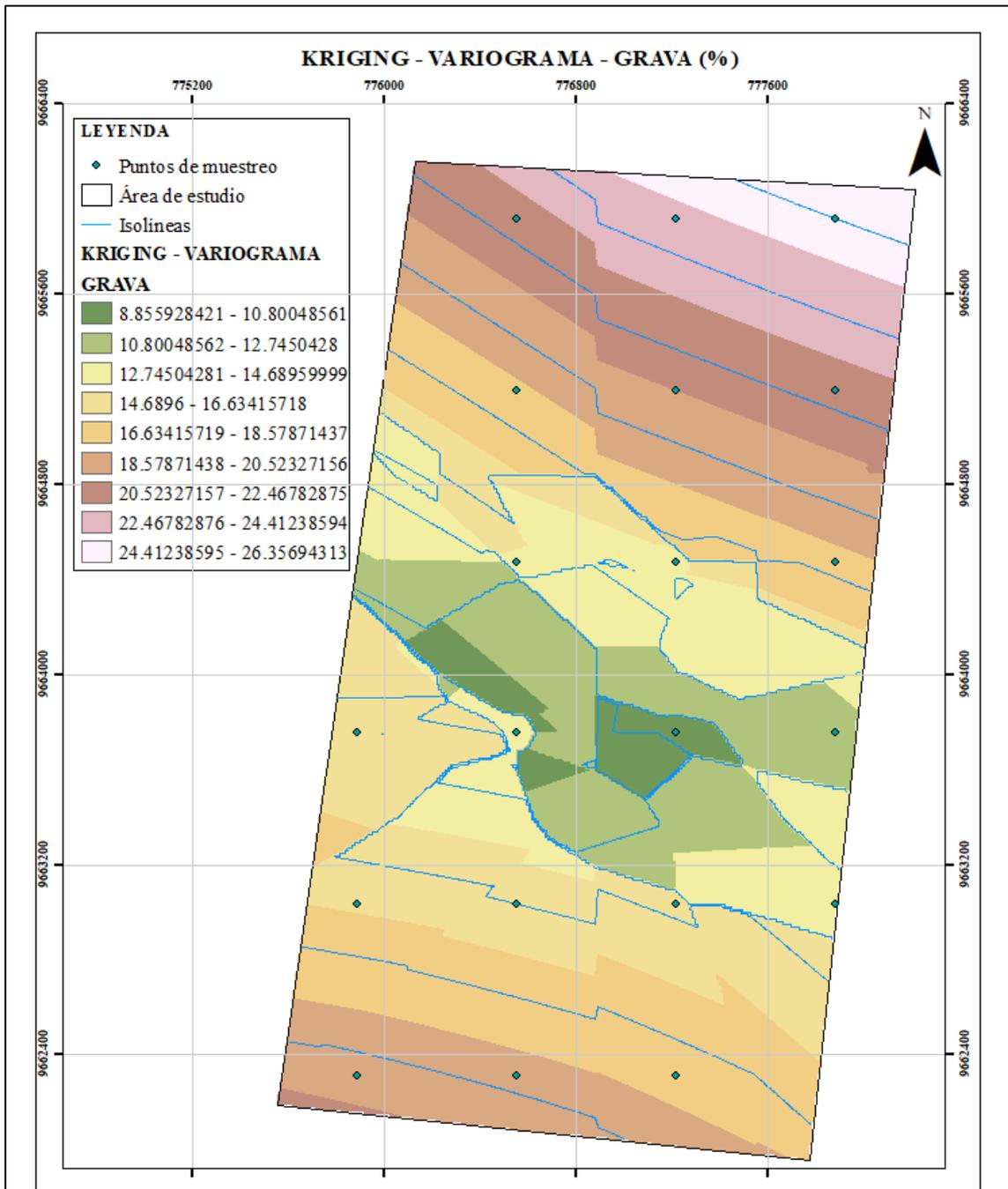
KRIGING - VARIOGRAMA - DENSIDAD APARENTE (kg/cm³)



Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
20/07/2023





Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly

Escala:
1:20000

Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

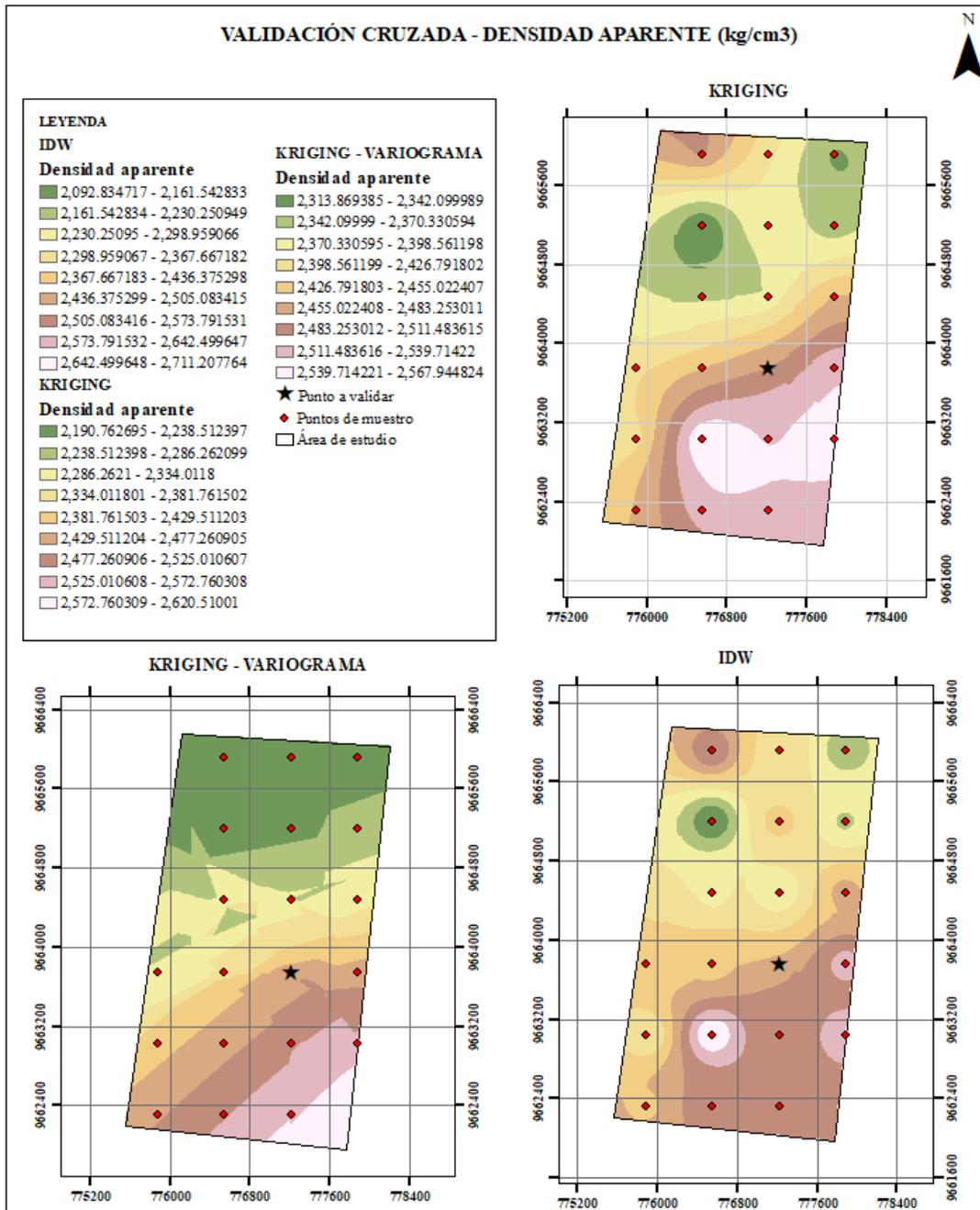
Sistema de coordenadas:
UTM

Proyección:
WGS 84 Zone 17S

Fecha de elaboración:
20/07/2023



ANEXO D: MAPAS DE VALIDACIÓN CRUZADA.





Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly

Escala:
1:20000

Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM

Proyección:
WGS 84 Zone 17S

Fecha de elaboración:
24/07/2023



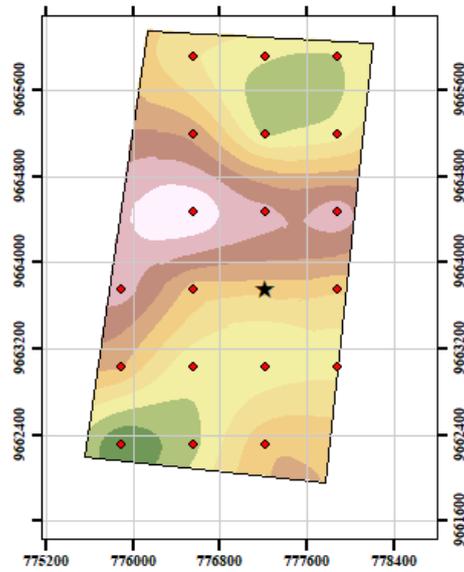
FACULTAD
RECURSOS NATURALES

VALIDACIÓN CRUZADA - CONTENIDO DE HUMEDAD (%)

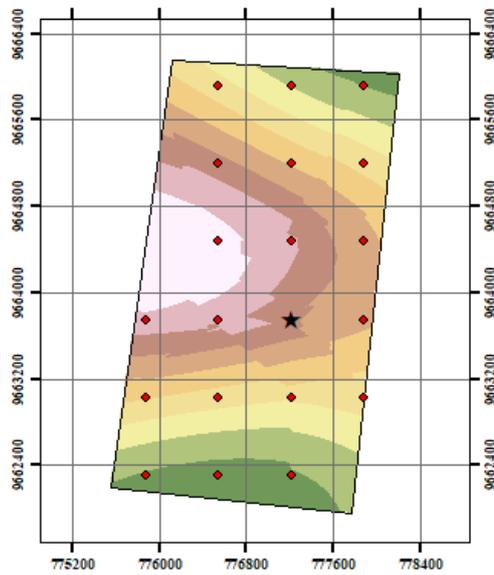


LEYENDA	
KRIGING	
Contenido de humedad	
	26.28284454 - 37.35536194
	37.35536195 - 48.42787933
	48.42787934 - 59.50039673
	59.50039674 - 70.57291412
	70.57291413 - 81.64543152
	81.64543153 - 92.71794891
	92.71794892 - 103.7904663
	103.7904664 - 114.8629837
	114.8629838 - 125.9355011
IDW	
Contenido de humedad	
	26.20253944 - 37.29709371
	37.29709372 - 48.39164797
	48.39164798 - 59.48620224
	59.48620225 - 70.58075651
	70.58075652 - 81.67531077
	81.67531078 - 92.76986504
	92.76986505 - 103.8644193
	103.8644194 - 114.9589736
	114.9589737 - 126.0535278
	★ Punto a validar (1)
	◆ Puntos de muestreo (19)
	□ Área de estudio (1)

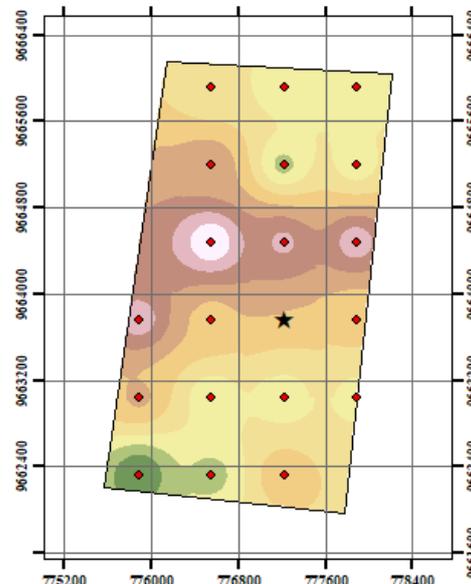
KRIGING



KRIGING - VARIOGRAMA



IDW



Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
24/07/2023



FACULTAD
RECURSOS NATURALES

VALIDACIÓN CRUZADA - LÍMITE LÍQUIDO (%)



