ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

MAPA DE MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICO EN SUBSUELO DE LA PARROQUIA DE CALDERÓN, DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, A ESCALA 1:65 000

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

OPCIÓN: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ROMEL MATEO AMANTA ANDRANGO

romel.amanta@epn.edu.ec

DIRECTOR: PhD. PEDRO SANTIAGO REYES BENITEZ

pedro.reyes@epn.edu.ec

Quito, Febrero de 2020

DECLARACIÓN

Yo, Romel Mateo Amanta Andrango, declaro que el trabajo aquí descrito es de mí autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

ROMEL MATEO AMANTA ANDRANGO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Romel Mateo Amanta Andrango, bajo mi supervisión.

PhD. Pedro Reyes Benítez
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Pedro Reyes, que me ha sabido guiar y apoyar de forma incondicional en el transcurso de la carrera, y a la Ingeniera Alexandra Orozco, por sus valiosos conocimientos y aportes en la realización de este trabajo.

A la Ing. Rocío López, que me dio la oportunidad de estar en esta facultad, y estudiar esta ciencia tan impresionante como lo ha sido hasta ahora.

A la EPMAPS, por haberme dado la oportunidad de ser parte de su equipo, aunque sea en un corto periodo de tiempo, en especial a la Ing. Lilia Peñafiel, y el Ing. Oscar Larrea.

A mis padres, que me dieron la formación más importante: Estar unidos, bajo cualquier circunstancia. A mis dos hermanas y mi hermano.

A Jhonny Lozada, un gran amigo del que todo el tiempo pude contar, y supo extenderme su mano en toda situación, creo que no supe hacer algo parecido por él. A Michel Toro, David López y a todos mis compañeros de la generación y carrera, no los menciono aquí porque no acabo nunca, pero gracias por su amistad. Y con un particular agradecimiento a Gustavo Zapata, por todas esas peripecias del colegio, échale ñeque amigo. Full, full gracias.

Paola Carrasco, eres un golpe de suerte, casualidad, destino, serendipia, banalidad, o pura y mera coincidencia <<míralo como quieras, poco importa>>, pero te tengo una gratitud tremenda también por ayudarme a no convertir en ese “hombre mecánico” de Anthony Burgess, la pelea sigue, pero ya son otros tiempos. Tienes una perceptibilidad muy extraña y única de la vida, lo sabes.

Y para aquella Luz, que me acompañó en un tramo de gran valor en mi vida y que siempre llevo en mi ser, como alguna vez leí “*basta un pequeño rayo de luz para espantar muchas sombras*”.

DEDICATORIA

"A mi hermano, que aún tengo tantas cosas que enseñarle,

y él tantas cosas que enseñarme".

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN I
CERTIFICACIÓN II
AGRADECIMIENTO III
DEDICATORIA IV
ÍNDICE DE CONTENIDO V
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS VIII
ÍNDICE DE FIGURAS IX
ÍNDICE DE TABLAS XII
ÍNDICE DE ANEXOS XIII
RESUMEN 1
ABSTRACT 2
1. INTRODUCCIÓN 3
1.1 ANTECEDENTES 3
1.2 JUSTIFICATIVOS 3
1.3 ALCANCE 5
1.4 OBJETIVOS 6
1.4.1 OBJETIVO GENERAL 6
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
1.5 MARCO REFERENCIAL 7
1.5.1 UBICACIÓN 7
1.5.2 CLIMA Y PRECIPITACIÓN 7
1.5.3 VEGETACIÓN 8
1.5.4 USO DEL SUELO 9
1.5.5 HIDROGRAFÍA 12
1.5.6 DATOS GENERALES 13
2. MARCO GEOLÓGICO 15
2.1 AMBIENTE GEODINÁMICO ACTUAL 15
2.2 GEOLOGÍA REGIONAL 16
2.2.1 CORDILLERA REAL 17
2.2.2 CORDILLERA OCCIDENTAL 18
2.2.3 VALLE INTERANDINO (IAV) 19

2.3 GEOLOGÍA LOCAL 20
2.3.1 GEOMORFOLOGÍA 21
2.3.2 LITOESTRATIGRAFÍA 23
2.3.3 CONFIGURACIÓN TECTÓNICA 32
2.3.4 VOLCANISMO Y SISMISIDAD 34
3. MECÁNICA DE SUELOS 36
3.1 INTRODUCCIÓN 36
3.1.1 FORMACIÓN DE LOS SUELOS 36
3.2 TIPOS DE SUELOS 38
3.2.1 SUELOS GRANULARES Y COHESIVOS 38
3.2.2 SUELOS ORGÁNICOS 39
3.2.3 RELLENOS 39
3.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS 39
3.3.1 GRANULOMETRÍA 39
3.3.2 PLASTICIDAD 41
3.4 RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS 45
3.4.1 ÍNDICE DE VACÍOS (e) 45
3.4.2 POROSIDAD (n) 45
3.4.3 PESO ESPECÍFICO (G) 46
3.4.4 PESO ESPECÍFICO SECO (γd) 46
3.4.5 PESO ESPECÍFICO SATURADO (γsat) 46
3.4.6 HUMEDAD (W) 46
3.4.7 PESO ESPECÍFICO APARENTE (γap) 47
3.4.8 GRADO DE SATURACIÓN (Sr) 47
3.4.9 DENSIDAD RELATIVA (Dr) 47
3.5 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LOS SUELOS 48
3.5.1 PERMEABILIDAD 48
3.5.2 RESISTENCIA AL CORTE 49
3.5.3 COMPACTACIÓN 50
3.6 CAPACIDAD PORTANTE 51
3.6.1 MÉTODO DE TERZAGHI 51
3.6.2 MÉTODO DE MEYERHOF 52
3.6.3 CAPACIDAD PORTANTE EN FUNCIÓN DEL SPT 54
3.7 CLASIFICACIÓN DE SUELOS 55

3.7.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.) 55
4. MARCO METODOLÓGICO 58
4.1 INFORMACIÓN RECOLECTADA 58
4.2 ANÁLISIS DE SATURACIÓN DE AGUA EN EL SUELO 58
4.3 CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA 60
4.4 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S) Y LÍMITES ATTERBERG 60
4.5 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD PORTANTE 60
4.6 PERFILES DE CORRELACIÓN GEOTÉCNICA 61
4.7 ELABORACIÓN DE MAPAS GEOTÉCNICOS 61
4.7.1 Mapa de clasificación granulométrica S.U.C.S. 62
4.7.2 Mapa de distribución de la Capacidad Portante 62
4.8 MAPA DE MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA 63
5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS 64
5.1 ANÁLISIS DE SATURACIÓN DE AGUA EN EL SUELO 64
5.2 CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA 68
5.3 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD PORTANTE Y PRUEBAS DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) 72
5.4 MAPA DE CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA S.U.C.S. 73
5.5 MAPA DE LA CAPACIDAD PORTANTE 80
5.6 MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA 84
5.6.1 LITOLOGÍA 84
5.6.2 PENDIENTES 85
5.6.3 MECÁNICA DE SUELOS 85
5.6.4 VEGETACIÓN 87
5.6.5 MAPAS DE MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA 90
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 92
6.1 CONCLUSIONES 92
6.2 RECOMENDACIONES 94
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 96
ANEXOS 103

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ASTM: American Society for Testing and Materials.

CL: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.

DMQ: Distrito Metropolitano de Quito.

EPMAPS: Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.

GM: Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.

GP: Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.

IL: Índice Líquido.

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

IP: Índice Plástico.

LEMSUR: Laboratorio de Ensayos de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas.

LL: Límite Líquido.

LP: Límite Plástico.

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

ML: Limos orgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.

γ_d**:** Peso específico seco.

γ_{sat}**:** Peso específico saturado.

γ_{ap}**:** Peso específico aparente.

Φ: Ángulo de fricción interna.

***q*:** Sobrecarga.

q_a**:** Carga admisible.

SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

SP: Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.

SPT: Standard Penetration Test.

S.U.C.S.: Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos. Sociedad Norteamericana de Ensayos y Materiales.

W: Contenido de humedad.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de ubicación del área de estudio (elaborado por Amanta Romel)..... 7

Figura 1.2: Precipitaciones medias mensuales (tomado del Informe final EMSEGURIDAD, 2017). 8

Figura 1.3: Mapa de Plan de Uso y Ocupación de Suelo de la Parroquia de Calderón (modificado del STHV - DMPPS, 2018). 11

Figura 1.4: Mapa de Microcuencas Hidrográficas de 6to nivel según Bievre y Coello, 2008 (realizado por Amanta Romel). 12

Figura 2.1: Morfología del margen ecuatoriano (tomado de Gutcher et al., 1999). 15

Figura 2.2: Configuración geológica del Ecuador y sus principales fallas (tomado de Aspden & Litherland, 1991).....17

Figura 2.3: Altos geomorfológicos de la Cuenca Quito-Guayllabamba: CCR: Calderón-Catequilla Ridge, BBR: Batán-La Bota Ridge, IPR: Ilumbisí-Puengasí Ridge, y las principales estructuras tectónicas (modificado de Villagómez et al., 2002) 21

Figura 2.4: Mapa de pendientes para zonas susceptibles a Fenómenos de Remoción en Masa (FRM). Clasificación según Ayala, 2015., y sismos registrados de 1986 al 2019, según la USGS (realizado por Amanta Romel) 22

Figura 2.5: Mapa Geológico del Valle Interandino Central (Quito-San Antonio de Pichincha-Guayllabamba), el rectángulo rojo marca el área de estudio, ver leyenda en Fig. 2.6a., (modificado de Villagómez, 2003). 24

Figura 2.6: a) Leyenda litológica y estructural propuesta en el Mapa Geológico del Valle Interandino Central b) Corte geológico A-A´ en dirección WNW-ESE (modificado de Mapa Geológico de Villagómez, 2003) 25

Figura 2.7: Correlación estratigráfica para las principales cuencas del Valle Interandino (tomado de Winkler et al., 2005) 26

Figura 2.8: Mapa neotectónico de las principales fallas de Quito: Sistema de Fallas de Quito (QFS) y Sistema de Fallas Guayllabamba (GFS). El área en rojo marca la zona de estudio. (modificado de Alvarado et al., 2014) 33

Figura 2.9: Distribución local de microsismos en Quito entre los años 1994-2009, de magnitudes de 3.0-5.3 Mw en la escala de Richter. El área en rojo marca la zona de estudio (modificado de Alvarado et al., 2014). 35

Figura 3.1: Formación de los suelos (tomado de Vallejo et al., 2002). 36

Figura 3.2: Tipos de ambientes de depositación terrígenos (modificado de Earle, 2015). 37

Figura 3.3: Relación entre el tamaño de la partícula con base en los tres sistemas más usados (tomado de Schaetzl & Anderson, 2005). 38

Figura 3.4: Granulometría de partículas (tomado de Vallejo et al., 2002). 40

Figura 3.5: Cambios conceptual de las fases del suelo en función de su contenido en agua (tomado de Samtani & Nowatzki, 2006). 41

Figura 3.6: Carta de Plasticidad para el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos ASTM (tomado de Carter, 2016). El tipo de suelo se marca con la primera letra, C = arcilla; M = limo; O = suelo orgánico; S = arena, y la Plasticidad como segunda letra, H = alta y L = baja. 45

Figura 3.7: Valores típicos de permeabilidad para los suelos. Adaptado de Casagrande y Fadum (modificado de Carter, 2016). 49

Figura 3.8: Cimentación con franja poco profunda (tomado de Braja & Khaled, 2014)....51

Figura 4.1: Esquema de la metodología empleada dentro del proyecto de investigación. 58

Figura 5.1: Mapa de Isoyetas entre los periodos de 1985 al 2015 según datos del INAMHI (elaborado por Amanta Romel).....64

Figura 5.2: Precipitaciones mensuales medias entre 1985 y 2015, según datos del INAMHI. 65

Figura 5.3: Valores de contenido de humedad de los diferentes sondeos presentados por la EMAPS (elaborado por Amanta Romel).....65

Figura 5.4: Valores del peso unitario seco y peso unitario húmedo de los diferentes sondeos realizados por la EMAPS (elaborado por Amanta Romel) 66

Figura 5.5: Imágenes satelitales Landsat 8 tipo "NDVI". Imagen superior tomada el 22 de abril de 2019, imagen inferior tomada el 14 de octubre de 2019 (realizado por Amanta Romel). 67

Figura 5.6: Fotografías satelitales 1: 5 000 de 2010, de los deslizamientos predominantes en el área de estudio (imágenes cortesía de MAG-SIGTIERRAS).....68

Figura 5.7: Escarpes y zonas de deslizamientos, visto desde borde oriental del Barrio “La Pradera”, UTM: 788720, 9992692.....69

Figura 5.8: Deslizamientos actuales, avenida 17 de Marzo, margen Sur de la quebrada Chaquishcahuayco, UTM: 784678, 9986229. 69

Figura 5.9: Socabamientos sobre la base de la Fm. Cancaghua, visto desde el margen occidental de la quebrada Carretas antes de unirse al río Cofanes, UTM: 783709, 9991680.....70

Figura 5.10: Formación de cárcavas en cangahua retrabajada, visto desde las calles Eloy Alfaro y de Los Narcisos. A: UTM: 784010, B: UTM: 783887, 9992499 70

Figura 5.11: Erosión hídrica presente en cangahua retrabajada. Calle de los Narcisos y Eloy Alfaro. UTM: 784010, 9992606. 70

Figura 5.12: Caracterización cualitativa para los movimientos en masa dentro del área de estudio y orientación de los perfiles de correlación geotécnico (Anexo 6). Sismos registrados desde 1986 al 2020, según la USGS (realizado por Amanta Romel).....71

Figura 5.13: Clasificación de los suelos de grano fino según la carta de plasticidad de 0 a 2 m. 74

Figura 5.14: Distribución de la clasificación S.U.C.S., de 0 a 2 m. 74

Figura 5.15: Mapa de Clasificación S.U.C.S., de 0 a 2 m de profundidad (elaborado por Amanta Romel). 75

Figura 5.16: Clasificación de los suelos de grano fino según la carta de plasticidad de 2 a 4 m. 76

Figura 5.17: Distribución de la clasificación S.U.C.S., de 2 a 4 m. 76

Figura 5.18: Mapa de Clasificación S.U.C.S., de 2 a 4 m de profundidad (elaborado por Amanta Romel). 77

Figura 5.19: Clasificación de los suelos de grano fino según la carta de plasticidad de 4 a 6 m. 78

Figura 5.20: Distribución de la clasificación S.U.C.S., de 4 a 6 m. 78

Figura 5.21: Mapa de Clasificación S.U.C.S., de 4 a 6 m de profundidad (elaborado por Amanta Romel). 79

Figura 5.22: Capacidad portante y el área aproximada ocupada en los distintos metros de subsuelo (elaborado por Amanta Romel).....80

Figura 5.23: Mapa de Capacidad portante de 0 a 2 m de profundidad (realizado por Amanta Romel).....81

Figura 5.24: Mapa de Capacidad portante de 2 a 4 m de profundidad (realizado por Amanta Romel).....82

Figura 5.25: Mapa de Capacidad portante de 4 a 6 m profundidad (realizado por Amanta Romel).....83

Figura 5.26: Mapa de Zonificación Geotécnica de 2 a 4 m (elaborado por Amanta Romel). 90

Figura 5.27: Mapa de Zonificación Geotécnica de 4 a 6 m (elaborado por Amanta Romel). 91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Cambio del uso del suelo y cobertura de la tierra. 2000-2014 (modificado de PDYOT, 2015). 9

Tabla 1.2: Plan de Uso y Ocupación del Suelo para la Parroquia de Calderón 10

Tabla 2.1: Clasificación de pendientes mostrada en grados (modificado de Suárez, 1998) 23

Tabla 3.1: Representación cualitativa del Índice de Plasticidad (tomado de Braja & Khaled, 2014). 43

Tabla 3.2: Concepto de fases, resistencia y deformación del suelo en función del Índice de Liquidez IL (tomado de Samtani & Nowatzki, 2006). 44

Tabla 3.3: Correlación de los suelos expansivos en función de su índice de plasticidad (Modificado de Carter & Bentley et al., 2016).....44

Tabla 3.4: Densidad relativa de un suelo (tomado de Braja & Khaled, 2014). 48

Tabla 3.5: Compacidad de los suelos granulares que son retenidos en el tamiz número 200 en función de las relaciones gravimétricas y volumétricas (tomado de Vallejo et al., 2002). 50

Tabla 3.6: Compacidad de los suelos finos que pasan por el tamiz número 200 en función de las relaciones gravimétricas y volumétricas (tomado de Vallejo et al., 2002). 50

Tabla 3.7: Coeficientes de Capacidad de carga según su ángulo de fricción interna (modificado de Braja & Khaled, 2014).....52

Tabla 3.8: Coeficientes de Capacidad de Carga definidos por Mayerhof (modificado de Braja & Khaled , 2014).....53

Tabla 3.9: Capacidad de Carga admisible en función de N y B (modificado de Braja & Khaled, 2014). 54

Tabla 3.10: Correlación del esfuerzo admisible por Terzaghi y Peck (modificado de Vallejo et al., 2002). 55

Tabla 3.11: Sistema unificado de clasificación de suelos S.U.C.S., por la ASTM (modificado de Vallejo et al., 2002). 57

Tabla 4.1: Estaciones meteorológicas del INAMHI cercanas al área de estudio (ubicación de los puntos en la Figura 5.1).....59

Tabla 4.2: Correlación de número de golpes SPT con el ángulo de fricción interna y la densidad relativa (modificado de Vallejo et al., 2002) 61

Tabla 4.3: Correlación del número de golpes SPT con respecto a la carga admisible [T/m2] (modificado de Vallejo et al., 2002).....61

Tabla 4.4: Valores de ponderación de las características utilizadas en la Zonificación Geotécnica. 63

Tabla 5.1: Valor ponderado para la variable de litología.....84

Tabla 5.2: Valor ponderado para la variable de las pendientes. 85

Tabla 5.3: Valor ponderado para la variable de Clasificación de suelos S.U.C.S. 86

Tabla 5.4: Valor ponderado para la variable de la capacidad portante. 87

Tabla 5.5: Valor ponderado para la variable de vegetación. 87

Tabla 5.6: Valoración cualitativa de la Zonificación Geotécnica. 88

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Tabla de ensayos SPT y Calicatas de los siete proyectos de la EPMAPS. 104

Anexo 2: Propiedades físicas de los suelos. 106

Anexo 3: Ensayos de clasificación. 107

Anexo 4: Correlación de las propiedades físicas. 111

Anexo 5: Correlación de las propiedades físicas en función del SPT 115

Anexo 6: Perfiles de correlación geotécnica. 121

Anexo 7: Valores de precipitación mensual media de 1985 al 2015, según datos de la INAMHI. 128

RESUMEN

La Parroquia de Calderón se caracteriza por estar cubierta en su mayor parte por volcanosedimentos del Cuaternario como la Formación Cangahua, volcánicos primarios del Pululahua, de la Fm. Guayllabamba y deslizamientos antiguos y recientes. Esta litología de tipo volcanosedimentaria al estar expuesta a diversos fenómenos naturales y antrópicos han provocado la formación de cárcavas, agrietamientos, movimientos en masa, entre otros.

Para entender las características físicas de los suelos de forma espacial, se han elaborado mapas geotécnicos hasta una profundidad máxima de 6 m, basados en datos de campo, como registro de calicatas, ensayos de penetración estándar (SPT), y descripciones visuales-cualitativas de siete proyectos realizados entre el 2005 al 2019 a cargo de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito.

Mediante la superposición de mapas de clasificación granulométrica según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S), la identificación de los movimientos en masa, la caracterización de la Capacidad portante, mapas geológicos preexistentes y las correlaciones de perfiles geotécnicos, se han establecido y caracterizado cinco zonas geotécnicas: Zona I (excelente), Zona II (buena), Zona III (regular), Zona IV (mala) y Zona V (muy mala), que describen de forma cualitativa el comportamiento geomecánico de los suelos. Se ha determinado, además, que los suelos SM y ML son los que mayoritariamente predominan, entre el 84 y 87% en los metros más profundos, mismos que contienen un comportamiento plástico bajo a nulo y un grado de compactación mediano a denso. Estos suelos dentro del área de estudio se han visto condicionados a las altas pendientes debido a la configuración tectónica actual y los factores climáticos-antrópicos como son la escasa cobertura vegetal y rellenos, los cuales han sido los principales condicionantes en el desarrollo de los movimientos en masa presentes.

PALABRAS CLAVE: Geotecnia, Quito, Calderón, Suelos, SUCS, Capacidad Portante.

ABSTRACT

The area of Calderón is mostly covered by Quaternary volcanic sediments such as Fm. Cangahua, primary volcanic sediments from Pululahua volcano, Guayllabamba Fm. and old and recent landslides. This type of lithology had been exposed to various natural and anthropic phenomena that has caused the formation of gullies, cracks, mass movements, among others.

To understand the physical characteristics of the soils in a spatial way, geotechnical maps have been developed until a maximum depth of 6 m, based on field data in records of calicatas, statandar penetration test (SPT), and the visual-qualitative descriptions of seven projects carried out between 2005 and 2019 by Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito.

Through superimposing maps of granulometric classifications by the Unified Soil Classification Sistem (USCS), Mass Movements, Bearing Capacity, pre-existents geological maps and correlations of geotechnical profiles, five geotechnical zones had been characterized: Zone I (excellent), Zone II (good), Zone III (regular), Zone IV (bad) and Zone V (very bad), which describe qualitatively the geomechanical behavior of soils. It had also been determined that the SM and ML soils are predominant, between 84 and 87% at the deepest levels, which contain low to zero plastic behavior and medium to dense compaction degree. These soils, within the studied area, had been conditioned to high slopes due to the current tectonic configuration and the climatic-anthropic factors such as poor vegetation cover and landfills, which were the main conditions in the development of current mass movements.

KEYWORDS: Geotechnics, Quito, Calderón, Soils, USCS, Bearing Capacity.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Varios trabajos dentro del ámbito geotécnico han sido publicados cerca del área de estudio. El proyecto “Estudio Geológico-Geotécnico de los movimientos de terreno de las áreas del río Pisque y Bellavista-Calderón” realizado en la cuenca alta del río Guayllabamba en los sectores Pisque-Hornillos y Bellavista-Calderón, realizado por los ingenieros Jaime Nuñez y Fabián Vascones en 1993. La actualización 1:10 000 sobre la información geológica-geotécnica de la zona norte de la cubeta de Quito, entre los sectores de El Batán hasta Vindobona, donde se obtuvo un mapa de zonificación geomecánica de las unidades litológicas presentes, realizado por el Ing. Javier Simbaña en el 2015. La Empresa Pública Metropolitana de Logística para la Seguridad (EMSEGURIDAD) del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), por otra parte, en el año de 2017 publicó un informe para la evaluación de las laderas de San Francisco de la Parroquia de Calderón, en el cual se focaliza la inestabilidad de los taludes mediante caracterizaciones cualitativas.

Junto con los presentes estudios, este proyecto busca integrar los campos de geología y geotecnia mediante el uso de metodologías de interpolación, correlación y aproximaciones que permitirán analizar e interpretar las características geomorfológicas, geomecánicas y litológicas de los suelos para describir y entender la susceptibilidad de la zona de estudio debido a fenómenos de tipo licuefacción, subsidencias, grietas en el terreno o movimientos gravitacionales. Además, se analizará el comportamiento de los suelos según sus propiedades geomecánicas dentro del contexto geológico, frente a las amenazas más recurrentes y sus factores desencadenantes como sismos y precipitaciones, con el fin de aportar en la regulación y planificación territorial ya sea en la prevención, mitigación o recuperación de las diferentes obras existentes y evitar pérdidas, no solo estructurales y económicas, sino también humanas.

1.2 JUSTIFICATIVOS

Según la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2009; el riesgo se define como la amenaza por vulnerabilidad. En donde la amenaza está conformada por los procesos o fenómenos naturales que pueden causar pérdida de vida o daños materiales, y la vulnerabilidad como la debilidad o grado de exposición de un sujeto, objeto o sistema ante dicha amenaza; por lo que al reducir la vulnerabilidad se puede reducir el riesgo a la ocurrencia de un evento negativo. La ciudad de Quito se

encuentra en una zona expuesta a diversas amenazas geológicas, tal es el caso de la amenaza sísmica, producto de la configuración tectónica regional, las fallas activas corticales del Sistema de Fallas de Quito (SFQ) y el Sistema de Fallas de Guayllabamba (SFG) (Yepes et al., 2016; Alvarado et al., 2014), que son cercanas al área de estudio (Figura 2.3).

El riesgo geológico se incrementa con la amenaza volcánica, debido a las caídas de ceniza, flujos piroclásticos e incluso lahares de los diferentes complejos volcánicos activos; siendo los más cercanos el Cotopaxi, Pichincha, Cayambe (Kumagai et al., 2007; IGEPN, 2019), y Pululahua que es considerado como potencialmente activo (IGEPN, 2019).

En la Parroquia de Calderón se registran en su mayoría, litologías de tipo volcanoclástico, como son los depósitos de cangahua, que se consideran rocas volcanosedimentarias blandas y porosas (Vera & López, 1986), lo que los hace más propensos a la disgregación y erosión hídrica, principalmente cuando pierden sus propiedades mecánicas al estar condicionadas al mismo tiempo a fuertes temporales de lluvia o sequía, pronunciados ángulos de inclinación de los taludes, la reducción de vegetación, entre otros factores (Thomas, 2012).

Frente a estas problemáticas, este proyecto generará Mapas de Microzonificación Geotécnicos para la Parroquia de Calderón en las diferentes profundidades, basado en ensayos de campo tipo SPT hasta una profundidad máxima de 10 m y ensayos de laboratorio como: cálculo de Límites Atterberg, clasificación S.U.C.S, compactación proctor, resistencia de compresión simple o carga puntual, y ensayos triaxiales en muestras tomadas de calicatas realizadas por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), los ensayos fueron ejecutados entre los años 2005-2019. De manera que se busca que el actual estudio sirva como una guía base para la reducción de la vulnerabilidad en la zona de estudio y para la planificación de futuras obras de infraestructura, tanto pública como privada frente a las amenazas a las que está expuesta el área de interés.

La ciudad de Quito, en general, se encuentra en constante crecimiento urbano, lo que obliga cada vez más a los pobladores a asentarse en zonas poco favorables como quebradas, terrenos con altas pendientes o de poca estabilidad. La EPMAPS, al estar encargada del abastecimiento de agua, desde su captación hasta el manejo de aguas residuales, lleva a cabo la expansión y mantenimiento de redes de alcantarillado, líneas de agua potable, tanques de almacenamiento, entre otros (EPMAPS, 2018). Ante este

hecho la construcción y mantenimiento de infraestructura en óptimas condiciones, garantiza el desarrollo y viabilidad de los diferentes proyectos que maneja el DMQ.

En este contexto, el estudio geotécnico que evalúe las propiedades geomecánicas de los suelos aplicado a la Parroquia de Calderón, puede ser una guía base para la construcción de obras de ingeniería, y en lo posterior mitigar daños asociados a las diferentes amenazas naturales o antrópicas a las que está expuesta la zona de estudio.

1.3 ALCANCE

El presente estudio se realizó mediante el análisis de 57 ensayos SPT y 34 calicatas (Figura 1.1) de siete proyectos a cargo de la EPMAPS (Anexo A), con el fin de realizar diferentes análisis de laboratorio sumando un total de 228 ensayos de clasificación granulométrica S.U.C.S., y Límites Atterberg, 23 ensayos triaxiales no drenados no consolidados (UU) y 15 ensayos tipo Proctor estándar/modificado:

[1] Estudio geológico-geotécnico "Estudio de Factibilidad y Diseños Definitivos para el mejoramiento y ampliación del sistema de alcantarillado de la zona Norte de la Parroquia de Calderón". Fase II, enero de 2006.

[2] Estudio Geotécnico "Diseño Definitivo de la Red de Alcantarillado barrio San Francisco de Oyacoto, Parroquia Calderón Distrito Metropolitano de Quito". Etapa 2, septiembre de 2011.

[3] Estudio Geotécnico "Diseño Definitivo del Sistema de Alcantarillado para varios barrios, sector noroccidente de San Juan de Calderón, Parroquia de Calderón". Fase 2, febrero de 2012.

[4] Memoria técnica "Diseño Definitivo del Sistema de Alcantarillado para los barrios: Bosque II y IV, El Corazón, Cristo Rey, San Antonio de Calderón, Nueva Bellavista, Collas, San Vicente, las calles: Punin, Victor Jimenez, Robles, Jorge Cabezas, Coya, Victoria, Pedro Sanguña, Los Maizales, La Cocha y Quebrada, los pasajes: "C" del sector La Llanura, Parroquia de Calderón". Noviembre de 2013.

[5] Memoria técnica "Diseño Definitivo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, Calderón". Fase I, junio de 2018.

[6] Proyecto Planta de Tratamiento de Agua Potable "Estudio de Factibilidad, para la implantación de tratamiento de agua potable Calderón". Informe de perforaciones, octubre de 2018.

[7] Línea de Transmisión, tanques y redes Calderón. Fase I, octubre de 2019, proyecto sin publicar.

Parte de la información recopilada incluye también datos de precipitación desde 1985 al 2015 de ocho estaciones meteorológicas entregadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), junto con datos de evapotranspiración y temperatura de los últimos años. Otros datos obtenidos son modelos digitales de elevación (DEM`s) a 3 m de resolución, ortofotos a escala 1: 5 000 y datos de niveles freáticos cercanas al área de estudio obtenidas en el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG-SIGTIERRAS).

Para complementar la densidad de datos se ha realizado varias tomas de muestras para hacer ensayos de clasificación granulométrica S.U.C.S., Límites Atterbberg y tenacidad de los suelos analizados. Esta información será complementada con imágenes satelitales temáticas tipo NDVI y Google Earth, junto con los mapas geológicos dentro del área de estudio.

Los datos fueron previamente tabulados en hojas de Microsoft Excel, para presentar los resultados en mapas temáticos en el programa informático MapInfo Profesional v12.0.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un Mapa de Microzonificación Geotectónico para la caracterización de suelos en la Parroquia de Calderón, a partir de ensayos SPT y análisis geotécnicos de laboratorio, realizados por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS).

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las propiedades geomecánicas de los suelos mediante el uso de datos de sondeos y ensayos de laboratorio, realizados en varios proyectos a cargo de la EPMAPS en la Parroquia de Calderón.
- Correlacionar las características geomecánicas de los suelos con la litología predominante de la zona.
- Elaborar mapas temáticos de isoyetas, clasificación granulométrica S.U.C.S., capacidad portante y movimientos en masa dentro del área de estudio.
- Elaborar un Mapa de Microzonificación con la caracterización geotécnica en subsuelo.

- Diseñar un modelo conceptual de microzonificación geotécnica en la Parroquia de Calderón.
- Aportar con recomendaciones, considerando los diferentes mapas temáticos obtenidos, que sirvan como guía base para la construcción de nuevas obras civiles.

1.5 MARCO REFERENCIAL

1.5.1 UBICACIÓN

El área de estudio se encuentra en el Callejón Interandino, en la provincia de Pichincha, cantón Quito en la parroquia de Calderón, a 15 km al Noreste del Distrito Metropolitano de Quito, en la meseta de Guanguiltagua (Figura 1.1), entre las coordenadas 9996805, 9985556 longitud Sur, y 783000, 792000 latitud Este, con un área aproximada de 87,22 km^2.

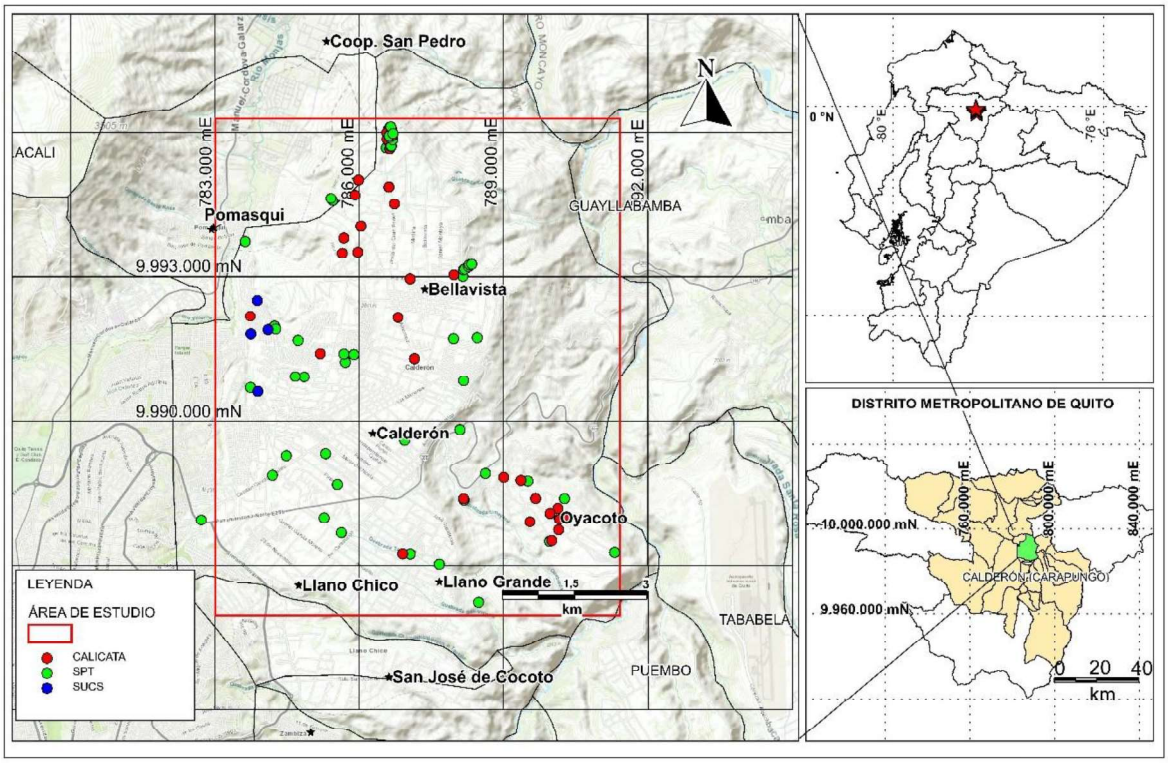


Figura 1.1: Mapa de ubicación del área de estudio (elaborado por Amanta Romel).

1.5.2 CLIMA Y PRECIPITACIÓN

La ciudad de Quito, al estar ubicada en el Callejón Interandino, cuenta con un clima tipo ecuatorial tropical, que consiste en dos épocas diferenciadas: la lluviosa y seca (con fases críticas de estiaje). La Parroquia de Calderón está caracterizada por un clima seco

y con pocas lluvias, aunque se han registrado valores altos de precipitaciones (PDYOT, 2015). Las intensidades máximas de precipitación registradas tienen valores alrededor de 43 mm/h, y un promedio anual de 172 días de lluvia. Las precipitaciones medias mensuales son entre 75 a 80 mm, marcados en un pico máximo en abril (Figura 1.2), y los valores más bajos se registran en agosto entre 6,42 y 4,82 mm (EMSEGURIDAD, 2017).

Las temperaturas tomadas en la estación de San Francisco de Pichincha indican valores medios de 16˚C para el año, llegándose a registrar máximos 23,7˚C. Para los valores de humedad relativa en los meses de bajas precipitaciones se marca entre 79,7 y 80,5%, mientras que los meses de mayores lluvias van entre 83 y 87% (EMSEGURIDAD, 2017).

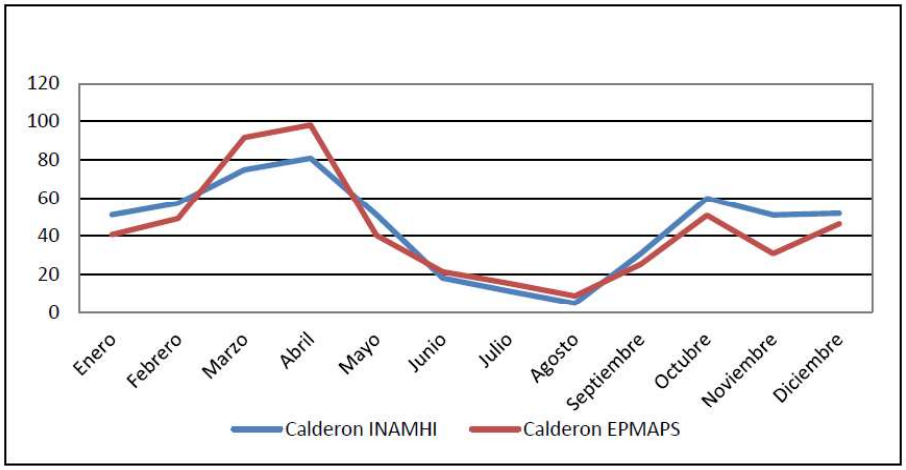


Figura 1.2: Precipitaciones medias mensuales (tomado del Informe final EMSEGURIDAD, 2017).

1.5.3 VEGETACIÓN

De acuerdo a los últimos estudios del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDYOT) de Calderón realizados hasta el 2014, la cobertura del suelo se caracteriza por un predominio de uso antrópico (urbanizaciones, centro poblado, carreteras, gasolineras, vertedero de basura) con un 44,01%, vegetación arbustiva y herbácea con un 40, 04%, y un 10% de cultivos, pastos, misceláneos y plantaciones forestales. Las áreas naturales de la zona alcanzan un 32% y corresponden a un ecosistema de Bosque y Arbustal semideciduo del Norte de los Valles. También se ha evidenciado un cambio considerable en el aumento de áreas urbanas entre los años 2000, 2008 y 2014 (Tabla 1.1).

2000			2008			2014		
Nivel	Área (ha)	%	Nivel	Área (ha)	%	Nivel	Área (ha)	%
Bosque	163,20	2,00	Bosque	-	-	Bosque	41,10	0,50
Vegetación arbustiva, herbácea	3756,30	47,70	Vegetación arbustiva y herbácea	2628,90	33,40	Vegetación arbustiva, herbácea	3134,40	39,80
Tierra agropecuaria	37,70	0,40	Tierra agropecuaria	951,30	12,00	Tierra agropecuaria	740,30	9,40
Otras áreas	5,90	0,08	Otras áreas	-	-	Otras áreas	15,70	0,20
Zona antrópica	3905,90	49,06	Zona antrópica	4289,00	54,50	Zona antrópica	3937,20	50,00
Total	**7869,20**		**Total**	**7869,20**		**Total**	**7869,20**	

Tabla 1.1: Cambio del uso del suelo y cobertura de la tierra. 2000-2014 (modificado de PDYOT, 2015).

1.5.4 USO DEL SUELO

El Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS), es un instrumento de planificación territorial que fija los parámetros y normas específicas para el uso, ocupación y fraccionamiento del suelo en el DMQ (DMQ, 2018). Para la Parroquia de Calderón, las zonas mostradas en la Tabla 1.2 indican que la Protección Ecológica, Recursos Naturales no Renovables y Recursos Naturales Renovables ocupan el 48,3% del uso del suelo vigente según los últimos datos de 2015 (PDYOT, 2015), que son áreas similares a las destinadas al uso ocupacional como se puede ver en la Figura 1.3 con base en los datos de la Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda (STHV).

Uso Vigente	Área (km2)	Porcentaje
Agrícola Residencial	2,20	2,80
Área Promoción	0,80	1,00
Equipamiento	4,40	5,60
Industrial 2	1,00	1,30
Múltiple	1,40	1,80
Protección Ecológica	28,20	35,90
Residencial 1	21,10	26,80
Residencial 2	6,30	8,00
Residencial 3	3,10	3,90
Recursos Naturales no Renovables	1,10	1,40
Recursos Naturales Renovables	8,60	11,00
Total	**78,50**	**100,00**

Tabla 1.2: Plan de Uso y Ocupación del Suelo para la Parroquia de Calderón (tomado de PDYOT, 2015).

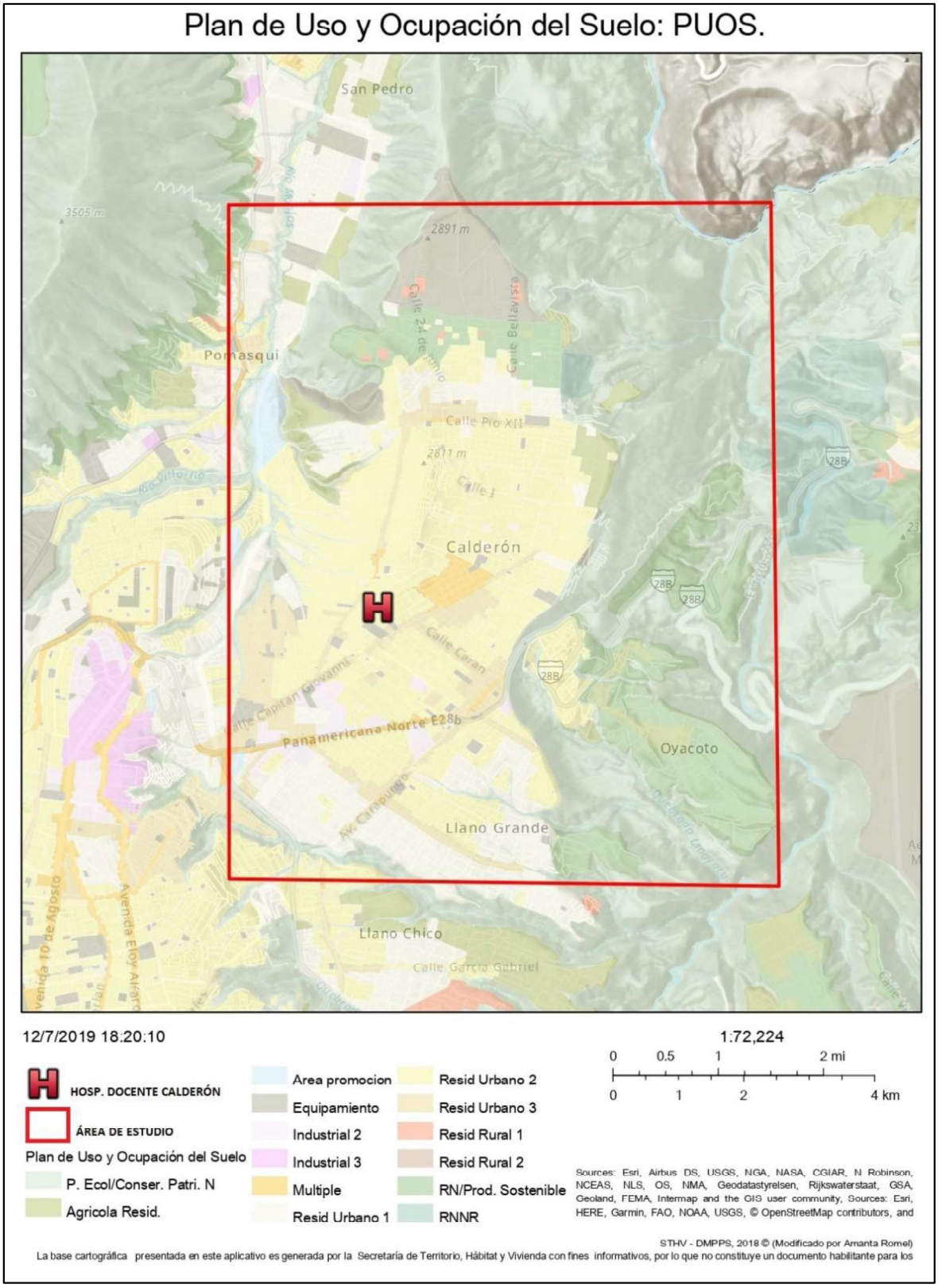


Figura 1.3: Mapa de Plan de Uso y Ocupación de Suelo de la Parroquia de Calderón (modificado del STHV - DMPPS, 2018).

1.5.5 HIDROGRAFÍA

La zona de estudio se encuentra en la cuenca alta del río Guayllabamba, y está dentro de la parte alta de la cuenca del río Esmeraldas, cuyas vertientes desembocan al Pacífico. El área de interés está limitada al Este por el río Guayllabamba y al Oeste por el río Las Monjas, ambos con dirección de flujo Sur-Norte (Figura 1.4) (Tucci & C.E.M, 2009; Bievre & Coello, 2008).

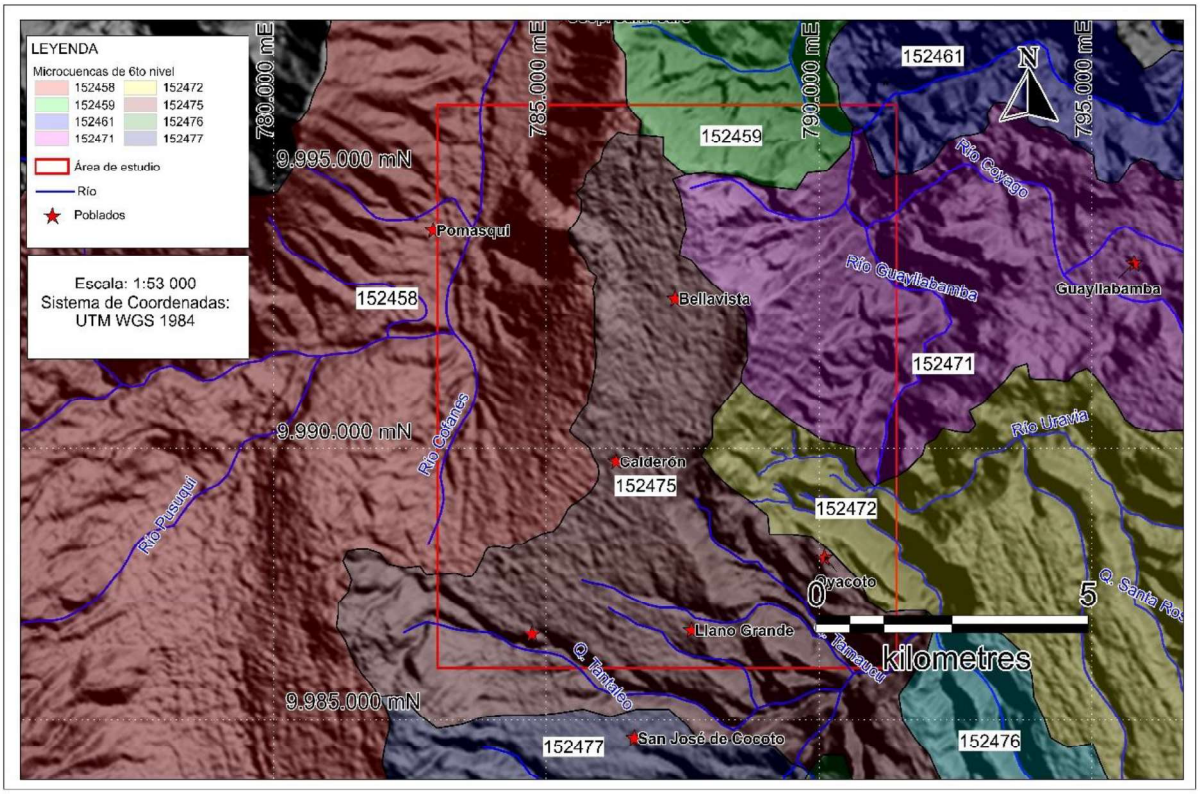


Figura 1.4: Mapa de Microcuencas Hidrográficas de 6to nivel según Bievre y Coello, 2008 (realizado por Amanta Romel).

Según trabajos de Bievre y Coello (2008), existen microcuencas de sexto nivel asociadas a la cuenca alta de Guayllabamba:

<u>152458:</u> Dentro de la sub-cuenca Guayllabamba Medio. Con un área de 244, 6 km^2, está conformada por el río Pusuquí, río Cofanes, la quebrada Poriada y quebradas nacientes del flanco oriental del volcán Casitaghua, y con desembocadura en el río Las Monjas.

<u>152459:</u> Dentro de la sub-cuenca Guayllabamba Medio. Con un área de 50,37 km^2, está conformada por parte del río Guayllabamba antes de su unión con el río Las Monjas.

152461: Dentro de la sub-cuenca Pisque. Con un área de 17,89 km^2, está conformada por la unión de las quebradas Tajamar y Cochasquí nacientes del flanco SW de la laguna Mojanda, para desembocan en el río Guayllabamba.

152471: Dentro de la sub-cuenca Guayllabamba Alto. Con un área de 126,3 km^2, está conformada por el río Chictayacu, y las quebradas de El Manzano, Achupallas y El Quinche que nacen del flanco WSW de la loma Pambamarca, para formar el río Coyago que desemboca en el río Guayllabamba.

142472: Dentro de la sub-cuenca Guayllabamba Alto. Con un área de 263,1 km^2, está conformada por una serie de quebradas, siendo las más importantes las Angoscocha, Iguiñaro, Aglla, y Tola que nacen de los flancos occidentales de las lomas de Guanto, Cantarillo, San Rafael entre otras, para desembocar en el río Guayllabamba.

152474: Dentro de la sub-cuenca Guayllabamba Alto. Con un área de 123,6 km^2, está conformada por las quebradas de Sigsichupa y San Lorenzo para formar el río Guambi que se une al río Guayllabamba.

152475: Dentro de la sub-cuenca Guayllabamba Alto. Con un área de 53,02 km^2, está conformada por pequeñas quebradas nacientes de la meseta de Guanguiltahua, siendo la más importante la Tamaucu, que se unen después al rio Guayllabamba.

152477: Dentro de la Sub-Cuenca Guayllabamba Alto. Con un área de 37,26 km^2, su principal quebrada es Jatunhuaycu, ésta se une la quebrada Tamaucu y luego al río Guayllabamba.

1.5.6 DATOS GENERALES

1.5.6.1 Población

Con base en el censo poblacional de 2011, realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), la parroquia de Calderón cuenta con 152 242 habitantes, que representa el 5,09% del total de población de la provincia de Pichincha. La población estaría conformada por el 49% de pobladores por hombres y 51% por mujeres. De acuerdo a proyecciones del último censo, en cinco años podría incrementarse a 173 491 habitantes. Según datos del PDYOT de Calderón de 2015, muestra que la población de la parroquia de Calderón, es una de las zonas de mayor crecimiento demográfico del país, incrementándose a una tasa del 6,5%, tomando en cuenta los valores del censo de 2001.

1.5.6.2 Vialidad

El área de estudio cuenta con carreteras y vías de segundo a tercer orden. Entre las principales vías está la nueva Av. Simón Bolívar que cruza de Norte a Sur la parroquia de Calderón por el lado Oeste, y la Av. Panamericana Norte con dirección NE, por el lado Este.

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 AMBIENTE GEODINÁMICO ACTUAL

El Ecuador está ubicado en las latitudes 1˚N - 4˚S en una zona tectónicamente activa. La subducción de la Placa Nazca, a una tasa de 58 mm/año, bajo la Placa Sudamericana (Pardo Casas & Molnar, 1987; Trenkamp et al., 2002), produce sismos de M_w > 6 en la escala de Richter, con una ocurrencia de entre 10 a 20 años, considerando el catálogo histórico de sismos (Beauval et al., 2013). La Placa Nazca sería el producto de la fragmentación de la Placa Farallón hace 27Ma, y está dividida entre la Placa de Cocos al Norte y la Placa Nazca al Sur, separadas por el punto caliente de Galápagos (Lonsdale, 2005).

El Ecuador se encuentra deformado con gran intensad por la placa subductante de Nazca, aunque según varios autores la Cordillera de Carnegie tendría gran influencia en la morfología actual (Gutscher et al, 1999). La Cordillera de Carnegie se considera un alto relieve morfo-batimétrico en el fondo del océano Pacífico generado por el volcanismo activo del punto caliente Galápagos (Figura 2.1), la misma que se extiende bajo la placa continental hasta los arcos volcánicos activos (Gutscher et al., 1999; Chunga et al., 2011).

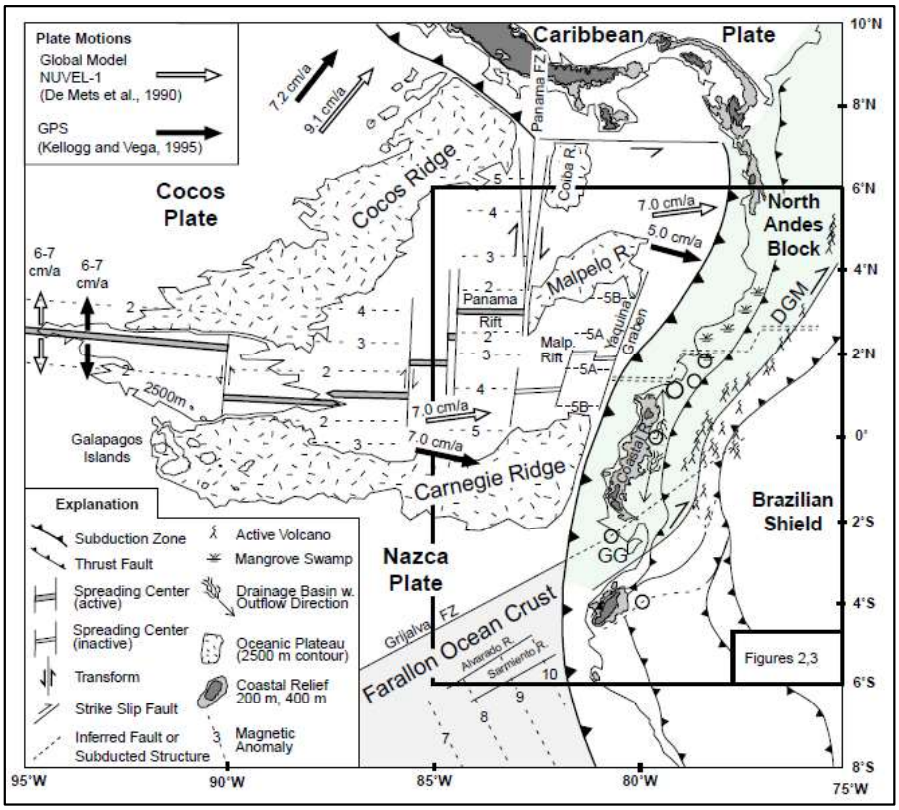


Figura 2.1: Morfología del margen ecuatoriano (tomado de Gutcher et al., 1999).

El desplazamiento del Bloque Nor-Andino es el resultado de los esfuerzos compresionales debido a la subducción de la Placa Nazca (Pennington, 1981; Gutscher et al., 1999), el cual se mueve en dirección NNE a una tasa de 1 cm/año a lo largo del sistema de fallas transpresionales Puná – Pallatanga – Chingual - Cosanga (PPCC) (Alvarado et al., 2016). Según varios autores, los montes submarinos de la Cordillera de Carnegie, contribuirían en la dinámica de desplazamiento del Bloque Nor-Andino y la exhumación de la Cordillera de los Andes al Norte del Ecuador desde el Mioceno (Spikings et al., 2001), contemporáneo a la deformación de la planicie costera (Pedoja et al., 2006).

2.2 GEOLOGÍA REGIONAL

Por la configuración geodinámica, el Ecuador, al estar en un ambiente de subducción continua, ha generado una orogénesis con un volcanismo activo. El sistema orogénico se conforma de dos cadenas montañosas, al Este por la Cordillera Real, y al Oeste por la Cordillera Occidental, las cuales están separadas por el Callejón Interandino (Figura 2.2) (Gutscher et al., 1999; Aspden & Litherland , 1991).

En la región oriental se encuentra la Cuenca Amazonas, que está sobre el escudo Guayanés junto con secuencias sedimentarias marino-continentales y volcánicas, que reflejan la apertura y cierre de un rift del Triásico al Jurásico Inferior. Después de la acreción de los terrenos alóctonos, la cuenca se rellena con series sedimentarias de las Fms. Hollín, Napo y Tena, que evidencian varias inversiones tectónicas y fluctuaciones de los niveles eustáticos desde el Cretácico al Paleoceno. En lo posterior, se registran sedimentos continentales y volcánicos desde el Eoceno Medio al Plioceno con varios niveles de secuencias marinas someras. En su morfología actual se encuentra la Zona Subandina que se compone del levantamiento Napo al Norte y el levantamiento Cutucú al Sur (Ferrari & Tibaldi, 1992; Barragán et al., 2005).

En la región occidental se encuentra la planicie costera entre las latitudes 1^0N a 3^0S. Está compuesta por las Cuencas de Esmeraldas, Borbón, Manabí, y se separan por la Cordillera Chongón Colonche de dirección E-W de la Cuenca del Progreso. El basamento de la costa son rocas máficas de la Fm. Piñón y su relleno se conforma de series sedimentarias marino-continentales desde el Cretácico al Cuaternario (Baldock, 1982; Reyes, 2013).