LEYENDA

KRIGING

Límite Líquido

40.33789063 - 45.78321075
45.78321076 - 51.22853088
51.22853089 - 56.67385101
56.67385102 - 62.11917114
62.11917115 - 67.56449127
67.56449128 - 73.0098114
73.00981141 - 78.45513153
78.45513154 - 83.90045166
83.90045167 - 89.34577179

IDW

Límite Líquido

31.28473854 - 38.04741075
38.04741076 - 44.81008297
44.81008298 - 51.57275518
51.57275519 - 58.33542739
58.3354274 - 65.0980996
65.09809961 - 71.86077181
71.86077182 - 78.62344403
78.62344404 - 85.38611624
85.38611625 - 92.14878845

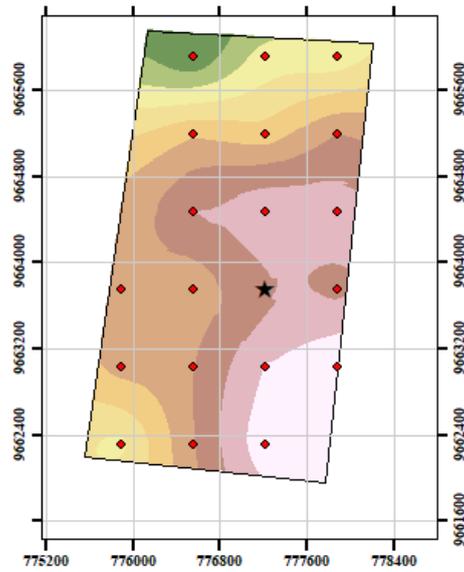
KRIGING - VARIOGRAMA

Límite Líquido

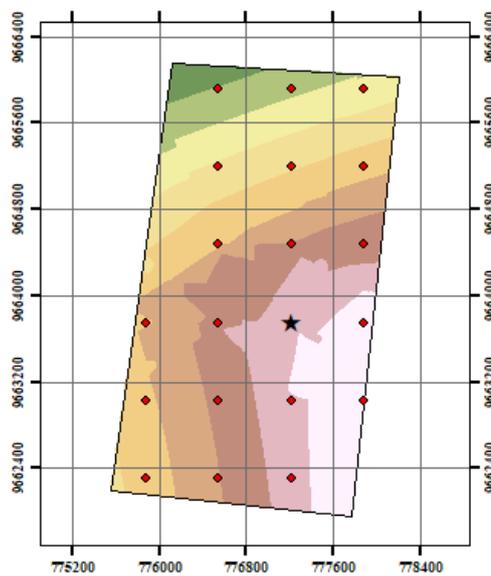
50.0518837 - 53.83835602
53.83835603 - 57.62482834
57.62482835 - 61.41130066
61.41130067 - 65.19777298
65.19777299 - 68.9842453
68.98424531 - 72.77071762
72.77071763 - 76.55718994
76.55718995 - 80.34366226
80.34366227 - 84.13013458