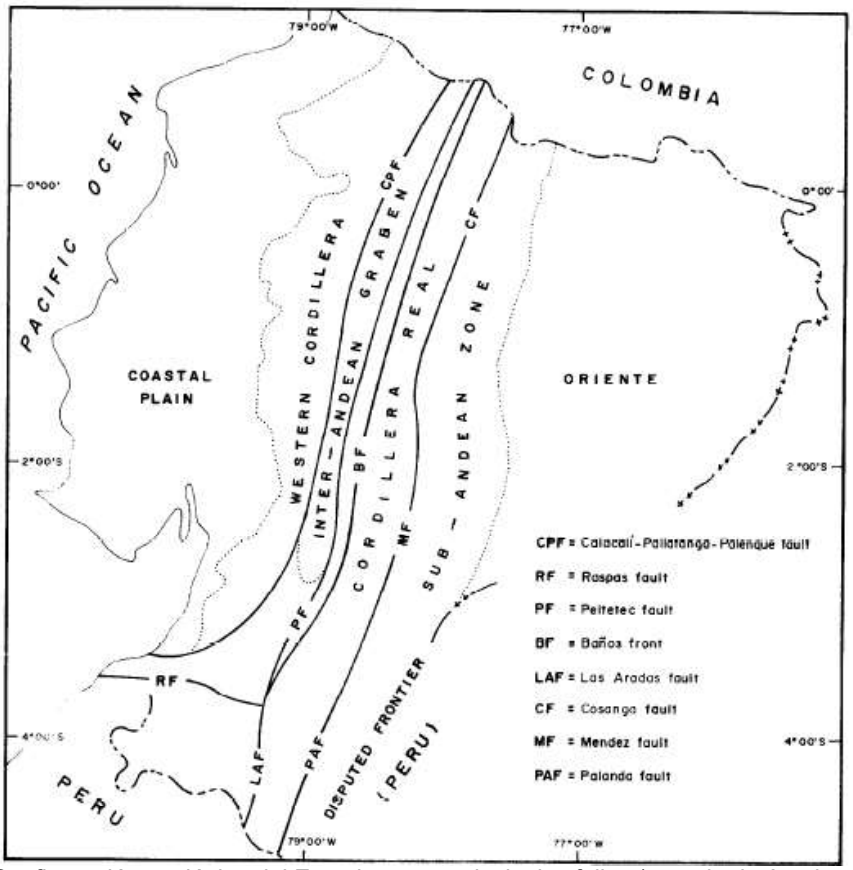


Figura 2.2: Configuración geológica del Ecuador y sus principales fallas (tomado de Aspden & Litherland, 1991)

2.2.1 CORDILLERA REAL

La Cordillera Real se conforma por una secuencia de rocas metamórficas en dirección NNE-SSW datadas desde el Paleozoico al Cretácico Temprano, mismas que están en disconformidad sobre el escudo Guayanés. Se asocian el evento de apertura del rift Tres Lagunas en el Triásico y al evento de acreción Peltetec en el Jurásico Tardío y Cretácico Temprano (Litherland et al., 1994). Estas secuencias metamórficas han sido deformadas tanto por eventos tectónicos como por las intrusiones de cuerpos graníticos tipo S y tipo I, además se encuentran cubiertas en gran parte por depósitos volcánicos Cenozoicos (Aspden & Litherland, 1991). Litherland et al., (1994) asimismo definió las siguientes divisiones litotectónicas o terrenos descritas de Oeste a Este.

Terreno Guamote: Formado en una cuña de acreción. En su mayoría son arcillas grises y pizarras negras propias de ambiente continental, se le atribuyen edades entre el Jurásico al Cretácico. Al Oeste está separada por la Falla Ingapirca y al Este por la falla Peltetec. Incluyen las Unidades Punín, Cebadas y Guasuntos (Aspden & Litherland , 1991).

Terreno Alao: Es un cinturón alargado compuesto por metapelitas, rocas de una secuencia ofiolítica, meta-turbiditas, meta-andesitas y meta-basaltos que indican un ambiente de fondo oceánico, por dataciones K-Ar se le atribuyen edades de 115±12Ma y 142±36Ma (Litherland et al., 1994). Está separado del Terreno Loja al Este por la Falla Baños. Incluyen las Unidades Peltetec, Maguazo, Alao-Paute y El Pan (Litherland et al., 1994).

Terreno Loja: Se extiende a lo largo de la Cordillera Real, está compuesta de pizarras negras, esquistos, filitas, anfibolitas de corteza oceánica y el Plutón triásico deformado de Tres lagunas clasificado como granito tipo S, que en conjunto le dan un ambiente tipo continental. Está separado al Este por la Falla de los Llanganates del Terreno Salado. Incluyen las Unidades Tres Lagunas, Sabanilla, Agoyán, Monte Olivo, Chiguinda (Litherland et al., 1994).

Terreno Salado: Este terreno se caracteriza por las napas de Cuyuja y está compuesta por esquistos grafitosos, pelitas, meta-sedimentos con líticos volcánicos máficos, meta-grauvacas, skarns y el batolito tipo I de Azafrán, que indican un ambiente continental, se estima una edad del Jurásico con posibles elementos pre-Jurásicos. Está separado del Terreno Zamora al Este por la Falla de Cosanga-Mendez-Palanda. Incluyen las Unidades Azafrán, Upano, Cerro Hermoso, Cuyuja (Litherland et al., 1994).

Terreno Zamora: En su mayoría son rocas volcanoclásticas del arco volcánico de Misahaullí e Isimanchi, no contiene rocas metamórficas ni cuerpos deformados e incluye los Intrusivos de Zamora, Rosa Florida y Abitagua que en conjunto indican un ambiente de arco volcánico. Está separada al Oeste por la falla Cosanga-Mendez-Palanda del terreno Salado. Incluyen las Unidades Misahuallí, Piuntza e Isimanchi (Litherland et al., 1994).

2.2.2 CORDILLERA OCCIDENTAL

La Cordillera Occidental está compuesta de un basamento oceánico de los Terrenos Pallatanga y Macuchi que están separadas por la Zona de Cizalla Chimbo-Toachi. Su litología indica un *plateau* oceánico, por lo que existe un predominio de lavas basálticas y rocas de secuencia ofiolítica, también se han registrado turbiditas y secuencias volcanoclásticas propias de un arco volcánico acrecionadas en el Cretácico Tardío – Eoceno Temprano. (Hughes & Pilatasig, 2002; Spikings et al., 2005). Los basamentos máficos alóctonos de la Formación Pallatanga y Macuchi se encuentran cubiertos por rocas volcanoclásticas y secuencias sedimentarias pre, syn y post-acrecionarias entre el Cretácico y el Cenozoico (Vallejo et al., 2009)

El Terreno Pallatanga incluye los basamentos de la Unidad Pallatanga (84.69±2.23Ma) y Unidad San Juan (87.10±1.66Ma), que al ser acrecionados al margen continental generan una zona de sutura denominada Falla Calacalí-Pujilí-Pallatanga (Vallejo et al., 2009). La acreción del bloque se daría a los 85 a 60Ma a lo largo del Melange tectónico Pujilí (Spikings et al., 2005). Sobre la Unidad Pallatanga se encuentra el Grupo Río Cala que se conforma de las Formaciones Rio Cala, Mulaute y Natividad (Vallejo, 2007). La litología del Grupo Río Cala son lavas basálticas y andesíticas, secuencias turbidíticas intercaladas con volcanoclastos y andesitas con alto contenido en magnesio de la Formación La Portada, de una edad Santoniana (Boland et al., 2000; Kerr et al., 2002).

La Unidad Macuchi tiene un comportamiento bimodal de pilow lavas, basaltos, diques andesíticos, tobas andesíticas y basálticas, capas turbidíticas, cherts, dacitas y riodacitas, que según datos geoquímicos por anomalías de Nb, Ta y Ti muestran una afinidad de arco de islas (Kerr et al., 2002). Las rocas de la Unidad Macuchi se encuentran sobre rocas de afinidad tipo plateau oceánico y tipo MORB (Chiaradia & Fontboté, 2001; Hughes & Pilatasig, 2002). Según datos radiométricos de $^{40}Ar/^{39}Ar$, la Unidad Macuchi tendría una edad del Eoceno (Vallejo et al., 2009).

Contemporáneo al volcanismo del Grupo Angamarca se generaron los depósitos turbidíticos tipo “Flysch” de la Formación Yunquilla en el Cretácico Tardío, que están sobreyacidas por el Grupo Angamarca que incluye la Formación Saquisilí, Unacota y Apagua de rocas sedimentarias volcanoclásticas de origen continental. Posteriormente están cubiertas por rocas volcanoclásticas del grupo Saraguro (Hughes & Pilatasig, 2002; Vallejo, 2007) y depósitos volcánicos del volcanismo Cuaternario.

2.2.3 VALLE INTERANDINO (IAV)

El Valle Interandino o IAV (por sus siglas en inglés) es una depresión elongada de dirección N-E que se extiende desde las latitudes 2^0S hasta ~1^0N frontera con Colombia, y se encuentra limitada por la Cordillera Real (CR) y Cordillera Occidental (CO) (Villagómez et al., 2002). Esta depresión regional limita al Oeste por la Falla Pallatanga (FPl) y la Falla Calacalí (FC) y al Este por la Falla de Peltetec (FPel), donde su morfología puede explicarse por la acreción de los terrenos oceánicos alóctonos de la CO durante el Cretácico y Terciario (Winkler et al., 2002). Según dataciones radiométricas de K-Ar, las cuencas sedimentarias son rellenadas por la actividad volcánica desde el Mioceno tardío hasta el presente (Barberi et al., 1988), aunque el relleno inicial de la cuenca tiene un importante aporte de la CO (Villagómez, 2003). El Basamento del IAV, consiste de rocas

de la Unidad Pallatanga al Oeste y hacia el Este de brechas y andesitas de la Fm. Pisque Inferior (Villagómez, 2003).

El IAV está dividido en tres segmentos mayores en dirección NNE y separados por un nudo Norte constituido por los volcanes Mojanda y Cusín, y un nudo Sur conformado por los volcanes Rumiñahui, Pasochoa, Cotopaxi e Illiniza (Villagómez, 2003). El Valle Intenrandino está formado a su ves por cuatro cuencas principales descritas de norte a sur: Cuenca de Chota, Cuenca Quito-Guayllabamba, Cuenca Ambato-Latacunga y Cuenca Alausí-Riobamba (Winkler et al., 2002).

2.3 GEOLOGÍA LOCAL

La Cuenca Quito-Guayllabamba dentro del IAV, está conformada por tres altos morfológicos: Calderón-Catequilla *ridge* (CCR), Batán-La Bota *ridge* (BBR) e Ilimbisí-Puengasí *ridge* (IPR) (Villagómez, 2003). Estos altos morfológicos tienen un buzamiento hacia el Oeste con una posible propagación desde el Norte (Villagómez, 2003), y una tasa de exhumación de 0.8 mm/año desde los 0.5Ma (Soulas et al, 1991; Villagómez, 2003). El área de estudio se encuentra dentro del CCR al norte de la Cuenca Quito-Guayllabamba (Figura 2.3), y cuenta con un predominio litológico del volcanismo Plio-Cuaternario (Villagómez, 2002).

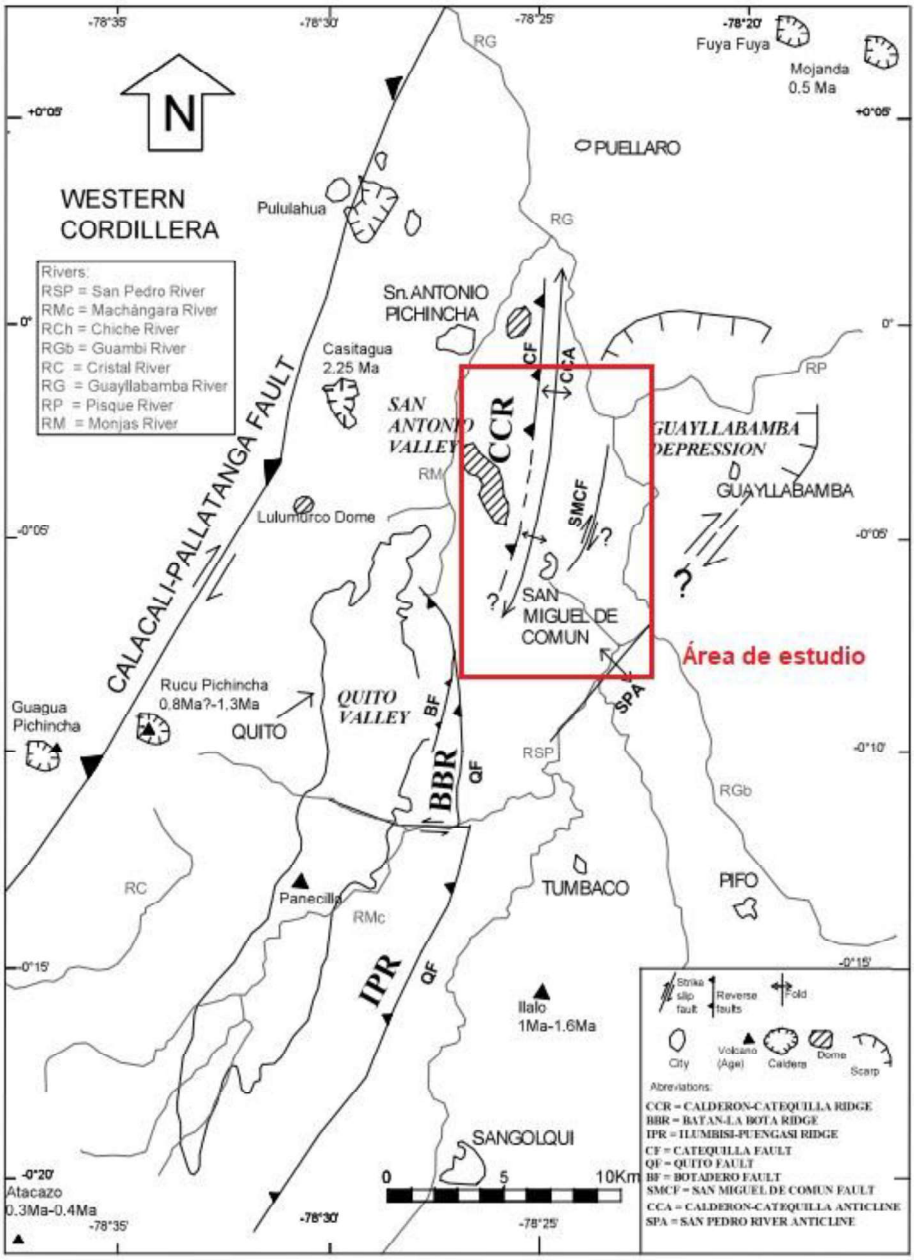


Figura 2.3: Altos geomorfológicos de la Cuenca Quito-Guayllabamba: CCR: Calderón-Catequilla Ridge, BBR: Batán-La Bota Ridge, IPR: Ilumbisí-Puengasí Ridge, y las principales estructuras tectónicas (modificado de Villagómez et al., 2002)

2.3.1 GEOMORFOLOGÍA

En trabajos previos se sugiere que el CCR forma parte de un doble pliegue inclinado, siendo las primeras estructuras en funcionar en comparación a las BBR e IPR (Villagómez, 2003). El alto morfológico CCR se encuentra entre los 1980 y 2800 msnm., y se considera una meseta levantada con buzamiento hacia el Oeste. En Modelos Digitales de Elevación (DEM) tomados con 5 m de resolución en el 2010 por el MAG-SIGTIERRAS, se muestra que la

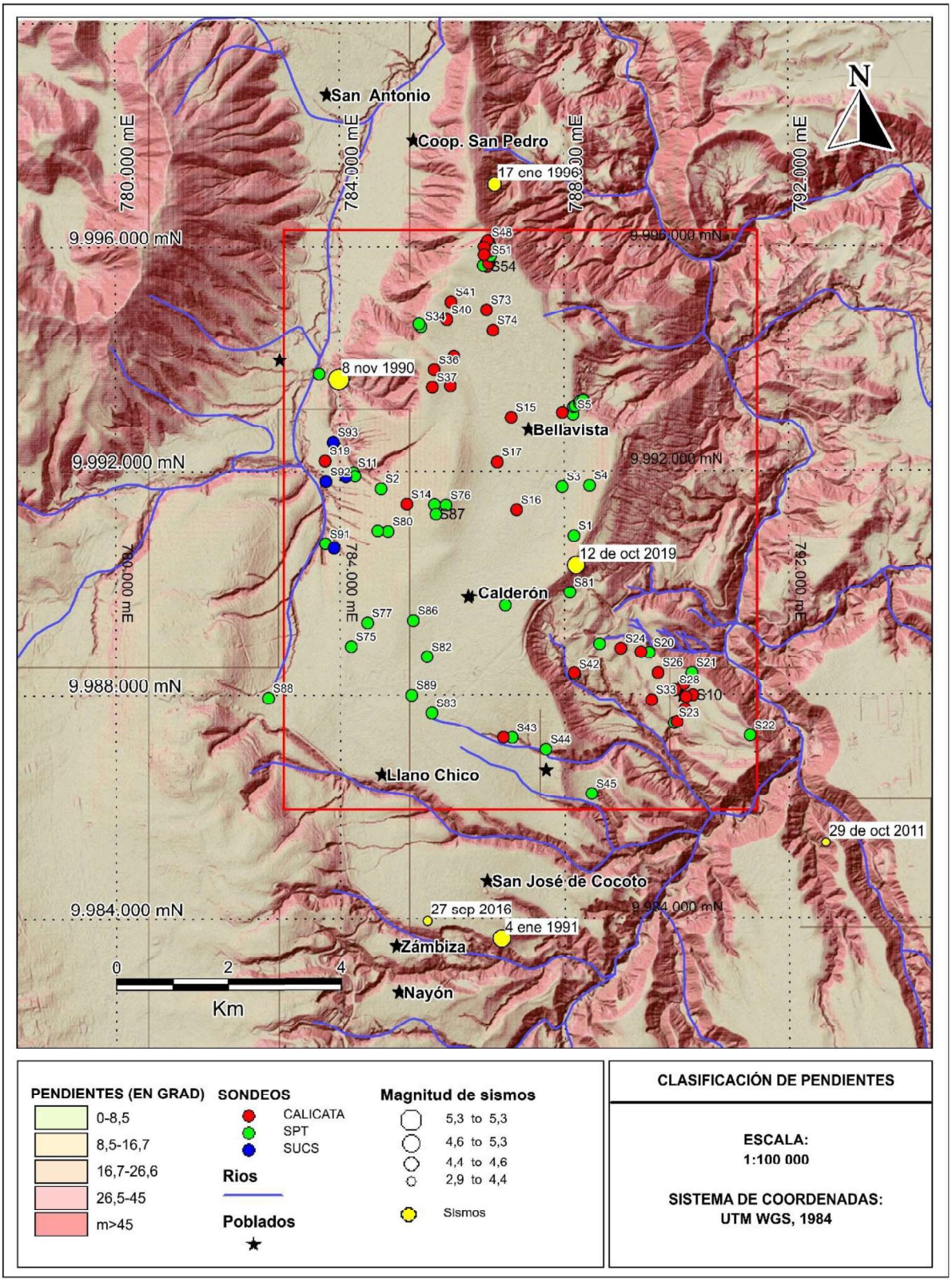


Figura 2.4: Mapa de pendientes para zonas susceptibles a Fenómenos de Remoción en Masa (FRM). Clasificación según Ayala, 2015., y sismos registrados de 1986 al 2019, según la USGS (realizado por Amanta Romel)

zona de Calderón tiene extensos escarpes hacia el Este y fuertes pendientes que se han clasificado de acuerdo a Suárez, 1998. Las pendientes más altas (Tabla 2.1) superan los 45^0, y están ubicadas al NNE de la zona de estudio (Figura 2.4), lugar donde se ha llegado a registrar la mayor cantidad de derrumbes en la actualidad. Estos deslizamientos descansan sobre la Fm. Cangahua y Mb. Puente Viejo.

Clasificación	Rangos de pendiente (grados)
Muy Baja	0-8,50
Baja	8,51-16,70
Media	16,71-26,60
Alta	26,61-45
Muy Alta	>45

Tabla 2.1: Clasificación de pendientes mostrada en grados (modificado de Suárez, 1998)

Al SE de la meseta, en el sector de Oyacoto-San Miguel del Común, se presenta una terraza con un desnivel de 20 m aprox., la cual cae en una pendiente media entre los 10 y 20^0 hasta romper en fuertes escarpes por el río Guayllabamba y que corresponden a depósitos volcánicos, fluviales, fluvio-glaciares, lacustres y cangahua de las Formaciones Pisque, San Miguel, Guayllabamba, Chiche y Cangahua, como producto de la depresión Guayllabamba en una semi cuenca de pull apart (Villagómez, 2003; Viteri et al., 2014).

En el margen Este de la meseta, las pendientes van de medias a altas con valores entre 30 y 40^0 y corresponden a sedimentos del a Fm. Cangahua, llegándose a registrar espesores mayores a 80 m. La meseta cuenta con dos domos dacíticos (Figura 2.3), uno al Norte “Catequilla” y otro al Sur “Pacpo” que marcarían el eje de la charnela de los pliegues inclinados en el régimen compresivo (Villagómez, 2003; Alvarado et al, 2014).

2.3.2 LITOESTRATIGRAFÍA

Para la caracterización estratigráfica se ha tomado como cartografía base las siguientes hojas geológicas: Dirección General de Geología y Minas (DGGM) de 1982, a escala 1:25 000 de “El Quinche”, “Chaupicruz”, “Guayllabamba”, “San Antonio”; y Mapa Geológico del Valle interandino Central (Quito-San Antonio-Guayllabamba) de Villagómez, 2003 (Figura 2.5).

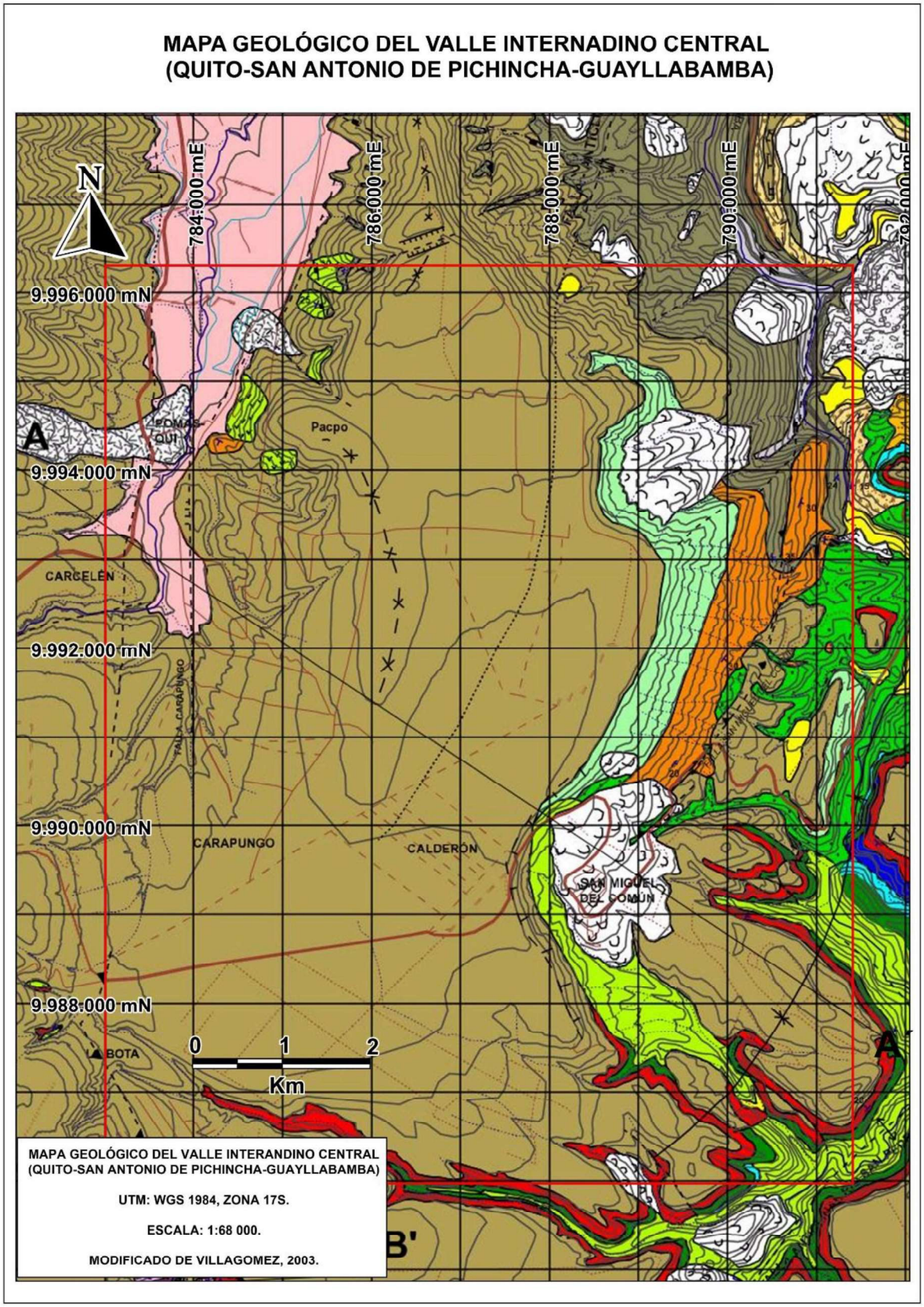


Figura 2.5: Mapa Geológico del Valle Interandino Central (Quito-San Antonio de Pichincha-Guayllabamba), el rectángulo rojo marca el área de estudio, ver leyenda en Fig. 2.6a., (modificado de Villagómez, 2003).

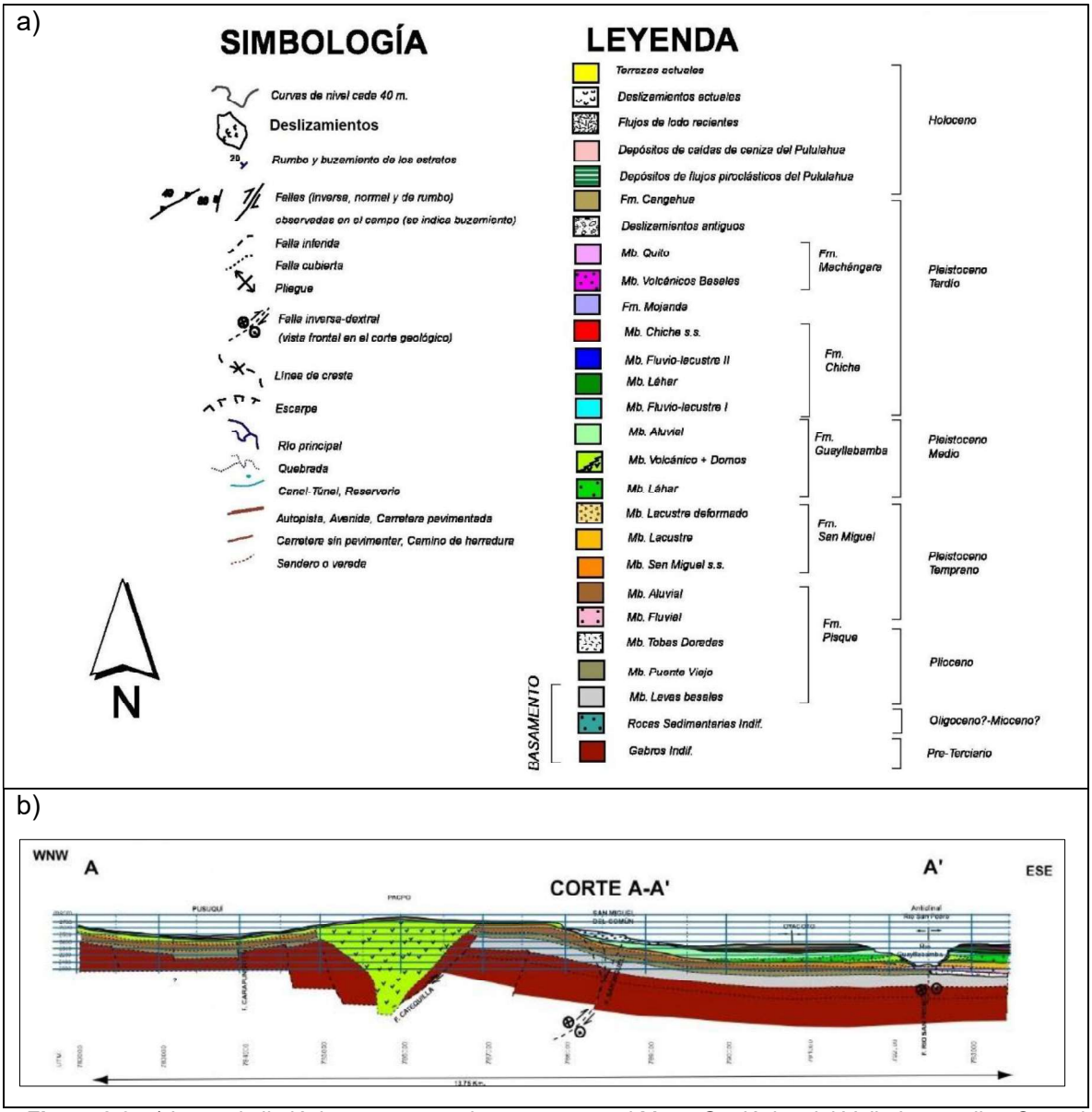


Figura 2.6: a) Leyenda litológica y estructural propuesta en el Mapa Geológico del Valle Interandino Central b) Corte geológico A-A´ en dirección WNW-ESE (modificado de Mapa Geológico de Villagómez, 2003)

2.3.2.1 BASAMENTO

Se han registrado andesitas de color verde, gabros y basaltos que en un inicio se consideraban de la Fm. Macuchi y que afloran en el río Guayllabamba (DGGM, 1982d), aunque por estudios recientes se ha determinado que estas rocas pertenecen a la Fm. Pallatanga de edad cretácica y que constituirían de forma general el basamento para el IAV (Figura 2.7). También se han registrado secuencias volcanoclásticas y lavas escoráceas de la Fm. Pisque Basal del Pleistoceno que sobreyacen en discordancia a la Fm. Pallatanga (Villagómez, 2003; Winkler et al., 2005).

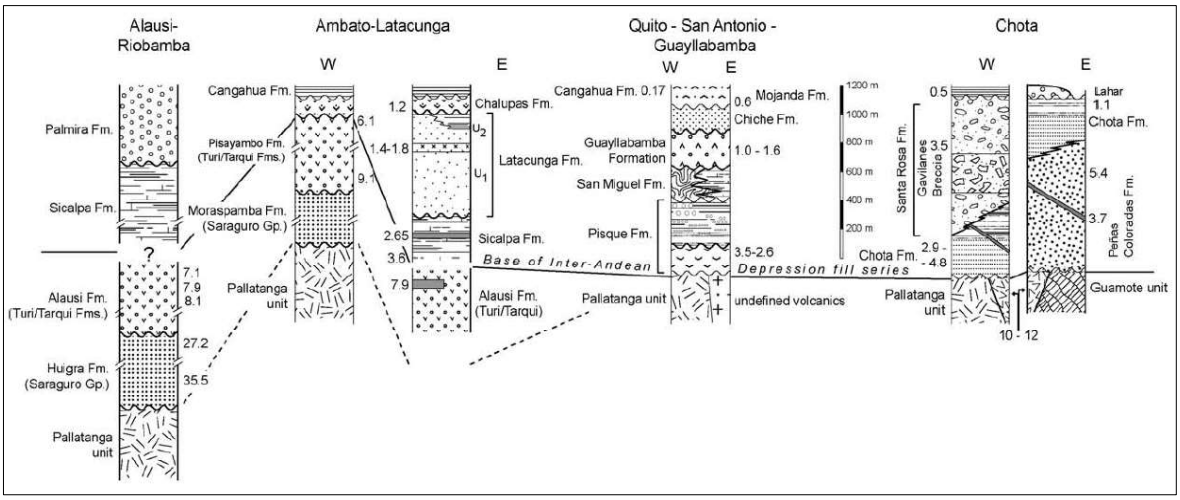


Figura 2.7: Correlación estratigráfica para las principales cuencas del Valle Interandino (tomado de Winkler et al., 2005)

2.3.2.2 FM. PISQUE

Definida inicialmente en dos Unidades:

<u>Unidad Pisque Basal:</u> Lavas vesiculares negras y brechas en flujos orientados E-W en un horizonte rojizo de conglomerados máficos escoráceos, y depósitos de lahares coluviales con tamaño de grano de gruesos a arenas. Su potencia se estima entre los 300 y 2 000 m y aflora en la cuenca del río Pisque, por dataciones radiométricas Ar/Ar se ha determinado edades de 3.5 a 2.6Ma (DGGM, 1982d; Villagómez, 2003; Winkler et al., 2005).

<u>Unidad Pisque Superior:</u> En contacto erosivo sobre la Unidad Pisque Basal, es una secuencia estratigráfica de tobas color rojizo y capas de ceniza que se alternan de forma brusca con tobas de color anaranjado o dorado a estratos más arenosos. El espesor de las tobas varía entre en torno a los 100 m (DGGM, 1982a).

En estudios recientes esta Formación se ha redefinido en:

Mb. Puente Viejo

Este Miembro constituye lahares estratificados de andesitas, basaltos y pómez que se intercalan con tobas claras hacia el tope, mientras que en la base de este Miembro se han encontrado secuencias de areniscas masivas. Este Miembro está en contacto lateral con el Mb. Tobas Doradas, y en discordancia erosiva sobre la Unidad Pisque Basal. Los espesores de este Miembro varían en torno a los 160 m (Villagómez, 2003).

Mb. Tobas Doradas

Conformado por flujos de lodo con intercalaciones de areniscas tobáceas doradas en espesores aproximados de 10 m. Se encuentra en un contacto erosivo sobre la Unidad Pisque Basal, y con posibles edades del Pleistoceno Inferior (Villagómez, 2003).

Mb. Aluvial

Definido por dos secuencias progradantes de un abanico aluvial. Al Este se reconocen estructuras tipo “sheet flows” de conglomerados no canalizados basales, que pasan al techo a facies tipo “debris flow” en una tendencia estrato-creciente. Los bloques angulosos a sub-angulosos encontrados dentro del flujo de matriz soportada corresponden a andesitas, basaltos, dacitas en menores cantidades y clastos de rocas verdes <3% que tienen cierta esquistosidad. Puede alcanzar espesores de 80 m y se estima una edad del Pleistoceno Inferior (Villagómez, 2003).

Mb. Fluvio-Aluvial

Localizado en la vía Guayllabamba-Tabacundo, en el sector Peña Buitrera y Loma Cascajal. Se conforma de bancos métricos de areniscas fluviales (sheet flows y debris flows), con intercalación de sedimentos lacustres. Subyace en una discordancia erosiva suave al *Mb. Tobas Dorada*s y suprayace de forma transicional a la Fm. San Miguel. Los estratos no superan los 50 m, y se estima una edad de 1.2±0.13 1.17±0.01 Ma por dataciones en flujos de lavas (Barberi et al., 1988; Villagómez, 2003).

Mb. Domos

Aunque Villagómez (2003), incluye este Miembro dentro de la Fm. Guayllabamba, por trabajos recientes se sabe que es parte de la Fm. Pisque. El domo Catequilla se registran en su mayoría rocas andesíticas, y el domo Pacpó de subintrusivos cuarzodioríticos a riolíticos. Ambos domos presentan importantes fracturas debido al enfriamiento de los cuellos volcánicos. Por dataciones K/Ar se han determinado edades de 0.833±0.026 y 0.089±0.015Ma, y podrían estar emparentados al volcán Casitahua como parte de los mismos pulsos magmáticos (Villagómez, 2003; Pacheco, 2013; Alvarado et al., 2014).

2.3.2.3FM. SAN MIGUEL

En un inicio en esta Formación se describieron todas las secuencias fluvio-lacustres de limolitas intercaladas con areniscas, cenizas y tobas que se caracterizan por sus colores muy variables debido a las pátinas de óxidos que se contrastan con las diferentes limolitas de color blanco, crema y anaranjado (DGGM, 1982a).

Debido a la existencia de varios ambientes sedimentarios descritos dentro de la Formación San Miguel se han caracterizado los siguientes Miembros:

Mb. San Miguel

Este Miembro consiste de capas métricas y decimétricas de areniscas gris verdosas con líticos gruesos y medianos de andesitas y pómez que se intercalan de limolitas tobáceas y tobas primarias retrabajadas. Las rocas de este Miembro son común observarlas en la antigua carretera de San Miguel del Común hasta la depresión del río Guayllabamba y en la loma de la Providencia en el camino Pomasqui-Puéllaro. Los sedimentos encontrados en este Miembro se asocian a depósitos fluviales, deltaicos y en menor medida lacustres en sistemas subacuosos en espesores cercanos a los 80 m. Subyace al Mb. Aluvial de la Fm. Pisque en un contacto levemente erosivo, mientras que su contacto superior con la Fm. Guayllabamba es discordante. Se infieren edades del Pleistoceno Inferior (Villagómez, 2003).

Mb. San Miguel Lacustre

Las rocas del Mb. San Miguel Lacustre son muy características por estar deformadas en ciertos lugares. En su parte inferior consiste de limolitas tobáceas, arcillolitas y areniscas finas de color negro que se intercalan con tobas ácidas decimétricas, también presenta rellenos de yeso en las fracturas y planos de estratificación. La parte no deformada aflora al Este del sector Loma San Ignacio, al Norte en la quebrada Cuchisevana en Tanda y la carretera Panamericana; la parte deformada en cambio se ha observado en los escarpes de la loma Tuyacchuru y en el desvío a Sta. Rosa de Cusubamba en la Peña Buitrera. Debido a que solo se han encontrado ciertos niveles deformados, indica que existe un mayor control gravitacional que tectónico. Este Miembro corresponde a un ambiente fluvio-lacustre con intercalaciones de flujos de lava. El contacto inferior es transicional con el Mb. Fluvio-Aluvial de la Fm. Pisque, lo mismo que en el contacto lateral con el Mb. San Miguel, donde se representa las facies lacustres más distales. Se infieren edades del Pleistoceno Inferior (Villagómez, 2003).

2.3.2.4 FM. GUAYLLABAMBA

En un inicio se definían las rocas aglomeráticas y tobas presentes en la depresión de la cuenca de Guayllabamba sin darles mucha distinción (DGGM, 1982b), pero al estar condicionada a la actividad volcánica y debido a las diferentes facies desarrolladas, se ha subdividido en los siguientes Miembros.

Mb. Lahar

Compuesto de bancos métricos de flujos de lodo, con clastos de limolitas, areniscas deformadas, volcanoclastos y pómez contenidas en una matriz lodosa. Estos flujos de lodo pueden estar intercalados con flujos hiperconcentrados, areniscas y lavas andesíticas. Se presentan en la cuenca de Guayllabamba, en la quebrada Peñalistado en El Quinche, y Bolsicos del río Pisque de la parte baja de Oyacoto. Aunque también se han registrado en quebrada Tantelo y río Guayllabamba. La fuente de origen es muy variada, siendo la CR su aporte desde el Este y los domos Catequilla y Pacpo desde el NW. Estos flujos de lodos se registran en espesores de 30 a 60 m e incluso más, y se encuentran de forma discordante con la Fm. San Miguel, mientras que es transitorio con el Mb. Volcánico de la Fm. Guayllabamba; su contacto superior con el Mb. Aluvial es una discordancia erosiva. Se infieren edades del Pleistoceno Medio (Villagómez, 2003).

Mb. Volcánico

Constituido por productos volcánicos primarios, como flujos de lodos y flujos piroclásticos tipo block y ash. También se han registrado depósitos de avalanchas con bloques decamétricos. Entre los líticos encontrados existen litologías parecidas al domo Catequilla y Pacpo, mientras que al Sur como en el río San Pedro su origen andesítico indica que proviene del volcán Ilaló y Rucu Pichincha. Sus espesores varían entre los 200 m hacia el Sur y en San Miguel del Común no sobrepasa los 60 m. El contacto con el Mb. Lahar es transicional y corresponde a las facies más proximales del Mb. Volcánico. Se infieren edades del Pleistoceno Medio (Villagómez, 2003).

Mb. Aluvial

Compuesta por secuencias aluviales estratificadas con bloques andesíticos centimétricos a métricos dentro de una matriz arenosa estrato creciente. Se observan a lo largo de la carretera Panamericana Norte hasta las canteras del río Guayllabamba y alcanza espesores hasta de 100 m. Su contacto inferior es discordante con el Mb. Lahar y en discordancia aparente bajo la Fm. Chiche. Se infieren edades del Pleistoceno Medio (Villagómez, 2003).

2.3.2.5 Fm. Chiche

En un inicio se subdividen en cinco unidades con base en su litología, pero en estudios recientes se caracterizan las siguientes cuatro subdivisiones o Miembros:

Mb. Fluivio-lacustre I

Compuesta de limolitas color crema, tobas blancas intercaladas con areniscas grises con pequeñas concreciones oxidadas y grietas de desecación. En la base se encuentran micro conglomerados con líticos andesíticos y pómez que hacia el techo cambian a capas arenosas con estratificación cruzada. Son visibles en la quebrada Peñalistado y la quebrada Jatunhuaycu, siendo el alto Calderón-Catequilla su límite hacia el Oeste. Las secuencias sedimentarias indican un ambiente fluvio-lacustre y se diferencian de las capas sedimentarias de la Fm. San Miguel por presentar colores más fuertes. Puede llegar a tener espesores de hasta 60 m al norte de la depresión, y se encuentra en un contacto inferior erosivo con la Fm. Guayllabamba y el Mb. Lahar de la Fm. Chiche en la parte superior. Se infieren edades del Pleistoceno Inferior (Villagómez, 2003).

Mb. Lahar

Predominan los flujos de lodo y flujos hiperconcentrados, de bloques angulosos de andesitas, obsidianas y pómez, junto a sedimentos más finos de la Fm. San Miguel y Mb. Fluvio-lacustre I. La presencia de clastos de obsidiana indica un aporte de la CR, y al ser depósitos muy uniformes podría indicar una deglaciación. Se infiere edades del Pleistoceno Superior (Villagómez, 2003).

Mb. Fluvio-lacustre II

Compuesta de limolitas tobáceas blancas, diatomitas y areniscas grises con estratificación cruzada, en algunos lugares llega a intercalarse con la Cangahua. Tiene espesores entre 20 a 40 m, y por paleocorrientes se determina que la principal fuente de aporte es hacia el Norte. Los contactos son ligeramente erosivos con el Mb. Lahar y Mb. Chiche s.s. En este Miembro por varios fósiles encontrados como restos de plantas y huesos se infiere edades del Pleistoceno Superior (Villagómez, 2003).

Mb. Chiche s.s.

Compuesta de areniscas grises intercaladas con tobas y conglomerados andesíticos, riolitas, grawacas y obsidiana, con imbricaciones que indican una fuente desde el Sur. Son observables en el puente del río Chiche y la loma de San Luis. Su ambiente indica que son flujos de lodo y flujos hiperconcentrados que hacia el Norte se van graduando a ambientes más fluviales provenientes posiblemente del volcán Cotopaxi, Pasochoa y Rumiñahui. Pueden llegar a tener hasta 100 m de espesor y su contacto superior es concordante con la Fm. Cangahua, aunque hacia el SW de la cuenca de Quito el tipo de contacto es discordante angular. Por recientes dataciones de caídas de ceniza de la

caldera del Chacana se han obtenido edades de 0.165-0.18 Ma (Villagómez, 2003; Alvarado et al., 2014).

2.3.2.6 Fm. Machángara

En un inicio en esta Formación se incluían los volcánicos indiferenciados de los complejos volcánicos Atacazo y Pichincha (DGGM, 1982d), aunque por trabajos recientes se han subidvidido en los siguientes Miembros:

Mb. Volcánicos Basales

Compuesta de volcánicos primarios en depósitos de avalanchas, flujos piroclásticos, lavas andesíticas, caídas de ceniza, pómez y en menor medida debris flow que no superan los 100 m de espesor. Este Miembro se limita a la subcuenca de Quito, en la carretera de Zámbiza, quebrada Porotohuaycu, y la cantera de la vía Interoceánica en la quebrada de El Batán. Su fuente estaría limitada por el volcán Pichincha y se encuentra en discordancia angular con la Fm. Chiche a su vez que está en discordancia angular con el Mb. Quito. Se estiman edades del Pleistoceno Superior (Villagómez, 2003).

Mb. Quito

Conformado por depósitos volcánicos tipo debris flow y lahares intercalados con cenizas y arenas fluviales poco consolidadas. La matriz de estos flujos se compone de cangahua retrabajada que hacia el Este de la cuenca de Quito tienen una tendencia grano decreciente. Hacia el borde occidental en cambio muestran facies de conos aluviales, que según por pozos realizados en la zona corresponderían a facies lacustres y palustres. Los materiales retrabajados de este Miembro pueden ser producto de la intensa erosión del volcán Rucu Pichincha y la actividad volcánica del Atacazo. Sus espesores en los bordes están entre los 100 m, mientras que en el centro de la cuenta llegaría a tener espesores de hasta 300 m. Su contacto inferior es una discordancia progresiva con el Mb. Volcánicos Basales y es transicional con la Fm. Cangahua. Por dataciones de K/Ar en rocas del complejo volcánico Atacazo se estiman edades del Pleistoceno Superior (Villagómez, 2003).

2.3.2.7 Fm. Cangahua

Esta formación cubre casi todo el IAV, y se ha clasificado según su grado de consolidación y contenido en fósiles: Cangahua eólica antígua, Cangahua eólico moderna y Cangahua eólica reciente (Sauer, 1943; Hoffstetter, 1952). Estrella (1986), las describió basados en su grado de consolidación y posición estratigráfica en las unidades A, B, C. Donde la Unidad A, es la que se intercala con la Fm. Guayllabamba y Fm. Chiche,

mientras que las otras dos unidades descansan directamente sobre las Formaciones Chiche, Machángara y Mojanda.

La litología de la cangahua consiste de tobas alteradas de colores amarillentos a marrones, que se intercalan con caídas de ceniza, pómez, paleosuelos y en menor grado flujos de lodo y canales aluviales. Este material se caracteriza por tener una textura limo-arenosa. Puede llegar a tener espesores de hasta 50 m, y dentro de esta formación se han encontrado fósiles de huesos de mamíferos, impresiones de plantas, bolas de cangahua entre otros (Estrella, 1986; Hoffstetter, 1952).

Por las características litológicas y paleontológicas se sugieren un ambiente tipo seco a húmedo. Para las edades de esta formación se tomaron dataciones radiométricas en las Unidades B y C, y dataciones de C^{14} en restos de fósiles dando edades entre 0.26 a 0.01Ma, por lo que se infiere edades del Pleistoceno Superior al Holoceno (Villagómez, 2003).

2.3.2.8 Depósitos del Pululahua

Los depósitos del Pululahua consisten de flujos piroclásticos, lahares, colapsos de domos y productos detríticos distribuidos de forma radial desde la caldera. Está compuesta de dos Unidades: *Unidad Basal*, que está constituida por flujos piroclásticos de rocas dacíticas en una matriz vítrea y que no sobrepasan los 30 m de espesor; y la Unidad Somital, que consiste de caídas de cenizas y pómez de color blanco en espesores no mayores a los 8 m. Ambas Unidades se restringen al área de Pomasqui y San Antonio (Villagómez, 2003).

2.3.2.9 Terrazas de la depresión Guayllabamba

Dentro de la depresión Guayllabamba se encuentran terrazas de tipo fluvio-lacustre desarrolladas en cuatro niveles y están constituidas por materiales arenosos-limosos con intercalaciones de ceniza (Villagómez, 2003).

2.3.3 CONFIGURACIÓN TECTÓNICA

Como se ha mencionado antes, el IAV comienza su apertura en el Mioceno Tardío con la Cuenca de Chota por las fallas de rumbo Calacalí-Pallatanga, y empieza su relleno con las dos principales series sedimentarias separadas por una disinconformidad mayor. La secuencia inferior conformada por las Fms. Pisque y San Miguel que fueron dominadas por un régimen extensional E-W desde el Pleistoceno Tardío al Pleistoceno Temprano; y la secuencia superior conformada por las Fms. Guayllabamba, Chiche, Machángara,

Mojanda y Cangahua, que se depositaron durante el Pleistoceno Medio al Holoceno durante un régimen compresivo E-W (Villagómez et al., 2002).

La Fm. Pisque en la parte superior está compuesta por sistemas de abanicos aluviales y ríos trenzados, junto con la subsecuente formación de un lago al NE del valle que indican su subsidencia y el levantamiento de la CO. Estas secuencias se confirman con los aportes detríticos provenientes de la CO en la Fm. San Miguel y estructuras syn-sedimantarias. De forma consecutiva, el cambio de la configuración tectónica y actividad volcánica, marca una disconformidad a lo largo de los remanentes lacustres y la posterior depositación de la Fm. Guayllabamba en el Pleistoceno Medio. Este régimen compresivo provocó varios lahares que al entrar en las facies lacustres causaron importantes deformaciones tipo “slumps” en la Fm. San Miguel, mientras que al Oeste de la cuenca la Fm. Guayllabamba quedaría registrada por los sistemas aluviales consecutivos al levantamiento del CCR, que junto con el BBR e IPR antes se consideraban parte de un graben, pero por observaciones geomorfológicas pasarían a formar parte de un sistema de fallas cabalgantes hacia el Oeste (Villagómez et al., 2002; Alvarado et al., 2014).

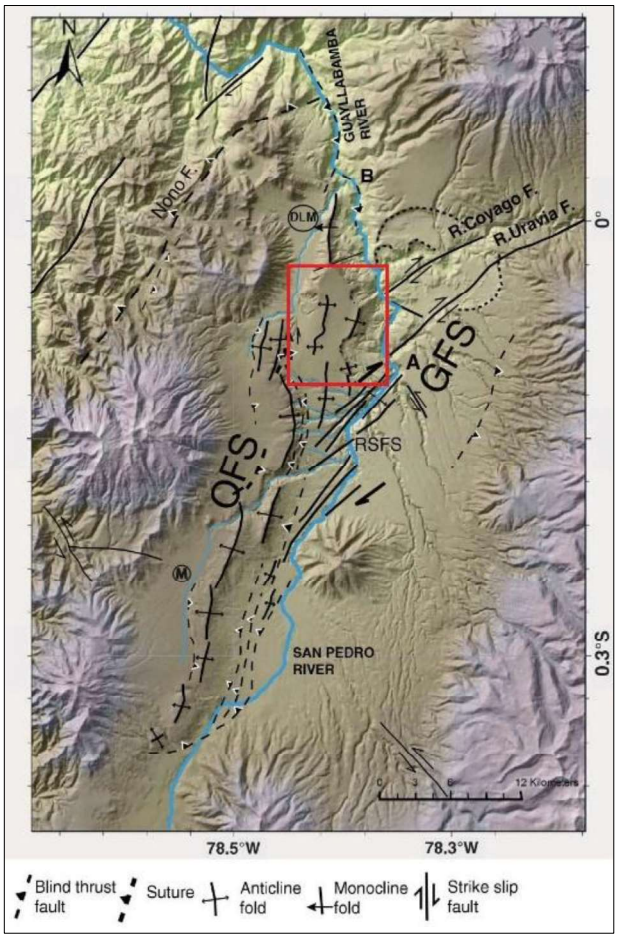


Figura 2.8: Mapa neotectónico de las principales fallas de Quito: Sistema de Fallas de Quito (QFS) y Sistema de Fallas Guayllabamba (GFS). El área en rojo marca la zona de estudio. (modificado de Alvarado et al., 2014)

Desde ese periodo pequeños pulsos tectónicos a lo largo del Sistema de Fallas de Guayllabamba (GSF) y Sistema de Fallas de Quito (QFS) en sentido N-S y NE-SW (**Figura 2.8**), acompañarían en la depositación de las Fms. Chiche y Machángara junto a la actividad volcánica del Mojanda, Pichincha y Atacazo (Villagómez, 2003; Alvarado et al., 2014).

Durante el Pleistoceno tuvo lugar la depositación de la Fm. Cangahua y de forma posterior el depósito de los productos piroclásticos del volcán Pululahua Norte y depósitos lacustres denominados La Carolina en el Centro norte de la cuenca de Quito (Villagómez, 2003).

2.3.4 VOLCANISMO Y SISMISIDAD

2.3.4.1 Volcanismo

El volcanismo Terciario-Cuaternario empezó con un único frente volcánico que se extendía en todo el Ecuador, luego a partir de los 5 Ma se extinguió en el Sur cerca de la falla de Guayaquil y se limitó al Norte en un único frente conocido como la CR. Desde el Cuaternario Temprano el cinturón volcánico se ensanchó hacia el Oeste en la CO donde la actividad volcánica se registra desde los 1.5-1.0 Ma (Barberi et al., 1988).

De los volcanes más importantes se resaltan los que se encuentran cerca del área de interés, y se consideran activos o potencialmente activos como es el caso del Pululahua:

Complejo Volcánico Pichincha, que está compuesto de dos estratovolcanes Rucu y Guagua Pichincha, mismos que se encuentran separados por el edificio basal dacítico El Cinto. Para el primer estratovolcán Rucu Pichincha se registran edades entre los 850 a 260 Ka y en la actualidad se considera como inactivo. Para el Guagua Pichincha se ha registrado edades pre-Holocénicas, con una composición andesítica-dacítica y el cual se ha clasificado como un volcán de tipo explosivo (Samaniego et al., 2006; IGEPN, 2019).

Volcán Pululahua, que se desarrolla en dos periodos, el pre-Holoceno y Holoceno. En el Periodo del pre-Holoceno se caracteriza por dos grupos de domos de lava de composición ácida que erupcionaron en un periodo de tiempo entre los 2.0 a 1.2 Ka antes del presente (AP). Durante el Holoceno la actividad eruptiva tiene al menos seis grandes erupciones explosivas que dan lugar a la formación del cráter actual entre los 2.6 y 2.4 Ka (AP), donde se emplazaron los últimos domos de lava registrados hace 2.4 a 2.2 Ka (AP) (IGEPN, 2019).

Complejo Volcánico Cayambe, que en la actualidad se encuentra cubierto por nieve, y es considerado uno de los complejos más grandes del país. Este volcán ha tenido una actividad desde los 11.8 Ka, observándose domos calco alcalinos tipo adakíticos, flujos de lava, flujos piroplásticos, lahares, caídas de ceniza y lapilli (Samaniego et al., 2002). De los últimos registros obtenidos se calculan entre 18 a 20 erupciones en los últimos 4 Ka, y se tienen documentaciones que la última erupción ocurrió entre 1785-1786 descrita como de tipo subglaciar con un predominio de flujos de lava y lahares (IGEPN, 2019).

Volcán Cotopaxi, que es considerado uno de los volcanes más peligrosos del mundo debido a la fácil generación de lahares, flujos de lodo y escombros. Es de tipo estratovolcán (IGEPN, 2019). Su composición es en su mayoría andesítica, aunque en ciertos periodos de tiempo su composición ha variado a riolítica. Este volcán ha experimentado al menos 13 erupciones importantes desde 1534, donde se han registrado flujos piroclásticos, caídas de ceniza, lapilli y bloques, acompañados de flujos de escombros de gran alcance (Minard & Mothes, 2007).

2.3.4.2 Sismicidad

En Quito se han registrado cinco eventos sísmicos de gran magnitud en los últimos 500 años que se asocian eventos compresivos por la subducción, de los cuales pocos se correlacionan al QFS (Beauval et al, 2010). Según datos registrados desde 1994 al 2009 se han capturado 1758 eventos crustales de magnitudes entre 3.0 a 5.3 Mw en la escala de Ricther en profundidades menores a los 40 km (**Figura 2.9**) (Alvarado et al., 2014).

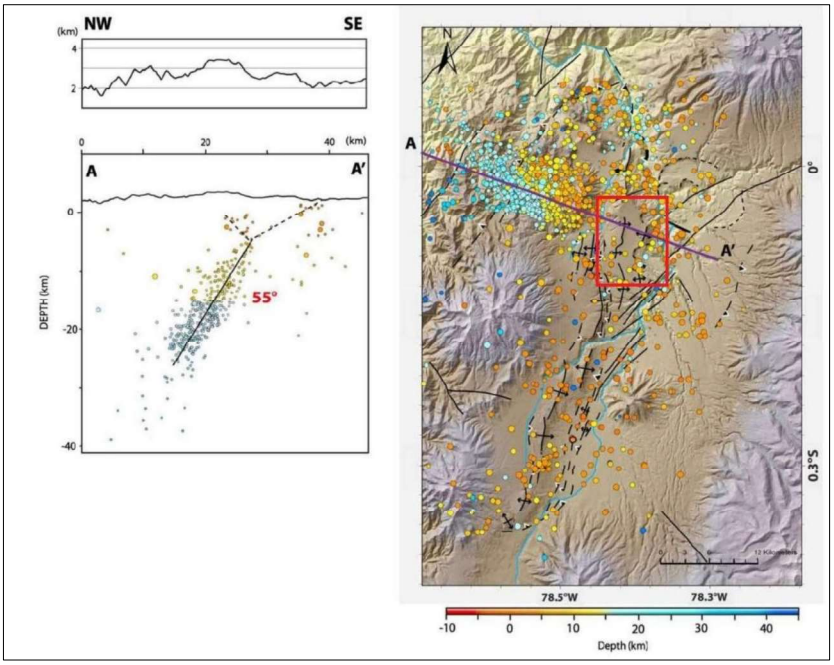


Figura 2.9: Distribución local de microsismos en Quito entre los años 1994-2009, de magnitudes de 3.0-5.3 Mw en la escala de Richter. El área en rojo marca la zona de estudio (modificado de Alvarado et al., 2014).

3. MECÁNICA DE SUELOS

3.1 INTRODUCCIÓN

Los suelos se componen de una parte clástica (minerales), materia orgánica descompuesta, organismos vivos, agua y gases dentro de los poros (Schaetzl & Anderson, 2005). Sus propiedades físicas están condicionadas por la forma, tamaño y composición química de los granos (Braja & Khaled, 2014). Los suelos pueden ir variando dependiendo del lugar en que se esté, por lo tanto, la acción antrópica generada en un medio geográfico dado, altera las condiciones naturales de dicho suelo y condiciona su comportamiento cuando existen explanaciones, excavaciones, aplicaciones de carga al terreno, entre otros.