- ★ Punto a validar
- ◆ Puntos de muestreo
- Área de estudio

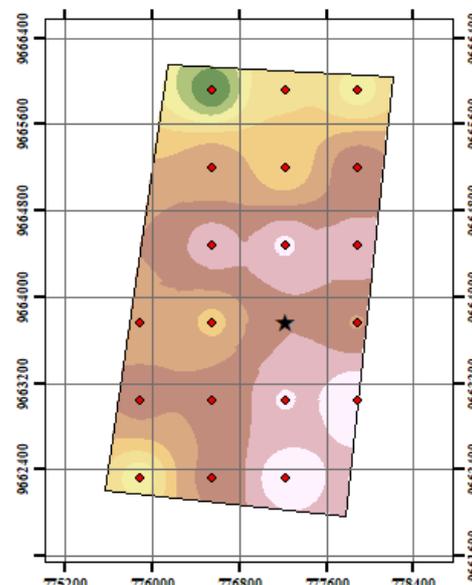
KRIGING



KRIGING - VARIOGRAMA



IDW



ESPOCH

Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
24/07/2023

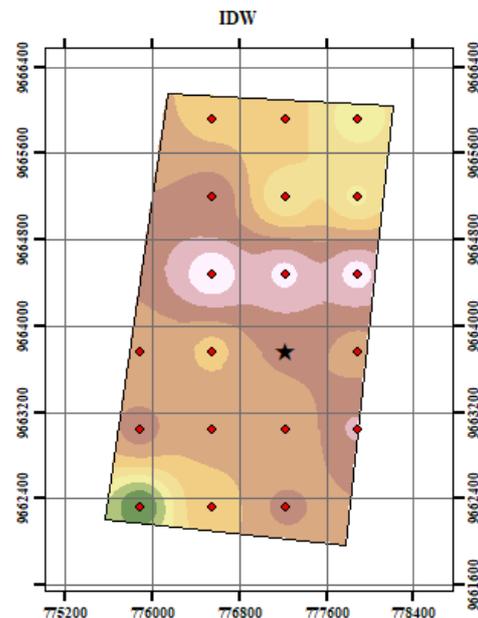
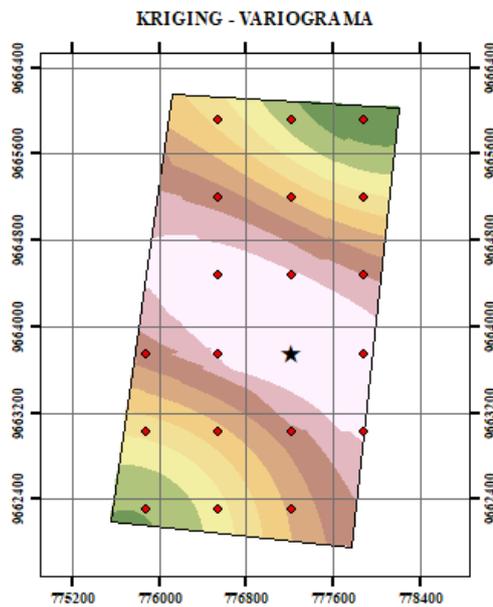
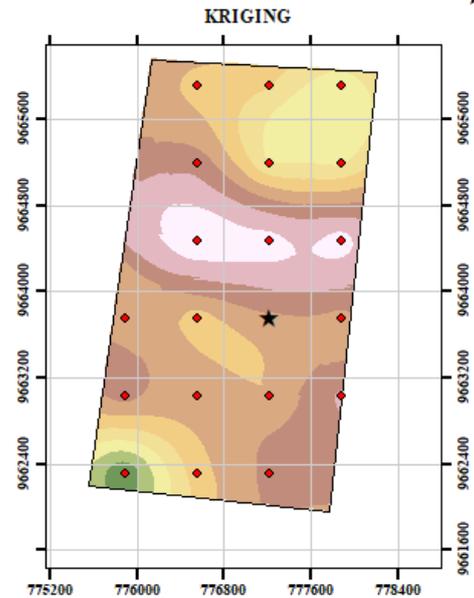


**FACULTAD
RECURSOS NATURALES**

VALIDACIÓN CRUZADA - LÍMITE PLÁSTICO (%)



LE YENDA		KRIGING - VARIOGRAMA	
IDW		Límite Plástico	
33.74142838 - 37.88771651	37.88771652 - 42.03400464	49.29611969 - 50.55824365	50.55824366 - 51.8203676
42.03400465 - 46.18029277	46.18029278 - 50.3265809	51.82036761 - 53.08249156	53.08249157 - 54.34461551
50.32658091 - 54.47286903	54.47286904 - 58.61915716	54.34461552 - 55.60673947	55.60673948 - 56.86886342
58.61915717 - 62.76544529	62.7654453 - 66.91173342	56.86886343 - 58.13098738	58.13098739 - 59.39311133
66.91173343 - 71.05802155		59.39311134 - 60.65523529	
KRIGING		★ Punto a validar	
Límite Plástico		◆ Puntos de muestreo	
33.82534409 - 37.95316993	37.95316994 - 42.08099577	□ Área de estudio	
42.08099578 - 46.20882161	46.20882162 - 50.33664746		
50.33664747 - 54.4644733	54.46447331 - 58.59229914		
58.59229915 - 62.72012499	62.720125 - 66.84795083		
66.84795084 - 70.97577667			



Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
24/07/2023



FACULTAD
RECURSOS NATURALES

VALIDACIÓN CRUZADA - DENSIDAD APARENTE (kg/cm³)



LEYENDA

IDW

Densidad aparente

2,092.834717 - 2,161.542833
2,161.542834 - 2,230.250949
2,230.25095 - 2,298.959066
2,298.959067 - 2,367.667182
2,367.667183 - 2,436.375298
2,436.375299 - 2,505.083415
2,505.083416 - 2,573.791531
2,573.791532 - 2,642.499647
2,642.499648 - 2,711.207764

KRIGING

Densidad aparente

2,190.762695 - 2,238.512397
2,238.512398 - 2,286.262099
2,286.2621 - 2,334.0118
2,334.011801 - 2,381.761502
2,381.761503 - 2,429.511203
2,429.511204 - 2,477.260905
2,477.260906 - 2,525.010607
2,525.010608 - 2,572.760308
2,572.760309 - 2,620.51001

KRIGING - VARIOGRAMA

Densidad aparente

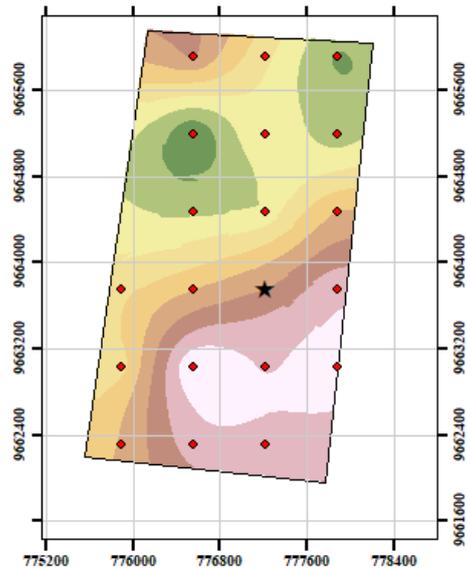
2,313.869385 - 2,342.099989
2,342.09999 - 2,370.330594
2,370.330595 - 2,398.561198
2,398.561199 - 2,426.791802
2,426.791803 - 2,455.022407
2,455.022408 - 2,483.253011
2,483.253012 - 2,511.483615
2,511.483616 - 2,539.71422
2,539.714221 - 2,567.944824