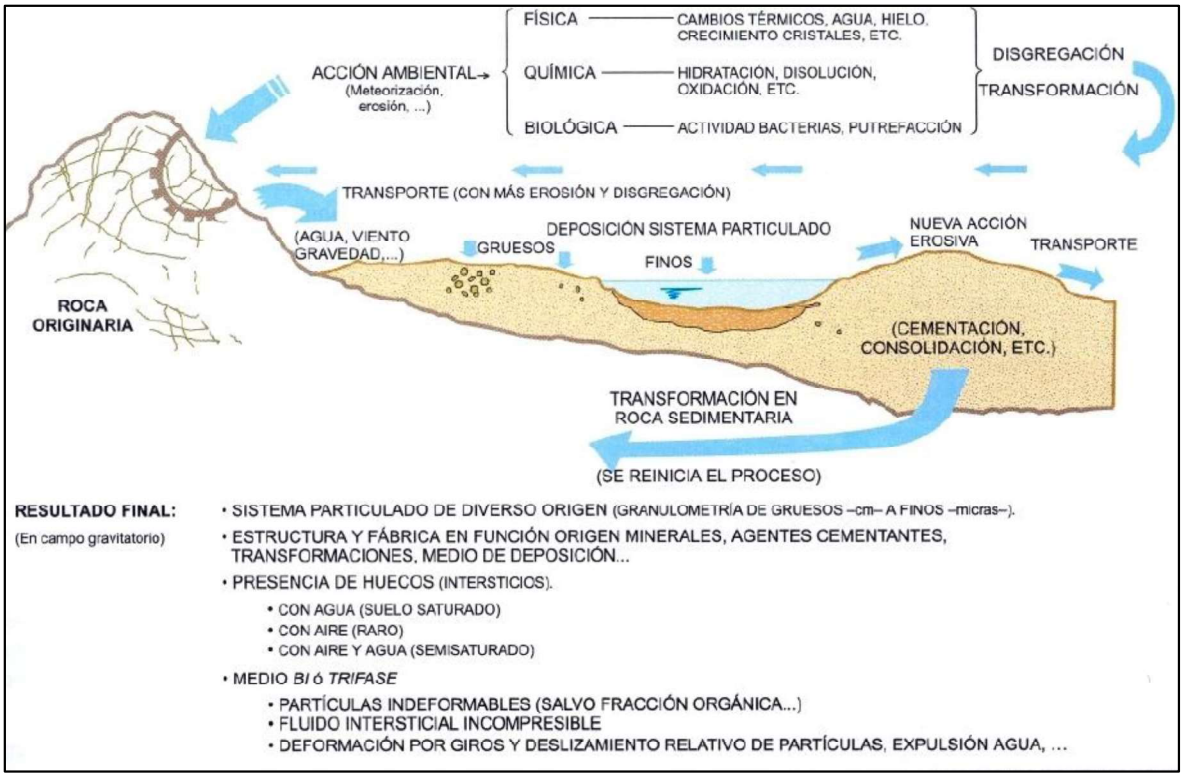


Figura 3.1: Formación de los suelos (tomado de Vallejo et al., 2002).

3.1.1 FORMACIÓN DE LOS SUELOS

Los suelos se forman por la acción disgregadora ambiental de una roca preexistente (roca madre) en la superficie, debido a factores físicos, químicos o biológicos (Figura 3.1). El proceso comienza por la meteorización, erosión o alteración de una roca ya sea por el agua, viento o movimientos gravitacionales, que provocan el fraccionamiento de la roca en partículas más pequeñas, las cuales pueden depositarse en el lugar donde se

originaron (suelos residuales o autóctonos), o pueden ser transportados distancias considerables (suelos transportados o alóctonos), (Terzaghi et al., 1996; Braja & Khaled , 2014).

Existen diferentes ambientes sedimentarios asociados a los suelos transportados (Figura 3.2) (Earle, 2015):

Glaciales: Generados por el movimiento gravitacional del agua congelada, los sedimentos se depositan en los valles, planicies, arroyos o lagos. Forman tills, gravas, arenas, limos y arcillas.

Coluviales: Generados por gravedad, los sedimentos se depositan en los valles. Forman fragmentos angulares de tamaño grueso.

Fluviales: Ocasionados por el movimiento del agua, los sedimentos se depositan en los canales del río. Forman gravas, arenas, limos y pueden contener materia orgánica.

Eólicos: Por acción del viento. Los productos se depositan en desiertos o regiones costeras. Forman arenas y limos.

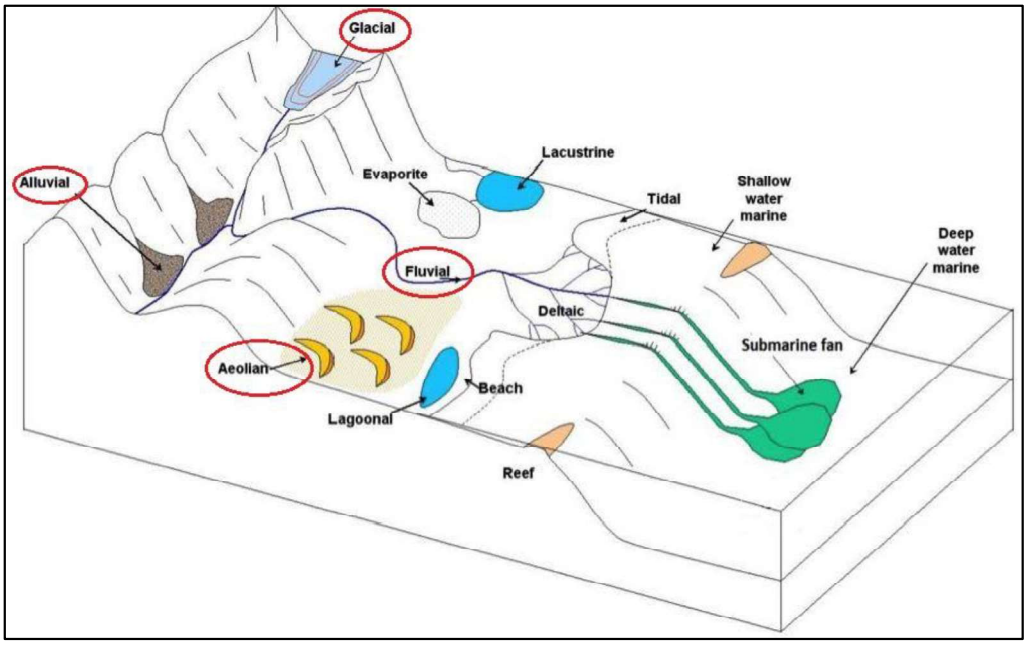


Figura 3.2: Tipos de ambientes de depositación terrígenos (modificado de Earle, 2015).

3.2 TIPOS DE SUELOS

3.2.1 SUELOS GRANULARES Y COHESIVOS

Depende del tamaño de sus partículas. Existen diversos sistemas de clasificación basados en la escala de *phi*, que en geología hace referencia al tamaño individual de las partículas (Figura 3.3), por lo que se ha clasificado a los suelos en cuatro grandes grupos, en función de su granulometría (Vallejo et al., 2002):

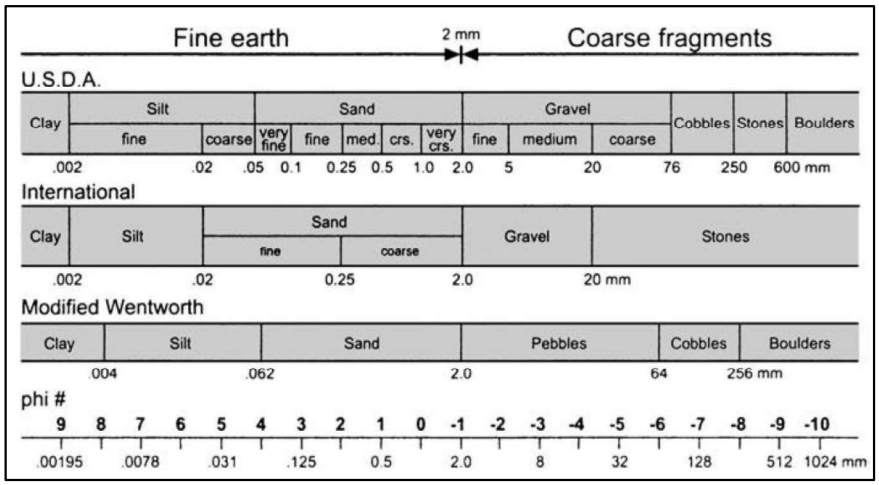


Figura 3.3: Relación entre el tamaño de la partícula con base en los tres sistemas más usados (tomado de Schaetzl & Anderson, 2005).

Gravas: Tamaño de grano entre 8-10 cm y 2 m. No retienen el agua por la inactividad de su superficie y los grandes huecos existentes entre partículas, se consideran suelos granulares.

Arenas: Partículas comprendidas entre 2 y 0,060 mm, se observan a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, si no que se separan de ella con facilidad, se consideran suelos granulares.

Limos: Partículas comprendidas entre 0,06 y 0,002 mm (algunas normativas indican que este último valor debe ser de 0,005 mm, pero no hay apenas consecuencia práctica entre ambas distinciones). Retienen mejor el agua. Si se forma una pasta-limo y se adhiere en la mano, al golpear con la mano se ve cómo el agua se extrae con facilidad, se consideran suelos cohesivos.

Arcillas: Partículas con tamaños inferiores a 0,002 mm. Se trata de partículas que necesariamente han sufrido transformaciones químicas para llegar a esos tamaños. Constituidas de forma mayoritaria de minerales silicatados, que contienen en su estructura

enlaces covalentes débiles dominantes, donde pueden entrar las moléculas de agua entre las cadenas de tetraedros u octaedros, produciendo en muchos casos el aumento del volumen (se recuperan cuando el agua abandona el medio). Todo esto hace que la capacidad de retención del agua sea muy grande, por lo que son generalmente materiales más problemáticos, se consideran suelos cohesivos.

3.2.2 SUELOS ORGÁNICOS

Se forman por la descomposición de animales o plantas. El estado de descomposición o degradación de la materia orgánica (humus), condiciona su estructura y morfología (Schaetzl & Anderson, 2005). Tienen una baja capacidad portante, una compresibilidad muy variable, y en presencia del agua se vuelven inestables (Terzaghi et al., 1996; Myoelinska, 2003).

3.2.3 RELLENOS

Acumulación de residuos sólidos que provienen de la actividad humana incluyendo escombros, restos de animales y desechos producidos en procesos industriales. Son terrenos no aptos para la ubicación de obras de infraestructura, también se los conoce como residuos sólidos urbanos (RSU) (Lebenhagen, 1998).

3.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

3.3.1 GRANULOMETRÍA

La granulometría se basa en el análisis de la distribución del tamaño de los granos en un agregado. Para partículas mayores a 0,075 mm, se realiza mediante un análisis en seco, y cuando las partículas son menores a 0,075 mm, por sedimentación con el método del hidrómetro (análisis en húmedo).

3.3.1.1 Granulometría por tamizado

La muestra de suelo pasa por una serie de tamices, que van disminuyendo su diámetro a una razón de dos, mientras el conjunto es agitado. El contenido retenido en cada tamiz es pesado y comparado con el peso inicial para determinar el porcentaje C_j, que pasa por el tamiz con ese diámetro en específico D_j:

$$C_j = \frac{\sum_{i=j+1}^{n+1} P_i}{P} x\ 100 \qquad (3.1)$$

$$P = \sum_{i=1}^{n+1} P_i \tag{3.2}$$

Dónde: P, es el peso en seco total de la muestra;

P_i, es el peso retenido por el tamiz de diámetro D;

P_{n+1}, es el retenido por la base ciega que se pone debajo de la columna de tamices.

Con los datos obtenidos se puede realizar la curva granulométrica (Figura 3.4), que relaciona C_j con el logaritmo de D_j.

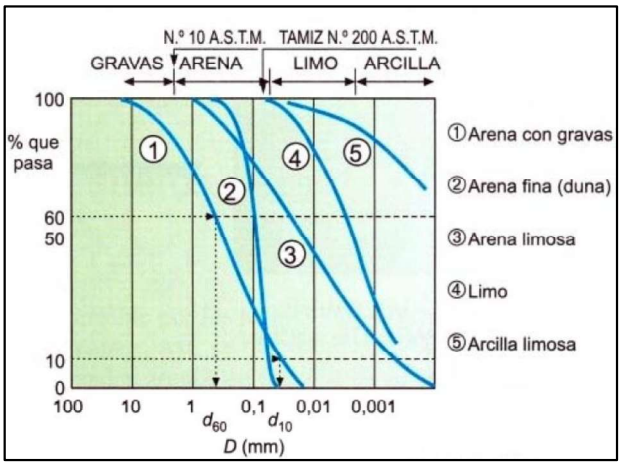


Figura 3.4: Granulometría de partículas (tomado de Vallejo et al., 2002).

Coeficiente de uniformidad (C_u): Es la relación entre el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 60% y el diámetro correspondiente por el que pasa el 10%. Si C_u < 5 tiene una granulometría uniforme; si 5 <C_u < 20 es poco uniforme y si C_u> 20 entonces tendrá una granulometría bien graduada.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \tag{3.3}$$

Coeficiente de gradación (C_c): Relación del diámetro que corresponde al tamiz por el que pasa un 30% y los diámetros de los tamices por los que pasan el 60% y 10% respectivamente. Si 1 < C_c< 3 entonces el suelo se clasifica como bien graduado.

$$C_c = \frac{D^2{}_{30}}{D_{60} * D_{10}}$$

(3.4)

3.3.1.2 Granulometría por sedimentación

Se usa muestras de suelo que ha pasado por el tamiz número 200 de la serie de tamices normalizados (0,075 mm). El análisis por granulometría indica el porcentaje de limos y arcillas. Está relacionado con la posibilidad de retención del agua de dicho suelo. Cuanto mayor sea el contenido de finos, mayor será la dificultad de expulsión del agua mediante esfuerzos (Vallejo et al., 2002).

3.3.2 PLASTICIDAD

3.3.2.1 Límites Atterberg

Define la *consistencia del suelo* en función de su contenido en agua mediante la determinación de la humedad. La consistencia del suelo crecerá o decrecerá dependiendo el contenido de agua. Si un suelo arcilloso mojado se deseca de forma gradual, pasará de un estado líquido a plástico y finalmente a un estado sólido. Dependiendo del contenido de agua el material cambiará de un estado a otro de acuerdo al tipo de arcillas que contenga, con base en el contenido de agua se puede identificar y comparar los diferentes tipos de arcillas presentes en dicho suelo. Sin embargo, al no ser la transición abrupta se han establecido ciertos límites cuando el material pasa de un estado a otro (Figura 3.5). Este método fue propuesto por Atterberg en 1911 (Terzaghi el al., 1996; Samtani & Nowatzki, 2006):

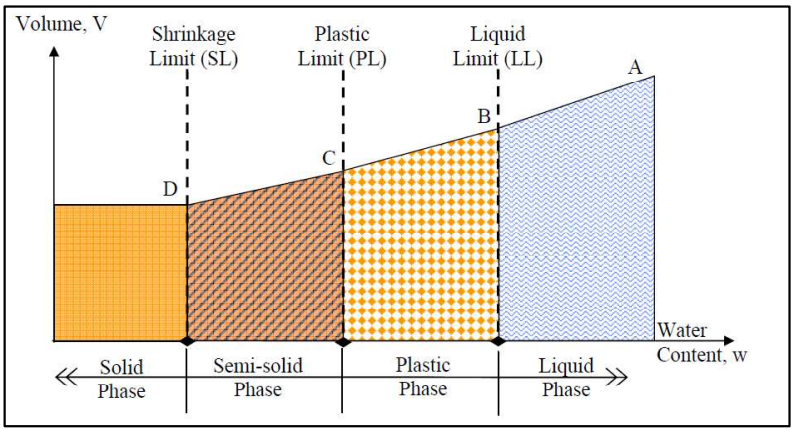


Figura 3.5: Cambios conceptual de las fases del suelo en función de su contenido en agua (tomado de Samtani & Nowatzki, 2006).

- **Límite líquido**

Marca la transición del estado líquido al estado plástico (LL). Este límite representa el contenido de humedad en el que cualquier aumento del contenido de agua hará que un suelo plástico se comporte como un líquido viscoso. Para su cálculo se utiliza un equipo estandarizado denominado “Cuchara de Casagrande”, según las normas ASTM D4318. Se amasa el suelo seco con agua y se lo extiende dentro de la copa del equipo, se abre dentro de la masa extendida, un surco con un acanalador de unos 2 mm en la parte baja. El molde se coloca sobre una base y se somete a golpes controlados. El límite líquido es la humedad de la muestra cuando al dar 25 golpes cierra un canal de 12,75 mm. Como es difícil esta condición, se determina la humedad por interpolación, a partir de dos muestras en las que se debe conseguir el cierre con más o menos golpes que 25 (Terzaghi et al., 1996;Samtani & Nowatzki, 2006; Andrade et al., 2011; Braja & Khaled, 2014).

- **Límite plástico**

Es el cambio transicional del estado plástico al estado semisólido (LP). Se determina amasando una muestra de suelo seco con agua para formar rollos en la palma de la mano sobre una superficie lisa, hasta alcanzar un diámetro de 3 mm y una longitud de 25-30 mm, según establece la normativa ASTM D4318. Sí, en ese momento, los cilindros se cuartean en fracciones de unos 6 mm, su humedad es el límite plástico (que se obtiene secando en un horno varios cilindros en similares condiciones). Si no se cuartea, se vuelve a formar cilindros para que pierda agua y llegue a cuartearse (Terzaghi et al., 1996; Andrade et al., 2011; Braja & Khaled, 2014).

- **Límite de contracción**

Marca el cambio del estado semisólido al estado sólido (LS). Determina el contenido de humedad en el cual un suelo no cambia su volumen por efecto del aumento en el contenido de agua. Las normas ASTM D427 indican que la muestra de suelo cambiará un poco de su tonalidad normal tan pronto como la muestra pase por debajo del límite de contracción. (Terzaghi et al., 1996; Andrade et al., 2011; Braja & Khaled , 2014).

3.3.2.2 Índice de Plasticidad (IP)

Representa el intervalo de unidades para pasar de un estado semisólido a un semilíquido. El Índice de Plasticidad (IP) es el rango del contenido de agua dentro del cual un suelo posee plasticidad, y es la diferencia numérica entre el límite líquido y el

límite plástico, también representa el cambio de contenido de humedad que se necesita para que exista una variación en la resistencia, en un estimado de cien veces más.

$$IP = LL - LP \tag{3.5}$$

Se ha definido de forma cualitativa valores numéricos donde se correlaciona la plasticidad y el índice plástico obtenido (Tabla 3.1) (Terzaghie et al., 1996) (Braja & Khaled, 2014; Carter, 2016).

Índice Plástico	Descripción
0	No plástico
1-5	Ligeramente plástico
5-10	Plasticidad baja
10-20	Plasticidad media
20-40	Plasticidad alta
>40	Plasticidad muy alta

Tabla 3.1: Representación cualitativa del Índice de Plasticidad (tomado de Braja & Khaled, 2014).

3.3.2.3 Índice de Liquidez

Es el ratio de diferencia entre el contenido de agua (w) del suelo *in situ* y el límite plástico con el índice de plasticidad.

$$IL = \frac{w - LP}{IP} \tag{3.6}$$

Las diferentes fases mostradas en la Figura 3.5 y el comportamiento de deformación del suelo pueden ser expresadas en términos del Índice de Liquidez como lo muestra la Tabla 3.2 (Samtani & Nowatzki, 2006; Braja & Khaled, 2014).

3.3.2.4 Potencial de Expansividad

La expansividad de un suelo se debe a un aumento en el tamaño de los poros por presencia de agua (Vallejo et al., 2002). El potencial de expansividad, por lo tanto, indica la susceptibilidad de un material a la contracción o expansión por el cambio de humedad presente en el suelo.

Índice de Liquidez (IL)	Fase del suelo	Resistencia del suelo (Deformación del suelo)
IL>1	Líquida	Baja resistencia. (El suelo se deforma como un fluido viscoso)
0 < IL < 1	Plástica	Resistencia intermedia. - Si w ≈ LL, el suelo es considerado como suave y muy compresible. - Si w ≈ LP, el suelo se considera rígido. (El suelo se deforma como un material plástico)
IL ≤ 0	Semisólido a sólido	Resistencia alta. (Los suelos se deforman como un material frágil)

Tabla 3.2: Concepto de fases, resistencia y deformación del suelo en función del Índice de Liquidez IL (tomado de Samtani & Nowatzki, 2006).

Existen varias correlaciones en función del índice de plasticidad para suelos con alto contenido en arcillas (entre el 8 y 65%), propuesta por Seed et al. (1962), aunque alcancen un error del 33%, y para suelos granulares propuestos por el UK Building Research Establishment (BRE, 1993), y el UK National House Building Council (NHBC, 2008) (Tabla 3.3), estas correlaciones junto con métodos de diseño y otros factores se usan para determinar las profundidades mínimas de cimientos (Carter & Bentley, 2016; Braja & Khaled, 2014).

Potencial de Expansión (%)	Índice de Plasticidad		Índice de Plasticidad Modificado	
	Seed et al. (1962)	Krebs and Walker (1971)	BRE (1993)	NHBC (2008)
Bajo	0-15	0-15	<20	<20
Medio	10-30	15-24	20-40	20-40
Alto	20-55	25-46	40-60	>40
Muy Alto	>40	>46	>60	--

Tabla 3.3: Correlación de los suelos expansivos en función de su índice de plasticidad (Modificado de Carter & Bentley et al., 2016)

3.3.2.5 Carta de plasticidad

El Límite Líquido y el Índice de Plasticidad se plotean en una "carta de plasticidad" según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, como se ilustra en la Figura 3.6. La carta puede ser usada para clasificar los suelos en arcillas (se muestran en la región sobre la línea A) y limos (debajo de la región de la línea A). Además, se implementa una región debajo de la línea A, con un LL > 30 en donde se encuentran los limos con materia orgánica. La línea U, marca el límite superior para el cual existe la relación entre el Límite

Líquido vs el Índice de Plasticidad (Samtani & Nowatzki, 2006; Braja & Khaled, 2014; Carter, 2016).

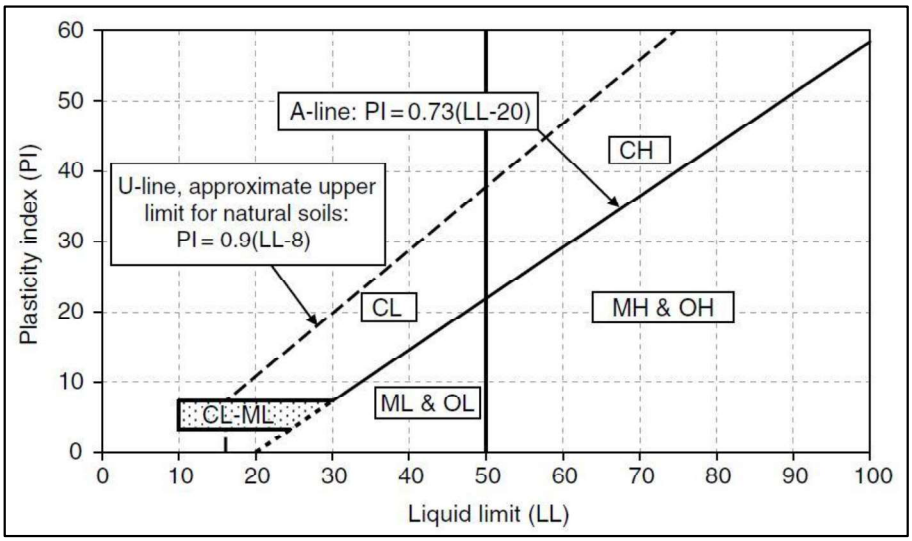


Figura 3.6: Carta de Plasticidad para el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos ASTM (tomado de Carter, 2016). El tipo de suelo se marca con la primera letra, C = arcilla; M = limo; O = suelo orgánico; S = arena, y la Plasticidad como segunda letra, H = alta y L = baja.

3.4 RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS

3.4.1 ÍNDICE DE VACÍOS (e)

Es la relación del volumen de vacíos ocupados por aire o agua (v_v) y el volumen de la parte sólida (v_s). Varía, en la mayoría de los casos entre 0,30 y 1,30. Aunque en suelos muy flojos y con materia orgánica llega a alcanzar valores mayores a 3. Cuanto mayor es este valor, más huecos hay en el suelo, por lo tanto, más flojo o blando el terreno, y mayor es su deformabilidad (Vallejo et al., 2002; Braja & Khaled, 2014; Carter, 2016).

$$e = \frac{v_v}{v_s} \tag{3.7}$$

3.4.2 POROSIDAD (n)

Es la relación entre el volumen de vacíos (v_v) y el volumen total del elemento considerado (v). Puede también expresarse en función del índice de vacíos (Vallejo et al., 2002; Braja & Khaled, 2014; Carter, 2016).

$$n = \frac{v_v}{v} \qquad (3.8); \; n = \frac{e}{1+e} \qquad (3.9)$$

3.4.3 PESO ESPECÍFICO (G)

Es el valor medio correspondiente a las diversas partículas. Su valor se determina en laboratorio mediante el volumen que ocupa una muestra de las partículas (secas y disgregadas con su peso conocido) por el desplazamiento de un volumen de líquido conocido. Se suele alcanzar valores del orden de 25 a 27 kN/m^3, aunque en determinados suelos con minerales de hierro alcanza valores de 30-31 kN/m^3 (Vallejo et al., 2002; Carter, 2016).

3.4.4 PESO ESPECÍFICO SECO (γ_d)

Es la relación entre el peso de la parte sólida de una muestra seca y el volumen aparente que ocupa. Pueden ser valores que van desde los 13 y 19 kN/m^3, aunque en algunos suelos volcánicos y depósitos eólicos alcanzan valores de 6 a 12 kN/m^3 (Vallejo et al., 2002; Braja & Khaled, 2014; Carter, 2016).

$$\gamma_d = \frac{G}{1+e} \qquad (3.10)$$

3.4.5 PESO ESPECÍFICO SATURADO (γ_{sat})

Es la relación entre el peso de la parte sólida más el peso del agua contenida en todos los vacíos (γ_w), y el volumen aparente del elemento de referencia. Los valores varían entre 16 y 21 kN/m^3(Vallejo et al., 2002; Braja & Khaled, 2014; Carter, 2016).

$$\gamma_d = \frac{G+e\gamma_w}{1+e} \qquad (3.11)$$

3.4.6 HUMEDAD (W)

Es el contenido de agua de un suelo en su estado natural, está relacionado entre el peso de la fase líquida (W_W) y el peso de la fase sólida del suelo (W_s). Suele variar entre el 5 y

8% en suelos granulares, y 60-70% en suelos arcillosos, aunque en suelos orgánicos alcanza valores del 300-400% (Vallejo et al., 2002; Braja & Khaled, 2014; Carter, 2016).

$$W = \frac{W_W}{W_s} * 100 \tag{3.12}$$

3.4.7 PESO ESPECÍFICO APARENTE (γ_{ap})

Es la relación entre el peso de la muestra, la parte sólida más la parte líquida y su volumen aparente. Suele variar entre 15 y 21 kN/m^3(Vallejo et al., 2002; Braja and & Khaled, 2014; Carter, 2016).

$$\gamma_{ap} = \gamma_d(1 + W) \tag{3.13}$$

3.4.8 GRADO DE SATURACIÓN (S_r)

Es la relación entre el peso del agua que contiene la muestra y el que contendría si la muestra estuviera saturada (W_{sat}) (Vallejo et al., 2002; Braja & Khaled, 2014; Carter, 2016).

$$S_r = \frac{W}{W_{sat}} \tag{3.14}$$

3.4.9 DENSIDAD RELATIVA (D_r)

La densidad relativa hace referencia al grado de compacidad o flojedad que tiene un suelo granular *in situ* (Tabla 3.4) (Braja & Khaled, 2014), y se define como:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \tag{3.15}$$

Dónde: *e*, es la relación de vacíos del suelo;

$e_{máx}$, es la relación de vacíos en el estado más flojo;

e_{min}, es la relación de vacíos en el estado más compactado.

Densidad relativa (%)	Descripción
0-15	Muy suelto
15-50	Suelto
50-70	Medio
70-85	Denso
85-100	Muy denso

Tabla 3.4: Densidad relativa de un suelo (tomado de Braja & Khaled, 2014).

3.5 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LOS SUELOS

Aunque algunas de las propiedades físicas se incluyen dentro de las propiedades mecánicas de los suelos, sin embargo, en este apartado se definen las siguientes:

3.5.1 PERMEABILIDAD

El coeficiente de permeabilidad (k) se define como la tasa de flujo sobre una unidad de área de suelo (A) bajo un gradiente de presión unitario (i). Esto supone una relación lineal entre el gradiente de presión y la tasa de flujo (q), que es el volumen de flujo por unidad de tiempo, y que representa la base de la ley de Darcy (Carter, 2016).

$$k = \frac{q}{A_i} \tag{3.16}$$

Si la tasa de flujo (q) es dividida para el área, entonces se obtiene la velocidad de flujo (v):

$$k = \frac{V}{i} \tag{3.17}$$

La permeabilidad de un suelo está muy influenciada por su macroestructura. Las arcillas que tengan fisuras o bandas continuas de arena tendrán permeabilidades mayores que una arcilla netamente homogénea. Además, los suelos estratificados tienen mayor permeabilidad de flujos horizontales que de flujos verticales. Debido a estas condiciones, una muestra de laboratorio no podrá representar el comportamiento de los flujos

presentes en el terreno y la interpretación de resultados puede volverse difícil e incierta. Casagrande y Fadum (1940) presentaron los valores más típicos dependiendo del tipo de suelo (Figura 3.7). También se ha sobreimpuesto la clasificación de los suelos según las normas AASHTO (Braja & Khaled, 2014; Carter, 2016).

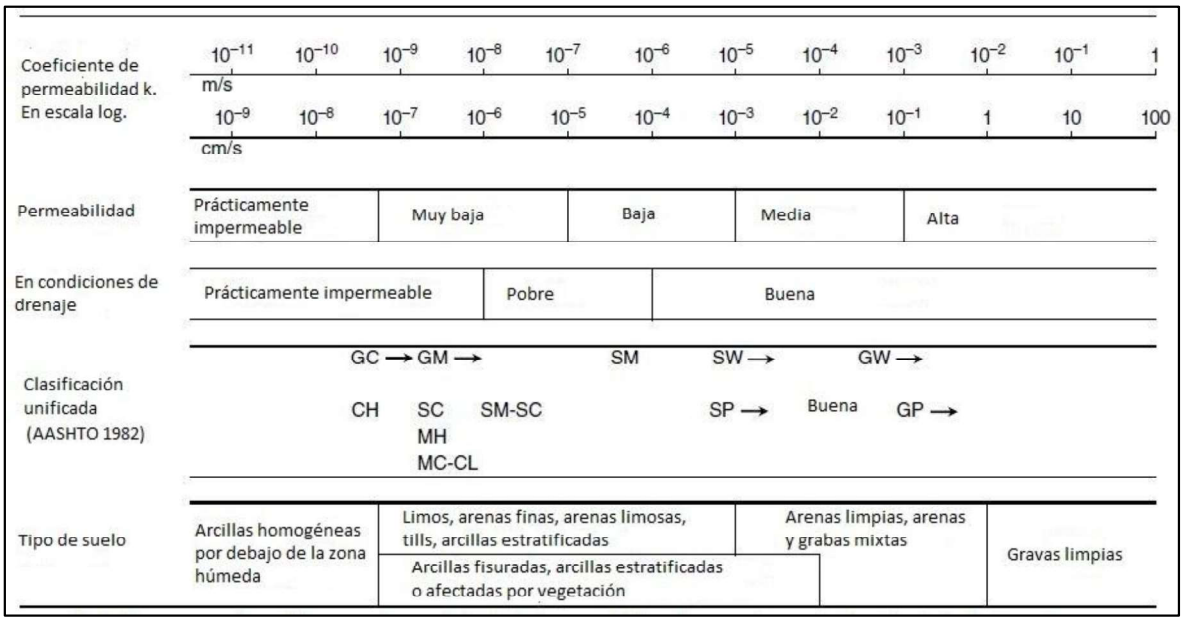


Figura 3.7: Valores típicos de permeabilidad para los suelos. Adaptado de Casagrande y Fadum (modificado de Carter, 2016).

3.5.2 RESISTENCIA AL CORTE

La resistencia al corte del suelo no puede considerarse como un parámetro único y constante, ya que depende de su naturaleza, estructura, enlaces, nivel de deformaciones, así como también de su estado tensional y de la presión de flujo que rellena los poros (Vallejo et al., 2002).

En los suelos granulares, la resistencia al corte depende de los tamaños y forma de sus granos, entre más angulares y grandes sean estos, mayor será su resistencia al corte, esto se debe que será más difícil hacer deslizar y rodar este tipo de partículas. En cambio, los suelos uniformes presentan menor resistencia al corte que suelos bien graduados, debido al comportamiento de los poros dentro de los suelos, ya que los granos más finos pueden ocupar las cavidades en los poros y darle una consistencia más densa al material.

En suelos finos, en condiciones no drenadas, aquellas arcillas con bajo índice de plasticidad y normalmente consolidadas alcanzan resistencias de corte con pequeñas deformaciones, mientras su volumen va reduciéndose. En las arcillas de elevado índice

de plasticidad la deformación a la que está sometida la arcilla puede producir una importante reducción en los esfuerzos tensionales, lo que se traduce en una disminución a la resistencia al corte, que es producto de la reorientación de los minerales en la estructura laminar de las arcillas (Braja & Khaled, 2014; Vallejo et al., 2002).

La resistencia al corte en suelos, en especial en materiales arcilloso, se puede realizar mediante ensayos triaxiales de tipo no consolidados - no drenados. Los ensayos se realizan en muestras cilíndricas alteradas, a las cuales se aplica esfuerzos de carga hasta llegar a producir la fractura, en donde no se permite el drenaje o la liberación presión de poros, y se mide mediante la relación de esfuerzo-deformación y el cálculo del ángulo de fricción interna y coeficiente de fricción (Terzaghi et al., 1996; Braja & Khaled, 2014).

3.5.3 COMPACTACIÓN

Se puede determinar mediante las relaciones gravimétricas y volumétricas para los suelos de grano grueso que son retenidos por el tamiz número 200 (Tabla 3.5), y suelos de grano fino que incluyen los limos y las arcillas (Tabla 3.6).

Suelos de grano grueso	Densidad relativa D_r (%)	Densidad seca γ_d (kN/m^3)	Humedad W (%)	Índice de huecos (e)
Muy flojos	0-40	< 14,00	> 16	> 0,90
Flojos	40-60	14,00-16,00	12-16	0,65-0,90
Medianamente densos	60-80	16,00-17,50	8-12	0,55-0,65
Densos	80-90	17,50-18,50	6-8	0,40-0,55
Muy densos	90-100	> 18,50	< 6	<0,40

Tabla 3.5: Compacidad de los suelos granulares que son retenidos en el tamiz número 200 en función de las relaciones gravimétricas y volumétricas (tomado de Vallejo et al., 2002).

Suelos de grano fino	Densidad seca γ_d (kN/m^3)	Humedad W (%)	Índice de huecos, e)
Muy blandos	< 1,40	> 55	> 1,30
Blandos	1,40-1,55	40-55	1,00-1,30
Consistencia media	1,55-1,70	25-40	1,70-1,00
Duros	1,70-1,80	15-25	0,50-0,70
Muy duros	> 1,80	< 15	< 0,50

Tabla 3.6: Compacidad de los suelos finos que pasan por el tamiz número 200 en función de las relaciones gravimétricas y volumétricas (tomado de Vallejo et al., 2002).

3.6 CAPACIDAD PORTANTE

Compacidad de los suelos finos que pasan por el tamiz número 200 en función de las relaciones gravimétricas y volumétricas (tomado de Vallejo et al., 2002).

3.6.1 MÉTODO DE TERZAGHI

Definida por Terzagui en (1948) para zapatas poco profundas a partir de estudios previos de Prandtl, para cimentaciones de longitud infinita, rugosa y superficial. Este método permite conocer la deformación en cada zona de falla debido a las cargas aplicadas transmitidas por cimentaciones (Terzaghi et al., 1996). Según Terzaghi la cimentación puede definirse solo si es poco profunda y el ancho del desplante D_f es menor que el ancho de la cimentación B (Figura 3.8). También asumió que, para el cálculo de la capacidad portante del suelo, el peso del suelo sobre la base de la zapata puede ser reemplazado por una carga uniforme (q) (Braja & Khaled, 2014).

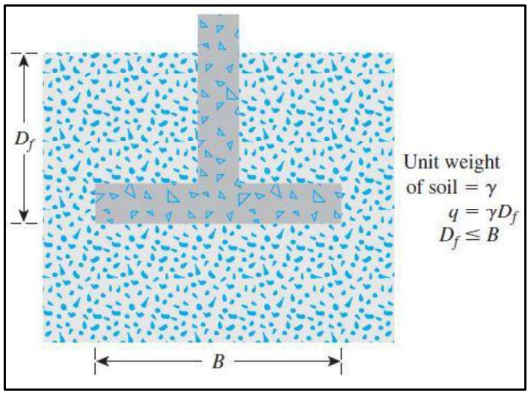


Figura 3.8: Cimentación con franja poco profunda (tomado de Braja & Khaled, 2014).

$$qu = cN_c + qN_q + 0.5 * \gamma\beta N_\gamma \rightarrow q = \gamma D_f \quad (3.18)$$

Donde: β, es el ancho de la zapata;

q, sobrecarga;

γ, peso específico del suelo;

ϕ , ángulo de fricción interna;

N_c, coeficiente en términos de cohesión, en f(ϕ);

N_q, coeficiente en términos de profundidad, en f(ϕ);

N_γ, coeficiente en términos del ancho, en f(ϕ);

D_f, profundidad del desplante;

c, cohesión.

Se definieron los valores para algunos de los coeficientes según el ángulo de fricción interna (ϕ):

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5,70	1,00	0
2	6,30	1,22	0,18
4	6,97	1,49	0,38
6	7,73	1,81	0,62
8	8,60	2,21	0,91
10	9,61	2,69	1,25
12	10,76	3,29	1,70
14	12,11	4,02	2,23
16	13,68	4,92	2,94
18	15,52	6,04	3,87
20	17,69	7,44	4,97
22	20,27	0,19	6,61
24	23,36	11,40	8,58
26	27,09	14,21	11,35
28	31,61	17,81	15,15
30	37,16	22,46	19,73
32	44,04	28.52	27,49
34	52,64	36,51	36,96
36	63,53	47,16	51,70
38	77,50	61,55	78,61
40	95,67	81,27	116,31
42	119,67	108,75	171,99
44	151,95	147,74	261,60
46	196,22	204,20	407,11
48	258,29	287,86	650,67
50	374,52	415,16	1072,80

Tabla 3.7: Coeficientes de Capacidad de carga según su ángulo de fricción interna (modificado de Braja & Khaled, 2014).

3.6.2 MÉTODO DE MEYERHOF

Permite calcular la capacidad de carga admisible para cimentaciones poco profundas o superficiales en materiales arenosos homogéneos (Terzaghi et al., 1996), para lo cual, Meyerhof definió una correlación entre la presión neta admisible en función de la resistencia a la penetración estándar corregida N_{corr}. Donde plantea que el asentamiento diferencial permitido por la estructura es de 2,5 cm, mediante una ecuación para la capacidad de carga en dicho asentamiento en materiales poco cohesivos. Esta capacidad

de carga se obtiene por el ángulo de fricción interna obtenido en los ensayos triaxiales. (Braja & Khaled, 2014).

$$q_a = \frac{0{,}5*B*\gamma*\boldsymbol{N_\gamma}+\gamma*D_f*N_q-\gamma D_f}{FS} \text{ [Ton/m2]} \qquad (3.19)$$

Donde: N_q = $tan^2(45° - \phi/2)e^{\pi\tan(\phi)}$;

N_c = $(N_q - 1)\text{ctg}(\phi)$;

$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan(\phi)$;

$N_c = (N_q - 1)ctg(\phi)$

Factor de Carga calculado por Meyerhof se define en la siguiente Tabla 3.8:

$\boldsymbol{\phi}$	$\boldsymbol{N_c}$	$\boldsymbol{N_q}$	$\boldsymbol{N_\gamma}$
0	5,10	1,00	0
2	5,63	1,20	0,01
4	6,19	1,43	0,04
6	6,81	1,72	0,11
8	7,53	2,06	0,21
10	8,34	2,47	0,37
12	9,28	2,97	0,60
14	10,37	3,59	0,92
16	11,63	4,34	1,37
18	13,10	5,26	2,00
20	14,83	6,40	2,87
22	16,88	7,82	4,07
24	19,32	9,60	5,72
26	22,25	11,85	8,00
28	25,80	14,72	11,19
30	30,14	18,40	15,67
32	35,49	23,18	22,02
34	42,16	29,44	31,15
36	50,59	37,75	44,43
38	61,35	48,93	64,08
40	75,32	64,20	93,69
42	93,71	85,38	139,32
44	118,37	115,31	211,41
46	152,10	158,51	329,74
48	199,27	222,31	526,47
50	266,89	319,07	873,89

Tabla 3.8: Coeficientes de Capacidad de Carga definidos por Mayerhof (modificado de Braja & Khaled , 2014).

3.6.3 CAPACIDAD PORTANTE EN FUNCIÓN DEL SPT

Los ensayos de penetración estándar (SPT), son ensayos que se realizan de forma *insitu,* y consiste en contar el número de golpes (N) necesarios para introducir un toma-muestras cada 30 cm en tramos de 15 cm, mediante el golpe de un martillo de 63,5 kg a una altura de 76,2 cm, según las normas estandarizadas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) (ASTM, 2011), si el número de golpes supera los 50 golpes se considera rechazo, además que el primer y último tramo se descartan para evitar errores debido a derrumbes o sobre compactación por efecto del golpe.

La capacidad de carga se puede determinar también en función de los ensayos SPT, de forma independiente del tipo de suelo. Terzaghi propuso el uso de ábacos una vez obtenido el número de golpes N, en el ensayo SPT, que luego fueron traducidas a fórmulas por Meyerhof (Braja & Khaled, 2014).

$$q_{adm} = \frac{N}{0{,}8} * kd \text{ [Ton/m}^2\text{]], para B < 1,2 m} \quad (3.20)$$

$$q_{adm} = \frac{N}{1{,}2} * \frac{(B+0{,}305)^2}{B^2} kd \text{ [Ton/m}^2\text{]], para B ≥ 1,2 m} \quad (3.21)$$

$$kd = 1 + 0{,}2\frac{D_f}{B}, \text{ para B ≤ 1,2 m} \quad (3.22)$$

Donde: q_{adm}, presión neta del suelo;

B, ancho de la zapata;

D_f, profundidad del desplante.

Los valores se tabulan con respecto al ancho de la zapata y el valor de N, ver Tabla 3.9.

N	B							
	0-1,22		1,82		3,04		3,65	
	kN/m²	Ton/m²	kN/m²	Ton/m²	kN/m²	Ton/m²	kN/m²	Ton/m²
5	60	6,74	54,30	6,10	50,50	5,68	48,00	5,40
10	120	13,49	108,60	12,21	101,00	11,35	96,60	10,86
15	180	20,23	132,90	14,94	151,50	17,03	144,80	16,28
20	240	26,98	217,20	24,41	202,00	22,71	193,10	21,71
25	300	33,72	271,50	30,52	252,50	28,38	241,40	27,14
30	360	40,47	325,80	36,62	303,00	34,06	289,70	32,56
35	420	47,21	378,20	42,51	353,50	39,74	338,00	37,99

Tabla 3.9: Capacidad de Carga admisible en función de N y B (modificado de Braja & Khaled, 2014).

Terzaghi y Peck en 1948, determinaron la relación entre los resultados obtenidos en los ensayos SPT para suelos granulares, aunque son valores referenciales debido a que la disperción de resultados es mayor en suelos cohesivos que en suelos granulares (Tabla 3.10) (Vallejo et al., 2002; Braja & Khaled, 2014).

N	q_{adm} (Ton/m^2)
0-2	0-2,50
2-4	2,50-5
4-8	5-10
8-15	10-20
15-30	20-40
≥ 30	≥ 40

Tabla 3.10: Correlación del esfuerzo admisible por Terzaghi y Peck (modificado de Vallejo et al., 2002).

3.7 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los suelos de propiedades similares pueden dividirse en grupos y subgrupos de acuerdo a su comportamiento físico-mecánico. Pero en general se pueden clasificar considerando dos grandes grupos de parámetros (Braja & Khaled, 2014):

- Por su textura, basado en el tamaño y distribución de sus partículas, tomando en cuenta el porcentaje de su contenido en arenas, limos y arcillas.

- Por su comportamiento en términos de ingeniería, considerando el tamaño de las partículas, su distribución y su comportamiento plástico (Límite Líquido e Índice de plasticidad). Bajo esta clasificación se encuentra el Sistema de clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (IRAM 10509 y ASTM D2487-2488). En la actualidad este segundo método de clasificación es el más usado.

3.7.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)

Suelos granulares: Con más del 50% de material retenido por el tamiz N˚ 200 (abertura de 0,075 mm). Se consideran Gravas (G), si más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N˚4 (abertura de 4,75 mm) y arenas (S), si pasa más del 50%. El contenido de finos definirá si son limpias o material con finos (Tabla 3.11) (Vallejo et al., 2002; Braja & Khaled , 2014).

Se agrega una segunda letra al símbolo para: Material bien graduado (W), mal graduado (P), con contenido en limos (M) o con contenidos en arcillas (C).

Suelos finos: Con más del 50% de material que pasa por el tamiz N°200. (M) para limos y (C) para arcillas. Si el Límite Líquido (LL) < 50%, entonces se agregará una segunda letra (L), si el LL > 50% la letra (H). Si tienen materia orgánica se antepondrá (O).

Suelos orgánicos: Se denominan a aquellos suelos que contienen materia orgánica (PT), como turba, abono o elementos que pueden descomponerse.

DIVISIONES PRINCIPALES			Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO	**GRAVAS** Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	**Gravas** limpias (sin o con pocos finos)	**GW**	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:	$Cu=D_{60}/D_{10}>4$ $Cc=(D30)^2/D_{10}xD_{60}$ entre 1 y 3	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.	
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	**GM**	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	**Arenas limpias** (pocos o sin finos)	**SW**	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		$Cu=D_{60}/D_{10}>6$ $Cc=(D30)^2/D_{10}xD_{60}$ entre 1 y 3	
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	**SM**	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	
SUELOS DE GRANO FINO	**Limos y arcillas:** Límite líquido menor de 50		**ML**	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.			
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.			
			OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.			
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50		**MH**	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.			
			CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.			
			OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.			
Suelos muy orgánicos			**PT**	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico			

Tabla 3.11: Sistema unificado de clasificación de suelos S.U.C.S., por la ASTM (modificado de Vallejo et al., 2002).

4. MARCO METODOLÓGICO

Con la finalidad de cumplir los objetivos propuestos en este estudio, se han realizado los siguientes pasos siguiendo el presente esquema metodológico:

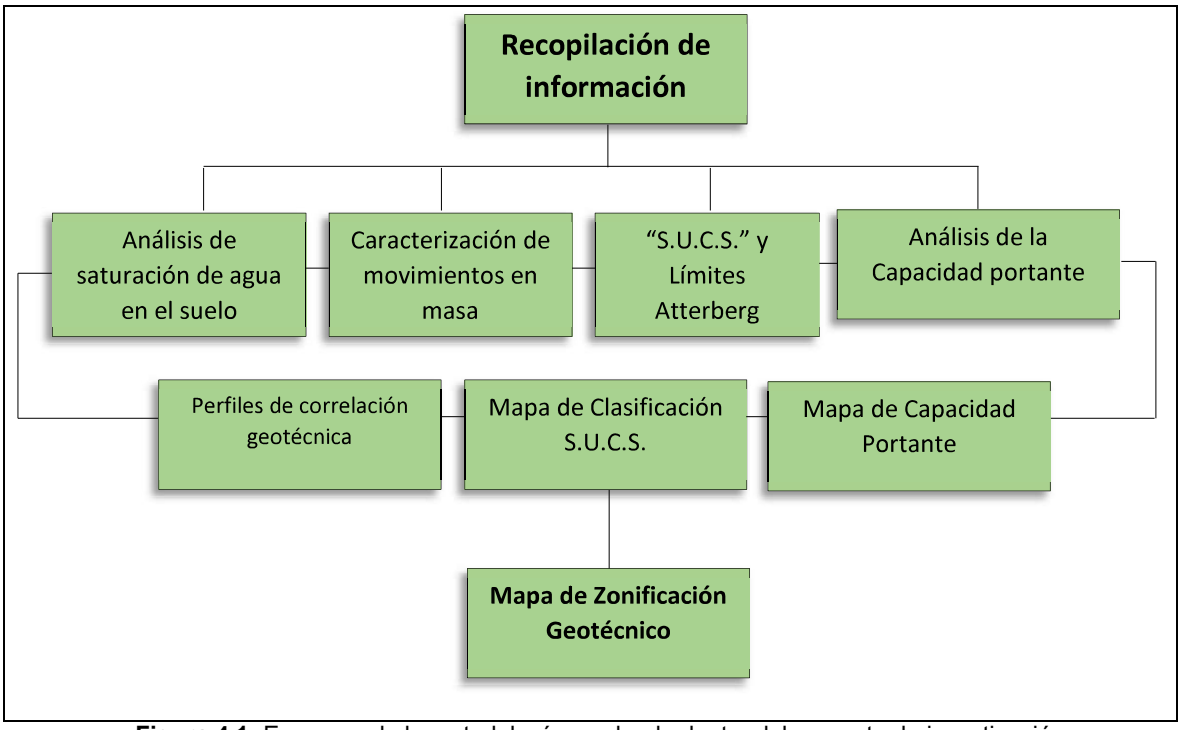


Figura 4.1: Esquema de la metodología empleada dentro del proyecto de investigación.

4.1 INFORMACIÓN RECOLECTADA

La información recolectada se especifica en detalle dentro del alcance propuesto en este proyecto en el primer capítulo - sección 1.3.

4.2 ANÁLISIS DE SATURACIÓN DE AGUA EN EL SUELO

El análisis pluviométrico se realizó en un periodo de 30 años, a partir de datos obtenidos de ocho estaciones cercanas al área de estudio (Tabla 4.1), entre 1985 y 2015, para la obtención de las precipitaciones acumuladas mensuales. Este cálculo toma en cuenta que no todas las estaciones contienen la información completa en varios de los meses, para lo cual se procedió a encontrar esos valores de precipitación mediante el método Multivariante con la Razón Normal (Ecuación 4.1), misma que estima la serie faltante con un alto grado de correlación usando tres estaciones cercanas y contemporáneas (Barrera, 2004):

$$x(t) = \frac{1}{3}[\frac{\bar{x}}{\bar{x_1}}x_1(t) + \frac{\bar{x}}{\bar{x_2}}x_2(t) + \frac{\bar{x}}{\bar{x_3}}x_3(t) \quad (4.1)$$

Donde: x_1, x_2 y x_3 son las variables incompletas pero en las estaciones vecinas;

$x_1(t)$, $x_2(t)$ y $x_3(t)$ corresponden a las series vecinas para ese mes.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) sugiere que un estudio climático debe apoyarse en datos que tengan como mínimo 20 años de registros continuos para un análisis más confiable, por lo tanto, el promedio de la precipitación media anual se obtiene con base en regresiones lineales de los valores obtenidos en los 30 años registrados en las ocho estaciones meteorológicas. La serie, al ser bastante extensa, se ha procedido a excluir los años de 1997 y 1998 por considerarse precipitaciones excepcionales asociados al fenómeno del Niño, debido a que este fenómeno es el causante de la mayor variabilidad climática e irregularidad pluviométrica (CAF, 2000; López & Echeverría, 2013).

Estación	Coordenadas (UTM: WGS 84)		Nombre	Altura (msnm)
	Este	Norte		
M0345	786815	9989089	CALDERÓN	2690
M0024	779647	9980274	QUITO INAMHI-INNAQUITO	2789
M0009	798621	9994129	LA VICTORIA INERHI	2240
M0024	793124	9974615	LA TOLA	2479
M0346	798801	9982303	YARUQUÍ INAMHI	2600
M0343	801004	9986991	EL QUINCHE-PICHINCHA	2605
M0358	776854	9999880	CALACALI INAMHI	2810
M1156	786350	9980422	NAYON GRANJA SANTA ANA - PUCE	2392

Tabla 4.1: Estaciones meteorológicas del INAMHI cercanas al área de estudio (ubicación de los puntos en la Figura 5.1).

Los valores obtenidos se presentan en gráficos de distribución junto con un mapa de isoyetas (Figura 5.1), que se corroboraron con imágenes satelitales de tipo Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada "NDVI" (por sus siglas en inglés) de 2019, y datos de niveles freáticos, que se usaron para caracterizar los factores ambientales que condicionan la humedad, grado de saturación del suelo, densidad aparente seca y densidad aparente húmeda de los diferentes sondeos realizados bajo las normas ASTM D-2216. Esta caracterización se realiza con el fin de entender si la zona de estudio es propensa a la saturación de agua en el suelo tomando en cuenta la morfología, litología y zonas de drenajes presentes.

4.3 CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA

Para esta caracterización se realizaron salidas de campo entre los meses de junio a agosto de 2019, con fin de reconocer marcadores propios de los movimientos en masa, como deslizamientos antiguos, agrietamientos, asentamientos, entre otros. Con el uso complementario de imágenes satelitales de Google Earth, ortofotos, registros sísmicos y mapa de pendientes se delimitó las zonas de mayor inestabilidad debido a este tipo de fenómenos.

4.4 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S) Y LÍMITES ATTERBERG

Como parte integral del estudio y con la finalidad de entender el comportamiento geomecánico de los suelos, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio en los puntos S92, S93, S94 Y S95 (Figura 2.4; Anexo 3): 8 ensayos granulométricos S.U.C.S., según la norma ASTM D2487 y 48 ensayos de Límites Líquido y plástico según la norma ASTM D4318, en el Laboratorio de Ensayos de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR-EPN), como se muestran en el Anexo 3.

4.5 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD PORTANTE

El análisis de la capacidad portante se realiza en función de los ensayos SPT, asumiendo que son valores corregidos por pérdida de energía. Con los ensayos SPT, y valores de ángulo de fricción interna obtenidos en algunos proyectos, se pretende determinar parámetros geotécnicos como: Densidad relativa, compacidad, y carga admisible de las distintas profundidades del suelo, según las correlaciones de acuerdo a los valores tabulados por Terzaghi y Peck en el capítulo 3.6 y las siguientes tablas en caso de ser suelos granulares o cohesivos.

Densidad relativa en función del ángulo de fricción interna y número de golpes en suelos granulares:

Compactación	Densidad relativa D_r (%)	Número de golpes (N)	Ángulo fricción interna Φ (^{0})
Muy suelta	0-40	0-4	28
Suelta	40-60	4-10	28-30
Mediana	60-80	10-30	30-36
Densa	80-90	30-50	36-41
Muy densa	90-100	Mayor a 50	Mayor a 41

Tabla 4.2: Correlación de número de golpes SPT con el ángulo de fricción interna y la densidad relativa (modificado de Vallejo et al., 2002)

Consistencia y q_a [T/m^2] para suelos cohesivos:

Consistencia	Número de golpes (SPT)	q_a [T/m^2]
Muy blanda	0-2	0 – 2,50
Blanda	2-4	2,50 – 5
Media	4-8	5 – 10
Consistente	8-15	10 – 20
Muy consistente	15-30	20 – 40
Dura	Mayor a 30	≥ 40

Tabla 4.3: Correlación del número de golpes SPT con respecto a la carga admisible [T/m2] (modificado de Vallejo et al., 2002)

4.6 PERFILES DE CORRELACIÓN GEOTÉCNICA

Se realizaron cinco perfiles con una dirección preferencial (Figura 5.12), con el objetivo de correlacionar las propiedades geomecánicas de los suelos como: comportamiento plástico (Límites Atterberg), tamaño de las partículas (clasificación S.U.C.S.), distribución espacial y pruebas SPT. Para esta correlación se tomó en cuenta el nivel superficial referenciado en los sondeos de perforación, más no las cotas a las que se encuentra cada ensayo *in situ* realizado (Anexo 6).

Los Límites Atterberg y clasificación granulométricos S.U.C.S. de los siete proyectos, fueron realizados bajo las normas ASTM D-4318-05(06), mientras que para las pruebas de penetración estándar NSPT bajo las normas ASTM D-1586.

4.7 ELABORACIÓN DE MAPAS GEOTÉCNICOS

Los mapas geotécnicos representan de forma espacial la información geológica-geotécnica, con fines de planificación y usos del territorio para proyectos como

construcción y mantenimientos de obras de ingeniería (Vallejo et al., 2002). Los mapas elaborados deben aportar las características más importantes de los suelos a partir de ensayos *in situ* o información interpretativa, con el fin de evaluar su comportamiento y aportar con posibles soluciones a los distintos problemas geotécnicos (Braja & Khaled, 2014).

4.7.1 Mapa de clasificación granulométrica S.U.C.S.

Para la distribución espacial de los tipos de suelos presentes en la zona de estudio, se procedió a elaborar mapas a las diferentes profundidades: de 0-2 m, 2-4 m y 4-6 m. Profundidades que contienen la mayor cantidad de información para la interpolación mediante el método de *Kriging*. A los datos obtenidos en los siete proyectos se añadió los ensayos realizados de forma independiente, así como la evaluación visual-manual de las características físicas de los suelos como: resistencia en seco, dilatancia y plasticidad realizados en las diferentes salidas de campo.

Los parámetros cualitativos tomados en cuenta se detallan a continuación:

Resistencia en seco: Sirve para determinar la resistencia del material a desmoronarse. Esto se logra ejerciendo presión con los dedos a una muestra de suelo seco. Los suelos con alto contenido en limos se desmoronan con facilidad, en comparación a los suelos con alto contenido de arcillas (Vallejo et al., 2002).

Dilatancia: Que se utiliza para determinar la capacidad de retención del agua de un suelo. En los materiales con altos contenidos en limos, el agua abandona fácilmente el medio al agitar en comparación a suelos con altos contenidos de arcillas (Vallejo et al., 2002).