★ Punto a validar

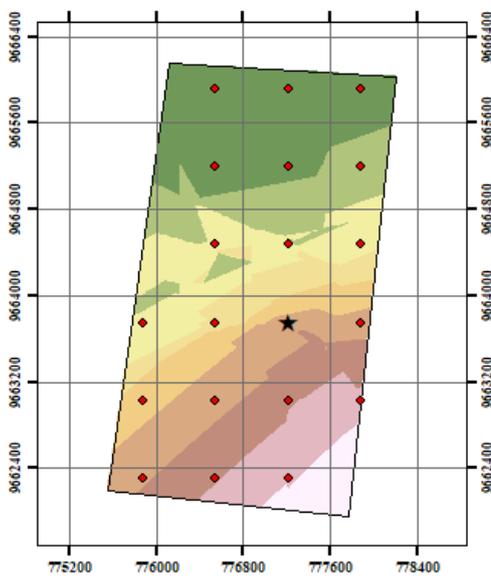
◆ Puntos de muestreo

□ Área de estudio

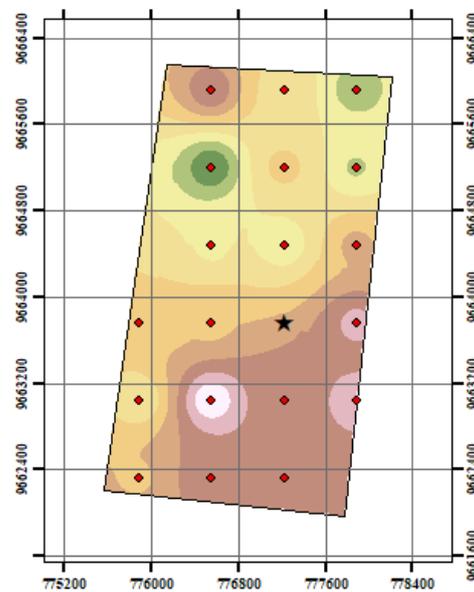
KRIGING



KRIGING - VARIOGRAMA



IDW



ESPOCH

Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
24/07/2023



**FACULTAD
RECURSOS NATURALES**

VALIDACIÓN CRUZADA - GRAVA (%)



LEYENDA

IDW

Grava

0.00212051 - 5.223899007
5.223899008 - 10.4456775
10.44567751 - 15.667456
15.66745601 - 20.8892345
20.88923451 - 26.111013
26.11101301 - 31.33279149
31.3327915 - 36.55456999
36.55457 - 41.77634849
41.7763485 - 46.99812698

KRIGING

Grava

4.769452572 - 8.402087741
8.402087742 - 12.03472291
12.03472292 - 15.66735808
15.66735809 - 19.29999325
19.29999326 - 22.93262842
22.93262843 - 26.56526359
26.5652636 - 30.19789876
30.19789877 - 33.83053393
33.83053394 - 37.4631691

KRIGING - VARIOGRAMA

Grava

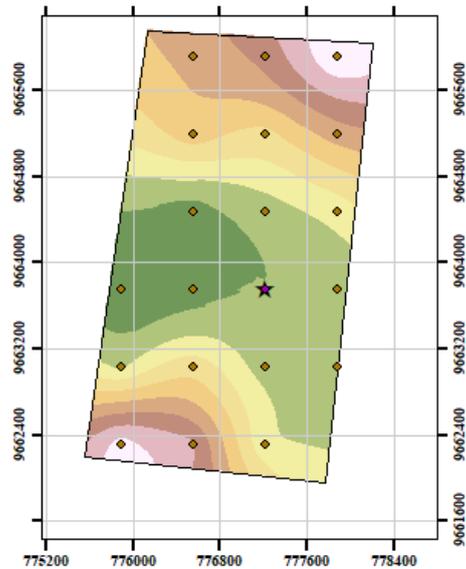
7.887472153 - 9.932176166
9.932176167 - 11.97688018
11.97688019 - 14.02158419
14.0215842 - 16.06628821
16.06628822 - 18.11099222
18.11099223 - 20.15569623
20.15569624 - 22.20040025
22.20040026 - 24.24510426
24.24510427 - 26.28980827

★ Punto a validar

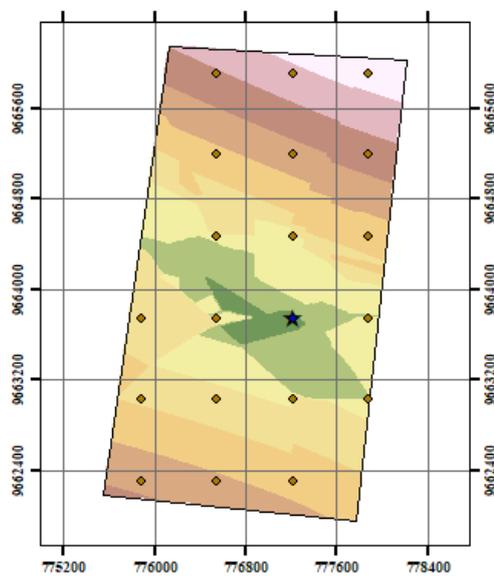
◆ Puntos de muestreo

□ Área de estudio

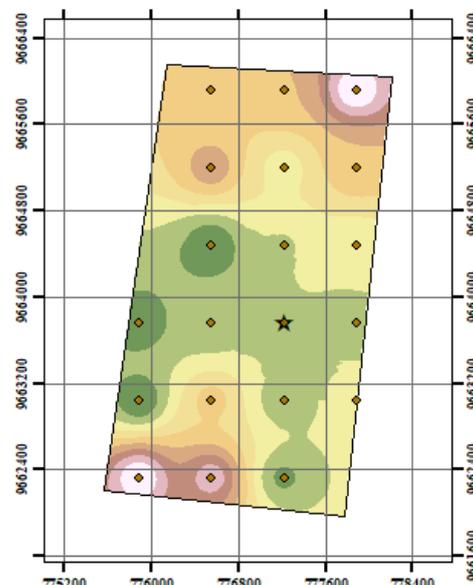
KRIGING



KRIGING - VARIOGRAMA



IDW



ESPOCH

Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly

Escala:
1:20000

Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM

Proyección:
WGS 84 Zone 17S

Fecha de elaboración:
24/07/2023



FACULTAD
RECURSOS NATURALES

VALIDACIÓN CRUZADA - ARENAS (%)