Plasticidad: Se forman cilindros de 3 mm de diámetro de material. Si se forman grietas antes de llegar a las medidas establecidas indican que el suelo tiene baja plasticidad, y su límite debe estar cerca del plástico. La muestra de suelo tendrá alta plasticidad cuando se logre hacer cilindros de 3 mm de diámetro con poca dificultad (Vallejo et al., 2002).

4.7.2 Mapa de distribución de la Capacidad Portante

Para esta distribución también se procede a elaborar tres mapas a las diferentes profundidades, tomando en cuenta la mayor cantidad de información disponible: de 0-2 m, 2-4 m y 4-6 m para la interpolación de los datos mediante el método de *Kriging*. La distribución espacial de la capacidad portante del área de estudio se determina con las correlaciones de los ensayos SPT considerando a Terzaghi y Peck; los perfiles de

correlación geotectónica; los ángulos de fricción interna, cohesión, peso unitario seco; y los valores cualitativos obtenidos en los mapas previos como ensayos de clasificación S.U.C.S.

4.8 MAPA DE MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

La Zonificación Geotécnica es la subdivisión de un área que tiene de forma aproximada el mismo tipo y distribución espacial de los materiales, en el cual, las propiedades geomecánicas son similares y presentan un comportamiento semejante ante la implementación de obras de ingeniería (Vallejo et al., 2002).

Para el mapa de Zonificación Geotécnica se ha utilizado la metodología cualitativa planteada por Dotor (2004) y Avilés (2013), mediante la superposición de mapas temáticos de los diferentes factores condicionantes que intervienen en la zonificación geotécnica (Tabla 4.4). Los factores más relevantes han sido asignados mediante un valor numérico en función de su importancia y grado de afectación directa en la caracterización geotécnica de los suelos, basados en los datos de campo, laboratorio y experiencia del observador.

Los factores de mayor relevancia usados son el mapa de pendientes, litología, ensayos clasificación S.U.C.S., mapa de distribución de la capacidad Portante y contenido aproximado de vegetación detallados en la siguiente tabla:

Variable	Valor de ponderación (%)
Litología	33
Mapa de Pendientes	33
Mapa clasificación (S.U.C.S.)	20
Mapa Capacidad Portante	10
Vegetación	4
Total	100

Tabla 4.4: Valores de ponderación de las características utilizadas en la Zonificación Geotécnica.

5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

5.1 ANÁLISIS DE SATURACIÓN DE AGUA EN EL SUELO

En general, la zona de estudio presenta bajos niveles de precipitación en comparación a áreas cercanas (Figura 5.1), con valores aproximados entre los 540 a 560 mm/año en la zona Norte y 580 a 760 mm/año en la zona Sur. Los meses de mayores precipitaciones registrados en los últimos 30 años se sitúan en marzo y abril, en contraste a los meses de menores valores, dónde las precipitaciones empiezan a decaer desde junio hasta finales de agosto (Figura 5.2).

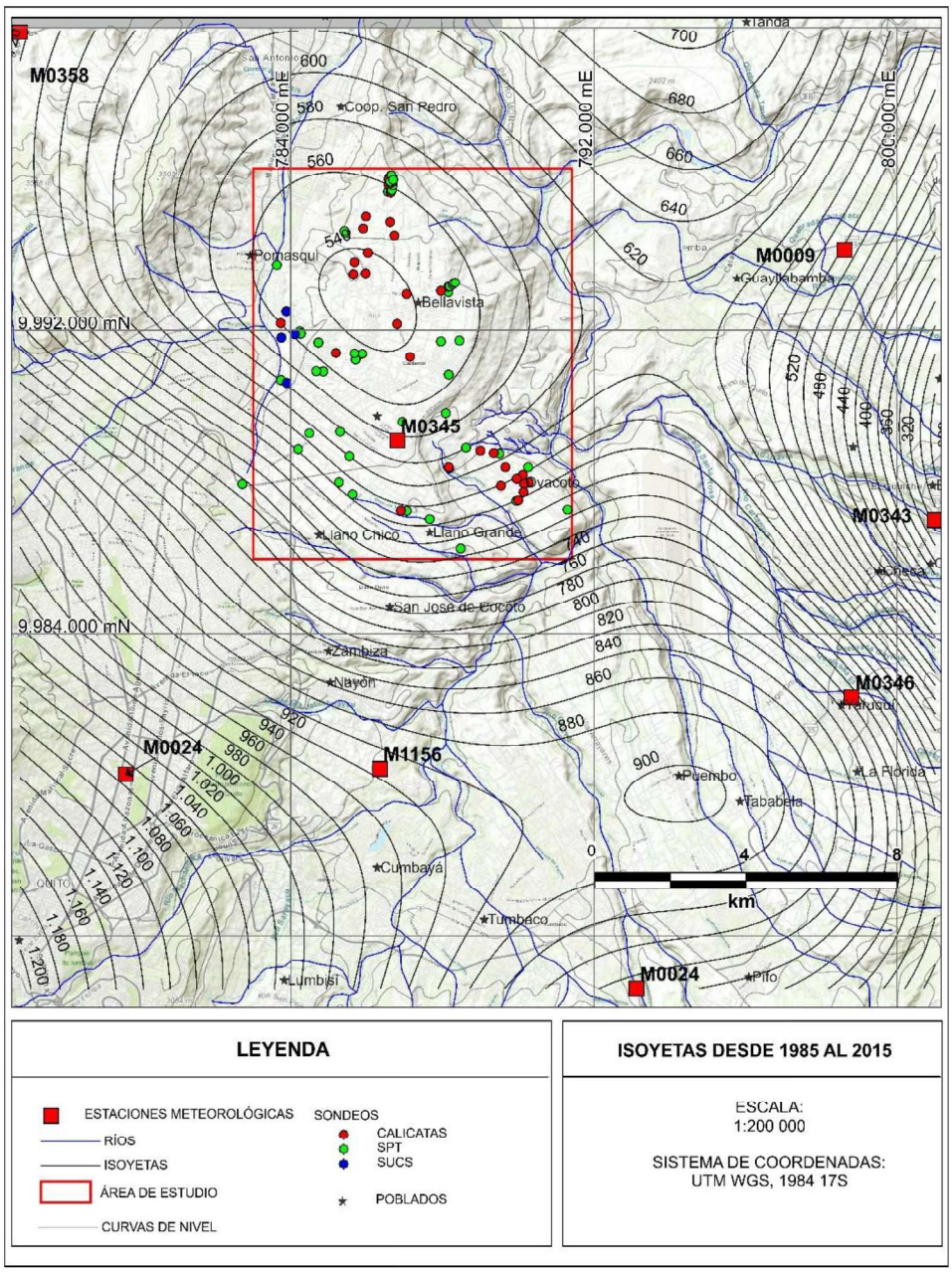


Figura 5.1: Mapa de Isoyetas entre los periodos de 1985 al 2015 según datos del INAMHI (elaborado por Amanta Romel).

Los bajos valores de precipitaciones junto con imágenes satelitales de tipo “NDVI”, que sirven para determinar los índices de cobertura vegetal mediante el cálculo de la reflectancia a distintas longitudes de onda (Terrill, 2013), pueden dar una idea de las condiciones de humedad del terreno. Los valores negativos representan superficies sin vegetación, mientras que de cero en adelante representan superficies donde existe una cobertura vegetal visible. Los índices de vegetación que predominan en la zona de estudio para los meses de mayores y menores precipitaciones son cercanos a 0 y -1 (Figura 5.5). Solo en las escorrentías superficiales, quebradas principales y en áreas cercanas a Llano Grande se nota un ligero cambio de vegetación con valores entre 0 y 1.

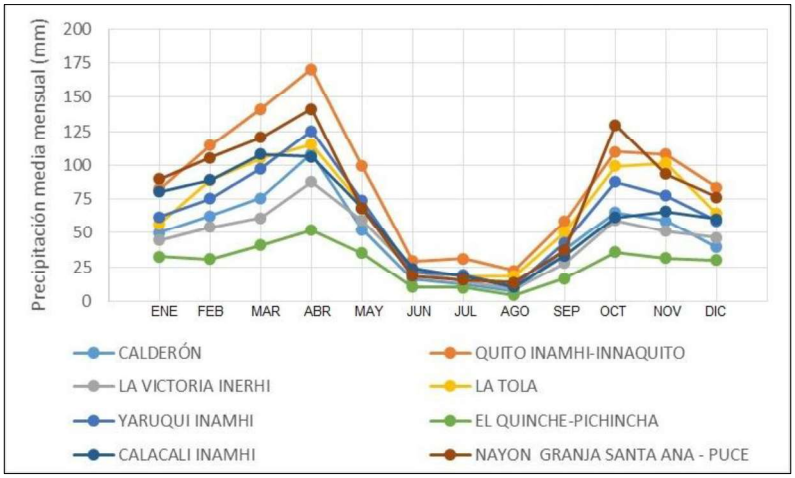


Figura 5.2: Precipitaciones mensuales medias entre 1985 y 2015, según datos del INAMHI.

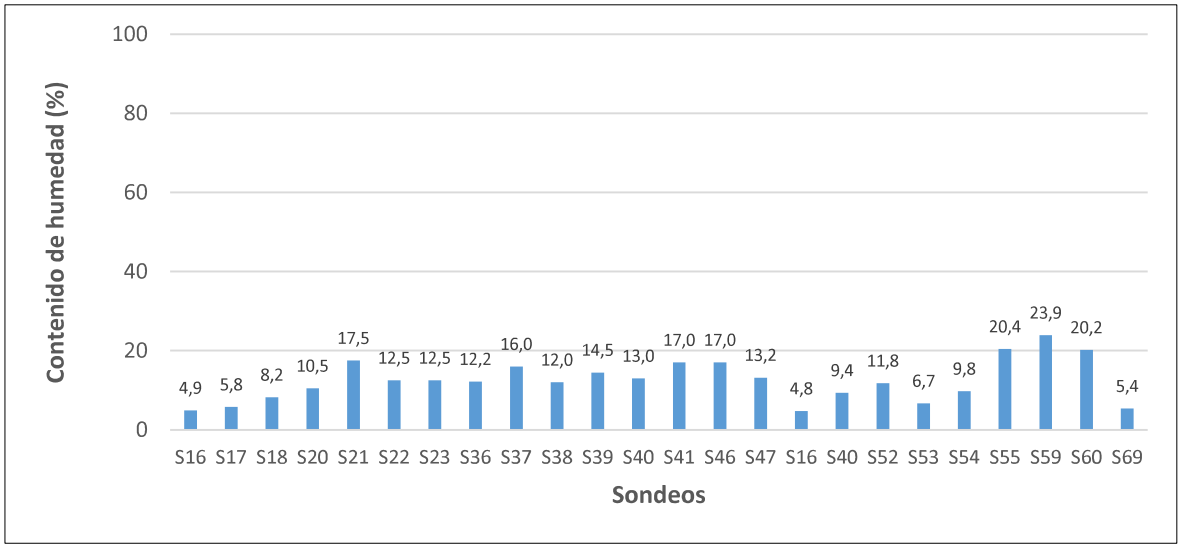


Figura 5.3: Valores de contenido de humedad de los diferentes sondeos presentados por la EMAPS (elaborado por Amanta Romel).

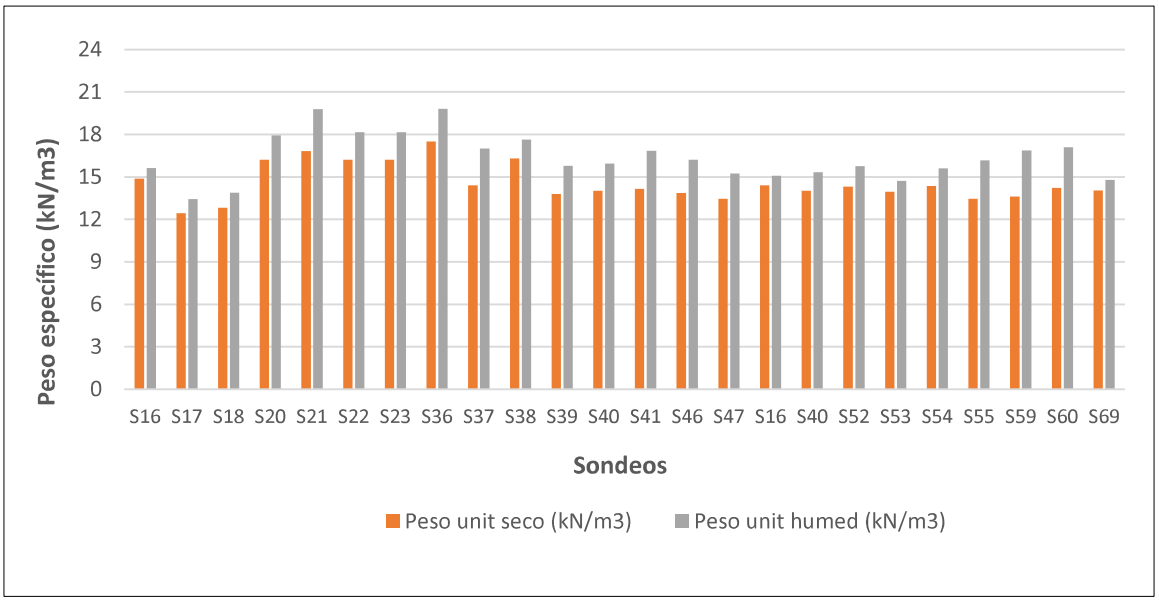


Figura 5.4: Valores del peso unitario seco y peso unitario húmedo de los diferentes sondeos realizados por la EMAPS (elaborado por Amanta Romel).

El contenido de humedad de un suelo está muy relacionado con la evapotranspiración, temperatura, precipitaciones, viento, entre otros factores climáticos. Por lo que junto con los bajos valores de humedad (Figura 5.3), y los pesos unitarios húmedos son similares a los pesos unitarios secos en la mayoría de sondeos (calicatas en su mayoría), indican que la zona es relativamente seca. A demás, no se registran niveles freáticos en los sondeos realizados, así como en observaciones directas de campo.

La Figura 5.2, también muestra una tendencia bimodal en las precipitaciones mensuales medias, que es característica en el clima de los Andes ecuatorianos, en especial de los valles intramontañosos. Esta distribución de doble pico se debe a que en marzo y septiembre el sol alcanza su mayor elevación, y en julio y agosto su menor elevación (USGS, 1999; Campozano et al., 2016).

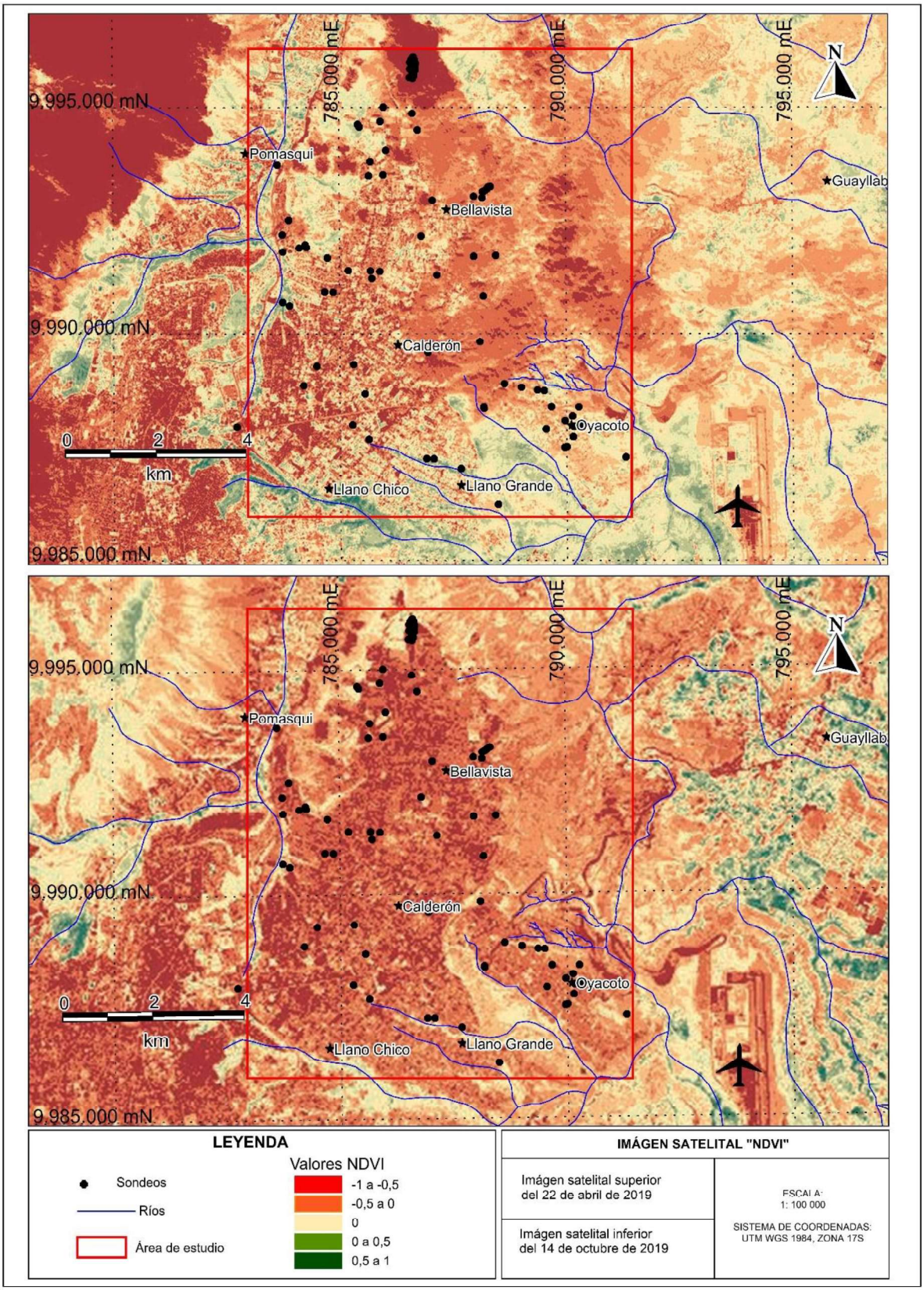


Figura 5.5: Imágenes satelitales Landsat 8 tipo "NDVI". Imagen superior tomada el 22 de abril de 2019, imagen inferior tomada el 14 de octubre de 2019 (realizado por Amanta Romel).

5.2 CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA

La caracterización de los movimientos en masa se realizó de acuerdo a una valoración cualitativa (Figura 5.12), tomando en cuenta los sismos someros menores a los 25 km de profundidad registrados en la zona de estudio (Figura 2.9), además de las altas pendientes que superan los 45^0 (Figura 2.4), litología, morfología y sistemas de drenajes predominantes.

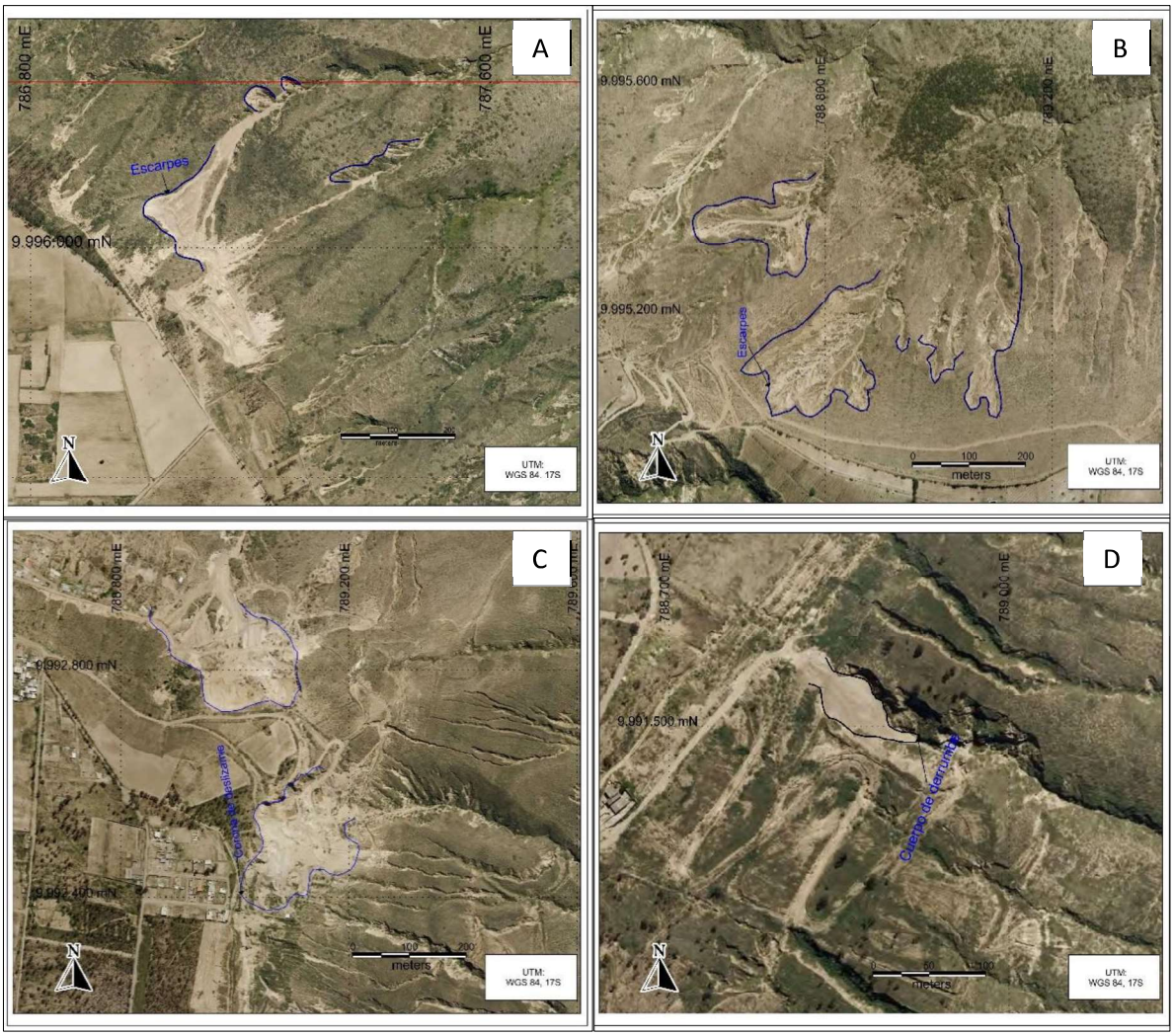


Figura 5.6: Fotografías satelitales 1: 5 000 de 2010, de los deslizamientos predominantes en el área de estudio (imágenes cortesía de MAG-SIGTIERRAS).

Las imágenes satelitales de Google Earth y ortofotos muestran que la mayor parte de aluviales y coluviales se registran en la zona Este (Figura 5.6), dónde se observan escarpes y cuerpos de deslizamientos recientes. Nuñez & Vasconez (1993), documentan que el predominio de movimientos para los sectores del margen Este, son de tipo traslacional. También se ha observado la formación de cárcavas y socavamientos por acción hídrica en quebradas y taludes, así como una notoria afectación por la erosión

eólica, que es visible por ser un área con poca cobertura vegetal (Figura 5.8; Figura 5.9; Figura 5.10; Figura 5.11), presentes sobre todo al Oeste y Noroeste de la zona de estudio. Estos deslizamientos y afectaciones erosivas se registran sobre los depósitos volcánicos de la Fm. Guayllabamba y material retrabajado de la Fm. Cangahua, siendo estos los materiales predominantes dentro del área de estudio. Las zonas centrales al tener bajas pendientes o ser relativamente planas no presentan deslizamientos evidentes, por lo que son áreas con menos afectación por fenómenos en remoción en masa, aunque sí se ven afectadas por los factores climáticos más recurrentes como la lluvia o sequía.

Figura 5.7: Escarpes y zonas de deslizamientos, visto desde borde oriental del Barrio "La Pradera", UTM: 788720, 9992692.

Figura 5.8: Deslizamientos actuales, avenida 17 de Marzo, margen Sur de la quebrada Chaquishcahuayco, UTM: 784678, 9986229.

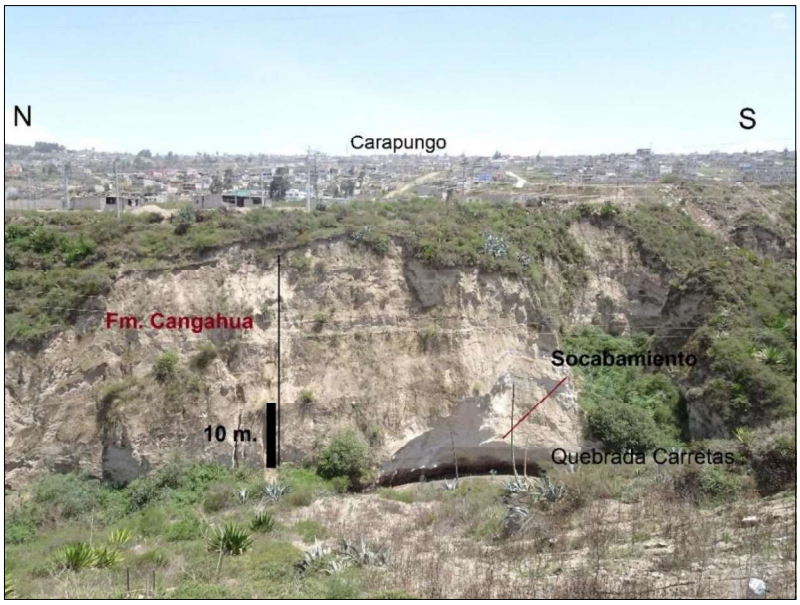


Figura 5.9: Socabamientos sobre la base de la Fm. Cancaghua, visto desde el margen occidental de la quebrada Carretas antes de unirse al río Cofanes, UTM: 783709, 9991680.

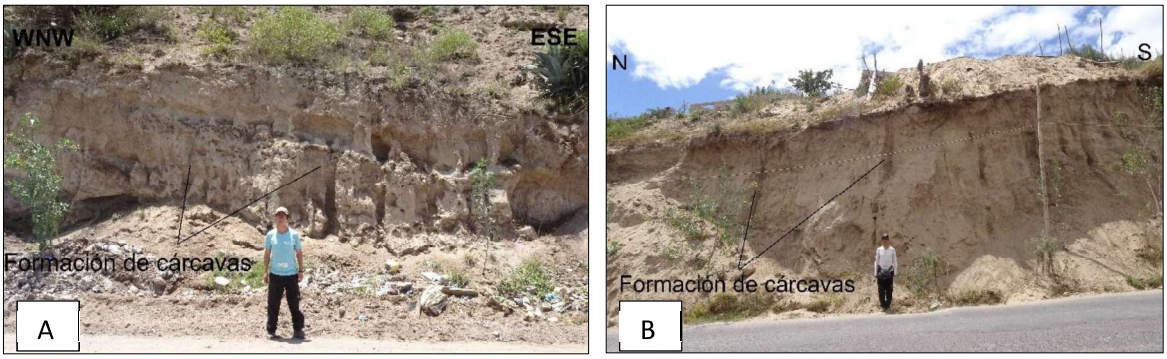


Figura 5.10: Formación de cárcavas en cangahua retrabajada, visto desde las calles Eloy Alfaro y de Los Narcisos. A: UTM: 784010, B: UTM: 783887, 9992499

Figura 5.11: Erosión hídrica presente en cangahua retrabajada. Calle de los Narcisos y Eloy Alfaro. UTM: 784010, 9992606.