LEYENDA

IDW

Arenas

10.00145531 - 14.44550535
14.44550536 - 18.8895554
18.88955541 - 23.33360545
23.33360546 - 27.7776555
27.77765551 - 32.22170554
32.22170555 - 36.66575559
36.6657556 - 41.10980564
41.10980565 - 45.55385568
45.55385569 - 49.99790573

KRIGING - VARIOGRAMA

Arenas

15.58095551 - 17.53204515
17.53204516 - 19.4831348
19.48313481 - 21.43422445
21.43422446 - 23.38531409
23.3853141 - 25.33640374
25.33640375 - 27.28749339
27.2874934 - 29.23858303
29.23858304 - 31.18967268
31.18967269 - 33.14076233

KRIGING

Arenas

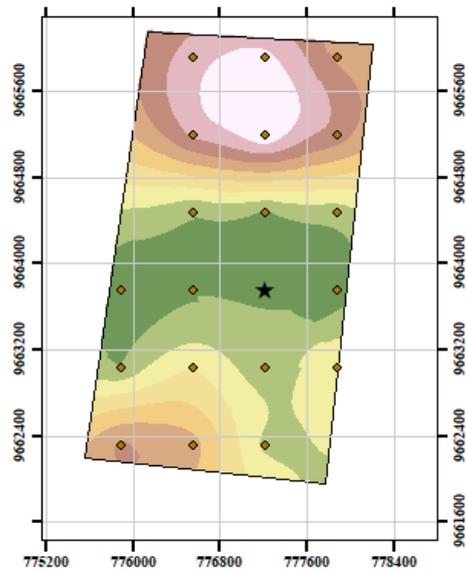
11.24213123 - 14.8224767
14.82247671 - 18.40282218
18.40282219 - 21.98316765
21.98316766 - 25.56351312
25.56351313 - 29.14385859
29.1438586 - 32.72420406
32.72420407 - 36.30454954
36.30454955 - 39.88489501
39.88489502 - 43.46524048

Área de estudio

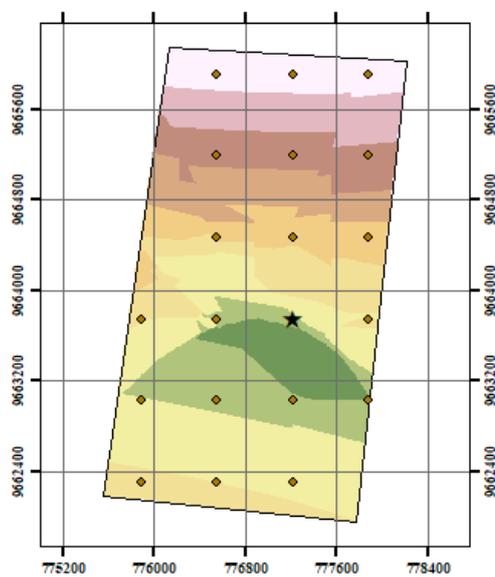
◆ Puntos de muestreo

★ Punto a validar

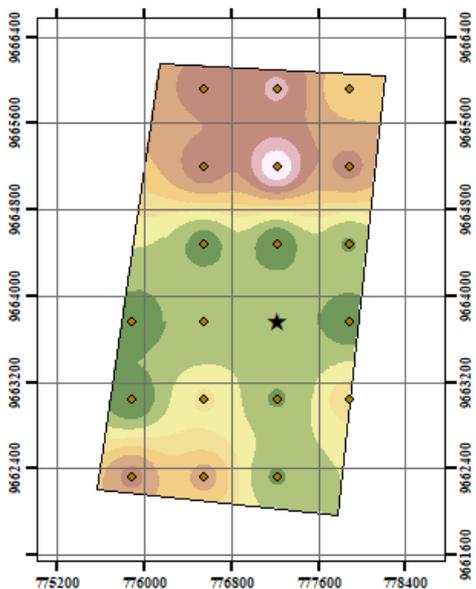
KRIGING



KRIGING - VARIOGRAMA



IDW



ESPOCH

Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
24/07/2023

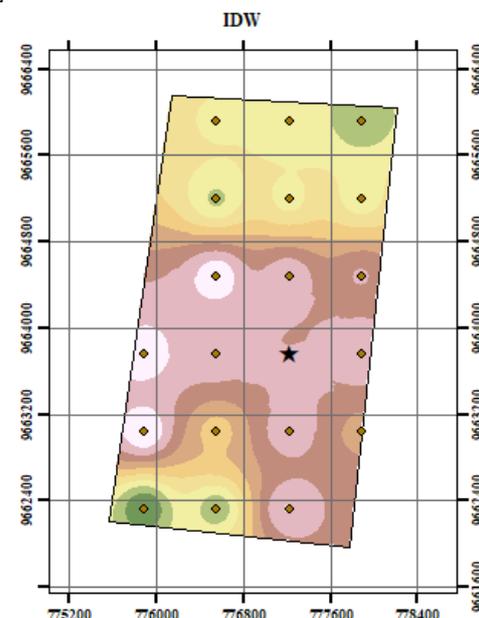
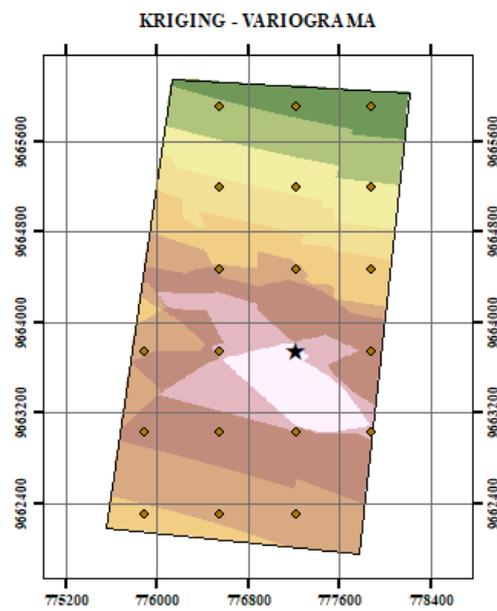
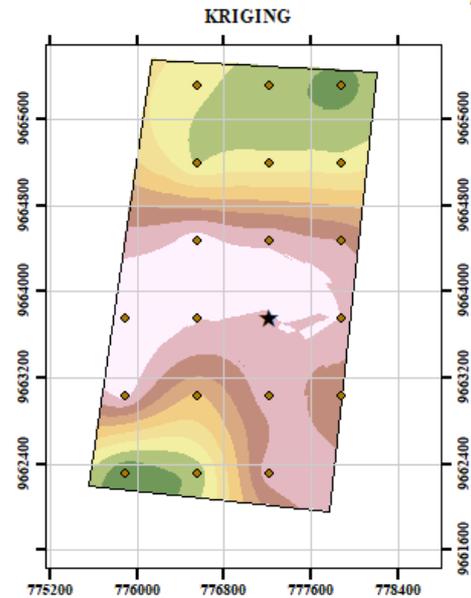


**FACULTAD
RECURSOS NATURALES**

VALIDACIÓN CRUZADA - FINOS (%)



LEYENDA	
IDW	
Finos	
15.00296497 - 23.33554501	43.59247208 - 47.06113603
23.33554502 - 31.66812505	47.06113604 - 50.52979999
31.66812506 - 40.00070508	50.5298 - 53.99846395
40.00070509 - 48.33328512	53.99846396 - 57.46712791
48.33328513 - 56.66586516	57.46712792 - 60.93579186
56.66586517 - 64.99844519	60.93579187 - 64.40445582
64.9984452 - 73.33102523	64.40445583 - 67.87311978
73.33102524 - 81.66360527	67.87311979 - 71.34178374
81.66360528 - 89.9961853	71.34178375 - 74.81044769
KRIGING	
Finos	
20.64097023 - 28.04954868	★ Punto a validar
28.04954869 - 35.45812713	◆ Puntos de muestreo
35.45812714 - 42.86670558	□ Área de estudio
42.86670559 - 50.27528403	
50.27528404 - 57.68386247	
57.68386248 - 65.09244092	
65.09244093 - 72.50101937	
72.50101938 - 79.90959782	
79.90959783 - 87.31817627	



Realizado por:
Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
1:20000
Revisado por:
Ing. Fabian Ojeda

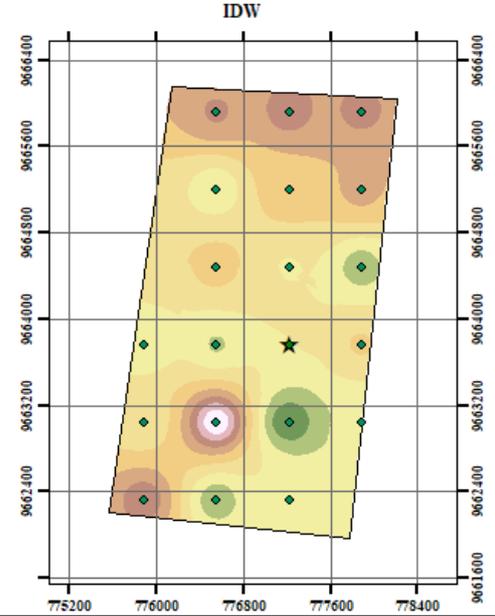
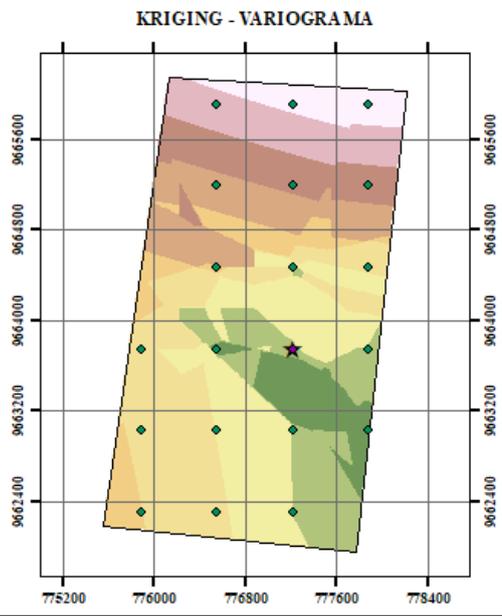
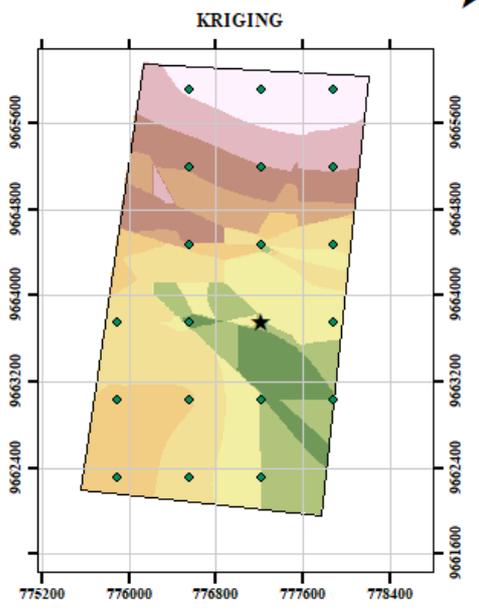
Sistema de coordenadas:
UTM
Proyección:
WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
24/07/2023



VALIDACIÓN CRUZADA - PH



LEYENDA	
IDW	
pH	
	4.560119629 - 4.787858433
	4.787858434 - 5.015597237
	5.015597238 - 5.243336042
	5.243336043 - 5.471074846
	5.471074847 - 5.69881365
	5.698813651 - 5.926552455
	5.926552456 - 6.154291259
	6.15429126 - 6.382030063
	6.382030064 - 6.609768867
KRIGING	
pH	
	5.191379547 - 5.23810837
	5.238108371 - 5.284837193
	5.284837194 - 5.331566016
	5.331566017 - 5.378294839
	5.37829484 - 5.425023662
	5.425023663 - 5.471752485
	5.471752486 - 5.518481308
	5.518481309 - 5.56521013
	5.565210131 - 5.611938953
	Puntos de muestreo
	Punto a validar
	Área de estudio
KRIGING - VARIOGRAMA	
	5.18372345 - 5.240163856
	5.240163857 - 5.296604262
	5.296604263 - 5.353044669
	5.35304467 - 5.409485075
	5.409485076 - 5.465925482
	5.465925483 - 5.522365888
	5.522365889 - 5.578806294
	5.578806295 - 5.635246701
	5.635246702 - 5.691687107



Realizado por:
 Chamorro Yulissa & Matute Kimberly
Escala:
 1:20000
Revisado por:
 Ing. Fabian Ojeda

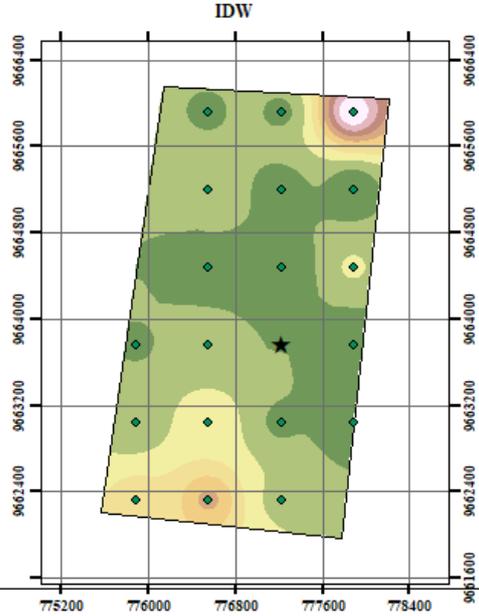
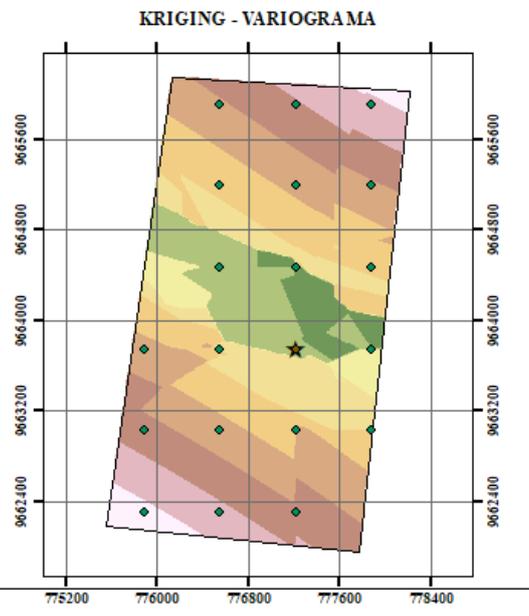
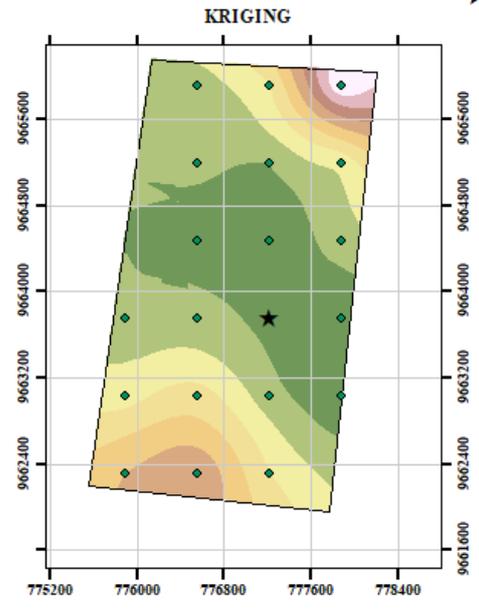
Sistema de coordenadas:
 UTM
Proyección:
 WGS 84 Zone 17S
Fecha de elaboración:
 24/07/2023



VALIDACIÓN CRUZADA - CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)



LEYENDA	
IDW	
Conductividad eléctrica	
	12.65091896 - 20.61091783
	20.61091784 - 28.57091671
	28.57091672 - 36.53091558
	36.53091559 - 44.49091445
	44.49091446 - 52.45091332
	52.45091333 - 60.4109122
	60.41091221 - 68.37091107
	68.37091108 - 76.33090994
	76.33090995 - 84.29090881
	84.29090882 - 92.25090768
KRIGING	
Conductividad eléctrica	
	16.25537109 - 20.63553365
	20.63553366 - 25.01569621
	25.01569622 - 29.39585876
	29.39585877 - 33.77602132
	33.77602133 - 38.15618388
	38.15618389 - 42.53634644
	42.53634645 - 46.91650899
	46.916509 - 51.29667155
	51.29667156 - 55.67683411
	55.67683412 - 60.05700000
	★ Punto a validar
	◆ Puntos de muestreo
	□ Área de estudio



 ESPOCH	Realizado por: Chamorro Yulissa & Matute Kimberly	Sistema de coordenadas: UTM	 FACULTAD RECURSOS NATURALES
	Escala: 1:20000	Proyección: WGS 84 Zone 17S	
	Revisado por: Ing. Fabian Ojeda	Fecha de elaboración: 24/07/2023	



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 17 / 01 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Yulissa Fernanda Chamorro Chacha; Kimberly Adriana Matute Vera
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Minas
Título a optar: Ingeniera en Minas
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



0007-DBRA-UPT-2024