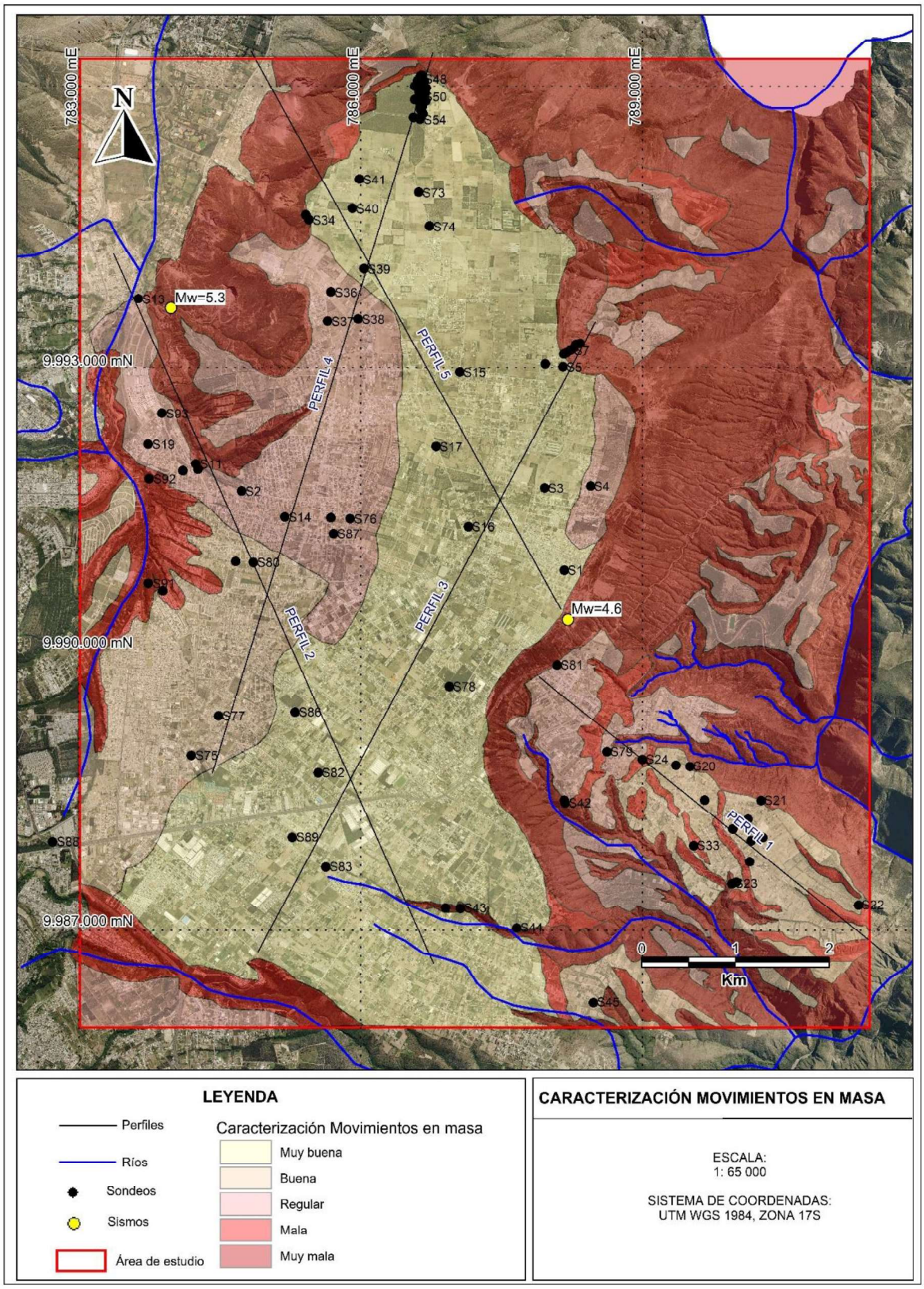


Figura 5.12: Caracterización cualitativa para los movimientos en masa dentro del área de estudio y orientación de los perfiles de correlación geotécnico (Anexo 6). Sismos registrados desde 1986 al 2020, según la USGS (realizado por Amanta Romel).

Considerando todos los parámetros y observaciones realizadas, se ha elaborado el mapa de la Figura: 5.12, con cinco clasificaciones que representan de forma cualitativa la susceptibilidad a los movimientos en masa, descritos de la siguiente manera:

Muy buena: Con pendientes de 0 a 8,5°; litología poco variable, en su mayoría tobas con pequeños estratos de lapilli y ceniza de la Fm. Cangahua; sin relieves importantes, quebradas o escorrentías superficiales.

Buena: Con pendientes de 8,5 a 16,7^0; presenta la misma litología descrita anteriormente; con pocos a nulos relieves, no se evidencian quebradas o escorrentías superficiales.

Regular: Con pendientes de 16,7 a 26,6^0; la litología puede variar desde tobas, cenizas de la Fm. Cangahua hasta los volcánicos de las Fms. Guayllabamba y Pululahua; los relieves son más notorios, y existe la presencia de pequeñas quebradas y escorrentías superficiales.

Mala: Con pendientes de 26,6 a 45^0; litología variable y similar a la anterior; presencia de marcadores de movimientos en masa como escarpes y cuerpos de deslizamientos recientes; incremento de las quebradas y escorrentías superficiales que provocan socavamientos, formación de cárcavas y relieves rugosos y acentuados.

Muy mala: Con pendientes mayores a 45^0; litología caótica por la presencia de flujos de lodo y deslizamientos antiguos y recientes; cárcavas, escorrentías superficiales y socavamientos en la base de las quebradas que aumentan de forma considerable.

5.3 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD PORTANTE Y PRUEBAS DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT)

Según la distribución espacial de los suelos mediante la clasificación granulométrica S.U.C.S., se determinó que predominan los suelos granulares de baja a nula plasticidad sobre los suelos cohesivos. Con base a este criterio se realizaron las correlaciones de SPT con el ángulo de fricción interna, densidad relativa, compacidad y carga admisible mediante tablas comparativas para suelos granulares (Tabla 4.2). Los valores comparativos se presentan en el Anexo 5, y son la base para la realización de los mapas de Capacidad portante.

Por otro lado, para entender de mejor manera la relación que existe entre el tipo y la capacidad portante en función de los ensayos SPT, se tomaron en cuenta los cinco perfiles que cubren el área de estudio en las direcciones cercanas a los sondeos (Figura

5.12**;** Anexo 6)**.** El Perfil 1, en dirección NW-SE muestra una litología homogénea de suelos tipo SM hacia el SE, existiendo solo en el sondeo S81 de tipo ML; con un número de golpes N entre 8 a 27, sin registrarse pruebas de rechazos. El Perfil 2, en dirección NNW-SSE, muestra una litología más variada, entre cangahua y ceniza, con suelos tipo CL-ML, ML y SM, registrándose solo en los sondeos S85 y S86 materiales de baja plasticidad por debajo de los 3 m de profundidad; el número de golpes N tienen valores altos, registrándose valores hasta N=96 y golpes de rechazo en S2 y S85. El perfil 3, en dirección SW-NE, tiene una litología que varía entre capas de lapilli, pequeños estratos de ceniza, cangahua y clastos andesíticos presentes dentro de la cangahua como en el sondeo S7; los suelos predominantes son de tipo SM, seguido de los ML, aunque también se registran de tipo SP-SM; el número de golpes aumenta hacia el NE, llegándose a registrar rechazos en S5 y S9. El perfil 4, en dirección SSW-NNE, muestra una litología de tipo cangahua y estratos de ceniza, aunque hacia el NNE aumenta el contenido de clastos andesíticos dentro de las capas de cangahua; los suelos en su mayoría son de tipo ML seguido de los SM; el número de golpes es alto hacia el NNE, y se registran rechazos en S62, S59, S57, S55 y S48.El Perfil 5, en dirección NNW-SSE, tiene una litología de tipo cangahua y ceniza; los suelos son de tipo SM, ML, y CL-ML de baja plasticidad en S1; no cuenta con ensayos SPT para la correlación.

5.4 MAPA DE CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA S.U.C.S.

Los valores tabulados para el total de 95 sondeos se presentan en el Anexo 1.

De 0 a 2 m:

Los suelos de tipo SM y ML predominan con un 96% del total de suelos (Figura 5.14), por lo que se considera la zona como suelos granulares. La carta de plasticidad para el 1% de muestras (Figura 5.13) indica que son limos inorgánicos de media compresibilidad y limos orgánicos de baja plasticidad.

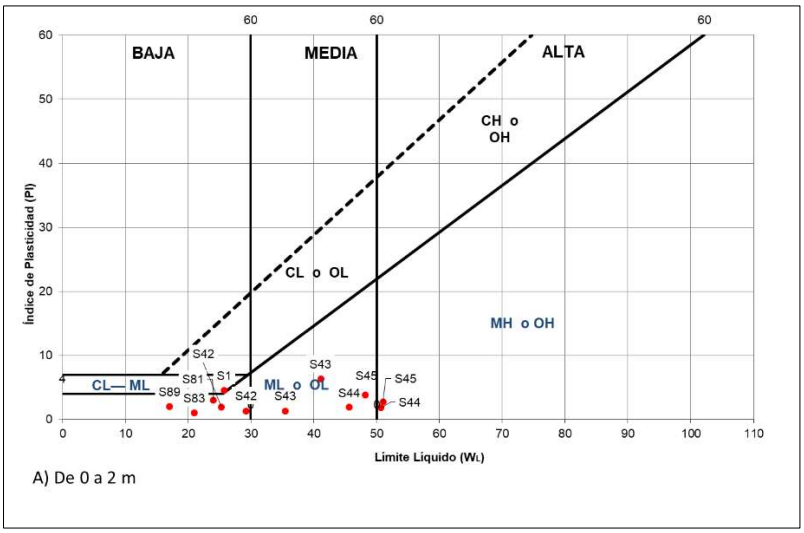


Figura 5.13: Clasificación de los suelos de grano fino según la carta de plasticidad de 0 a 2 m.

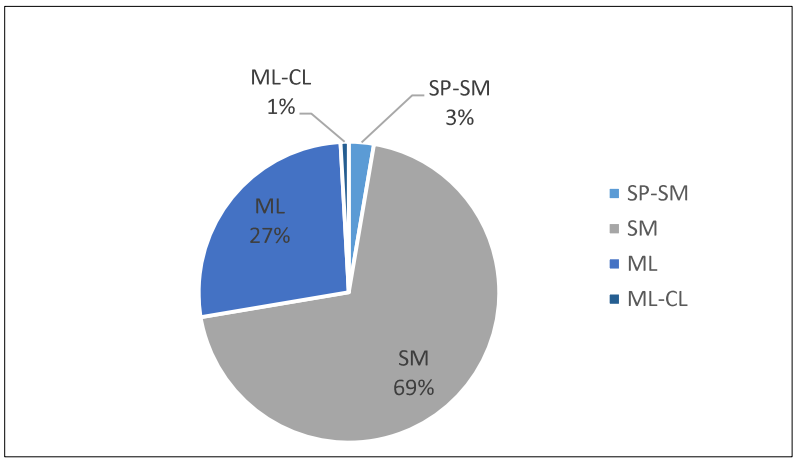


Figura 5.14: Distribución de la clasificación S.U.C.S., de 0 a 2 m.

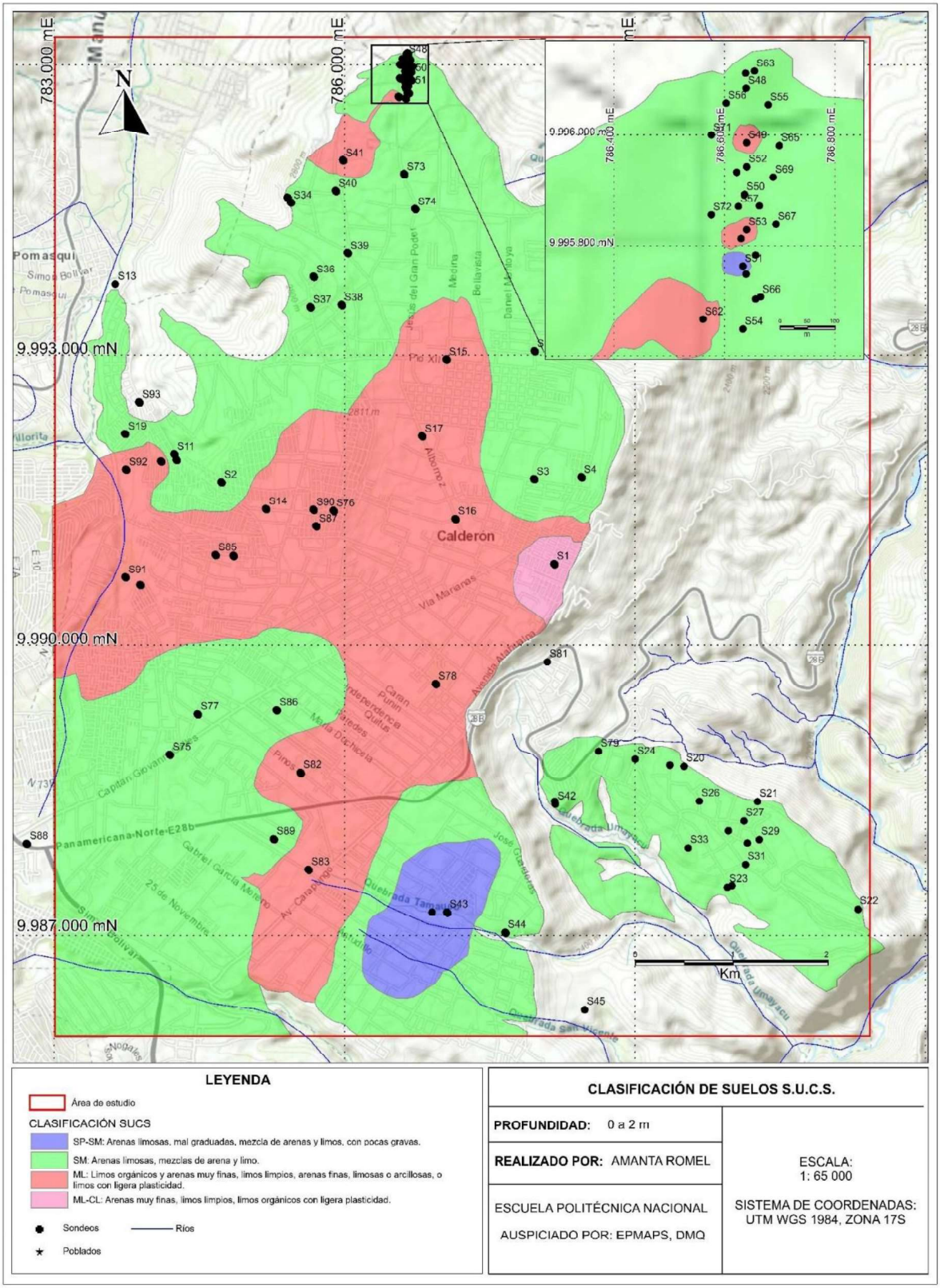


Figura 5.15: Mapa de Clasificación S.U.C.S., de 0 a 2 m de profundidad (elaborado por Amanta Romel).

De 2 a 4 m:

Los suelos de tipo SM y ML, predominan con un 93% del total de suelos (Figura 5.17), por lo que se considera que el intervalo entre estas profundidades son de tipo suelos granulares. La carta de plasticidad para el 1% de muestras (Figura 5.16) indica que son limos inorgánicos de media compresibilidad y limos orgánicos, además de la presencia de suelos poco cohesivos y esporádicas arcillas inorgánicas de baja plasticidad. Cabe destacar que espacialmente su distribución es muy similar a la anterior, lo que indica que no existen cambios bruscos de litología (Figura 5.18).

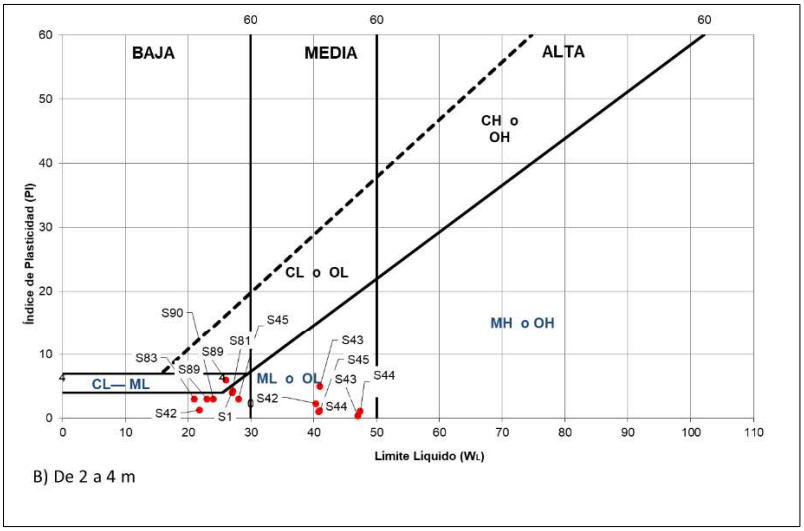


Figura 5.16: Clasificación de los suelos de grano fino según la carta de plasticidad de 2 a 4 m.

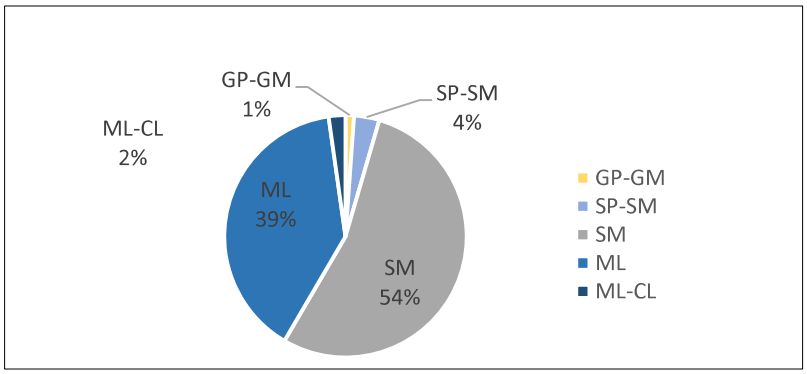


Figura 5.17: Distribución de la clasificación S.U.C.S., de 2 a 4 m.

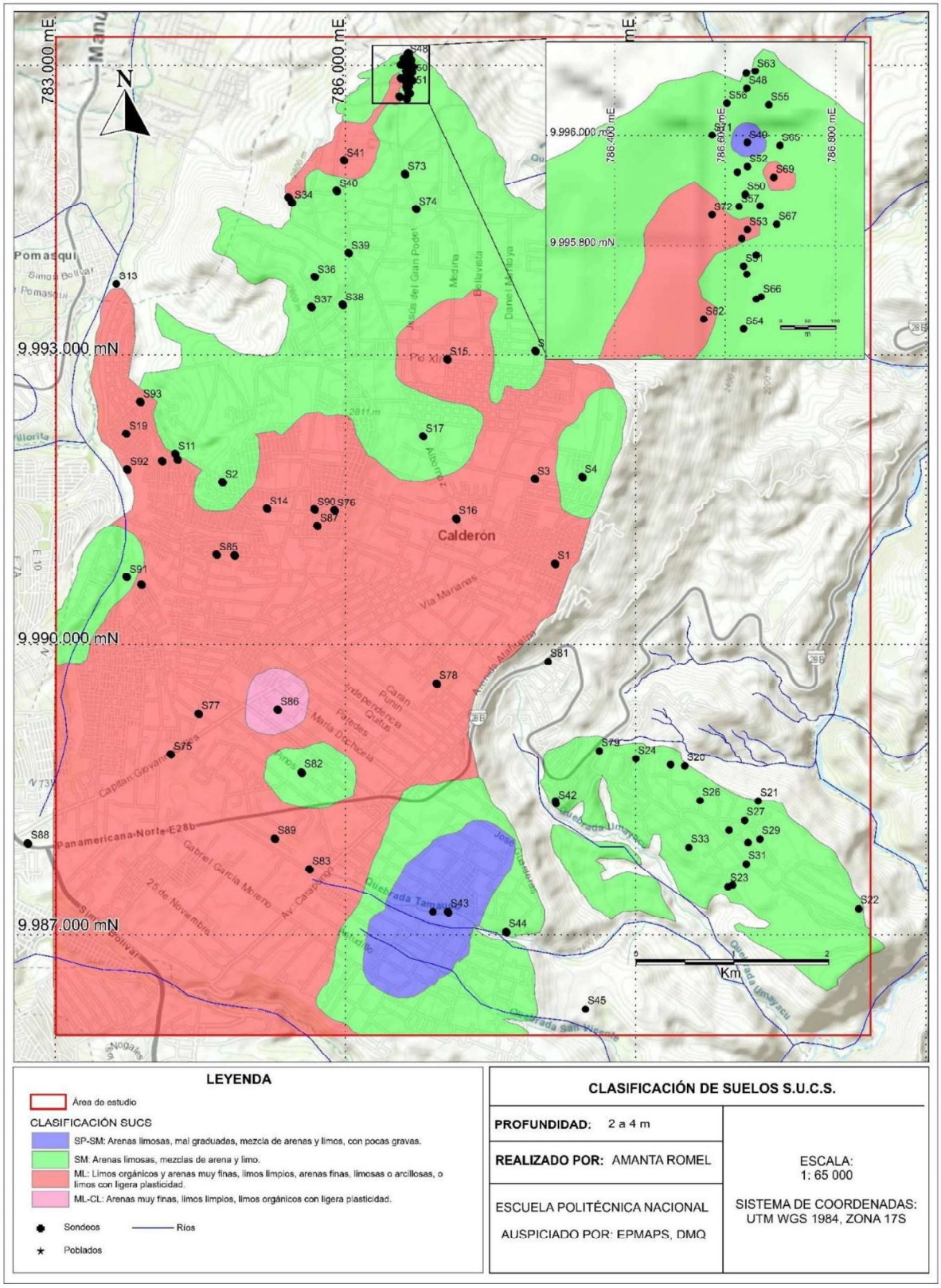


Figura 5.18: Mapa de Clasificación S.U.C.S., de 2 a 4 m de profundidad (elaborado por Amanta Romel).

De 4 a 6 m:

Los suelos de tipo SM y ML se mantienen en predominancia con un 87% del total de suelos (Figura 5.20), por lo que se considera la zona como suelos granulares en las tres profanidades consideradas. La carta de plasticidad para el 8% de muestras (Figura 5.19) indica que son limos inorgánicos de media compresibilidad y limos orgánicos, y aunque parezca que existe un mayor porcentaje en materiales finos esto se debe a la menor cantidad de muestras tomadas en estos últimos metros de profundidad.

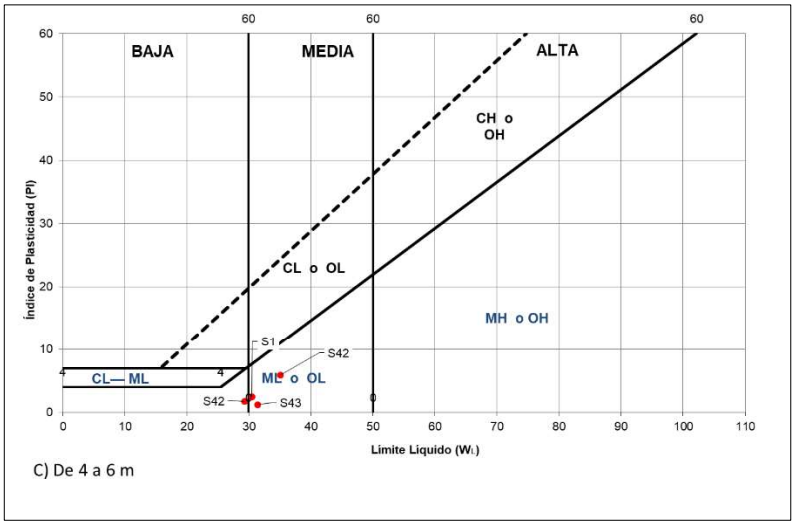


Figura 5.19: Clasificación de los suelos de grano fino según la carta de plasticidad de 4 a 6 m.

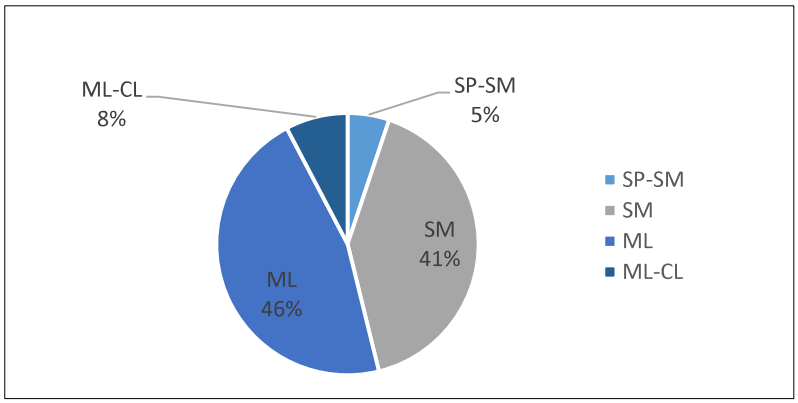


Figura 5.20: Distribución de la clasificación S.U.C.S., de 4 a 6 m.

En el Anexo 4, el potencial de expansión en función del índice de plasticidad expresado según la Tabla 3.3 para los tres intervalos de profundidad indica que tienen un bajo a nulo potencial de expansión en suelos granulares, esto puede deberse a la poca presencia de materiales finos presentes en el área de estudio.

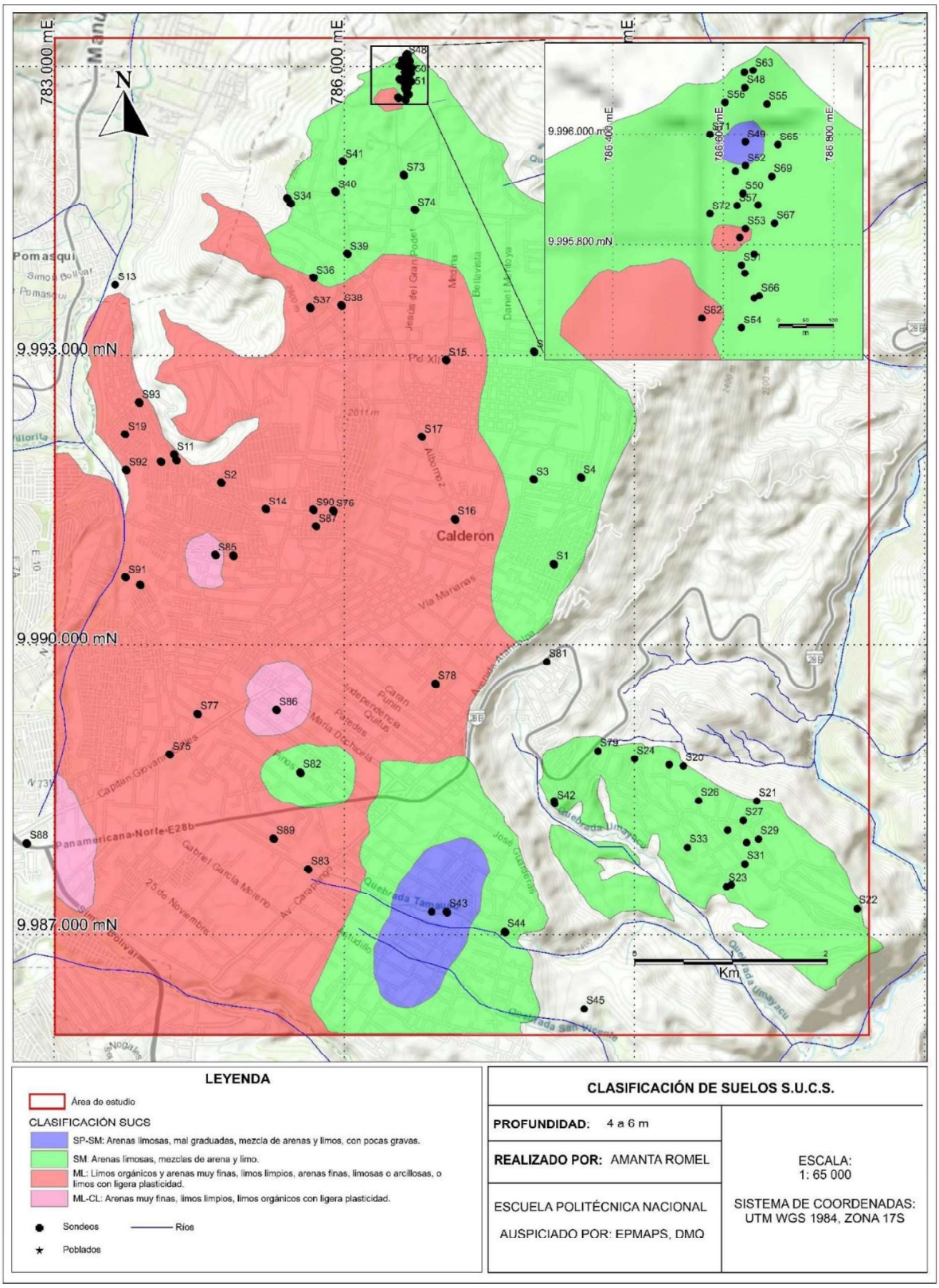


Figura 5.21: Mapa de Clasificación S.U.C.S., de 4 a 6 m de profundidad (elaborado por Amanta Romel).

5.5 MAPA DE LA CAPACIDAD PORTANTE

Se debe mencionar que los valores obtenidos en el Anexo 5, son netamente comparativos, y deben tomarse solo de forma referencial debido a que se han inferido que los datos de SPT son valores corregidos por pérdida de energía. Solo en algunos casos puntuales, los proyectos realizados a cargo de la EPMAPS tienen cálculos con base en las teorías de Meyerhof, y ángulos de fricción interna de algunos de sus sondeos, así como otros valores necesarios para calcular la capacidad portante.

La distribución areal de la capacidad portante indica que existe un predominio de valores entre los 10 a 40 (ton/m^2), llegándose a registrar una mayor distribución en área en las profundidades de 4 a 6 m (Figura 5.22). No se registran valores menores a 2,5 (ton/m^2), y los existentes son preferentes en los metros más someros de profundidad, lo cual podría indicar que los suelos superficiales son menos compactados que los registrados de 2 a 6 m. Los datos mayores a 40 (ton/m^2) también presentan ocupación espacial menor al 20% del área total analizada, lo que indica que la zona no cuenta con suelos de mucha densidad por compactación.

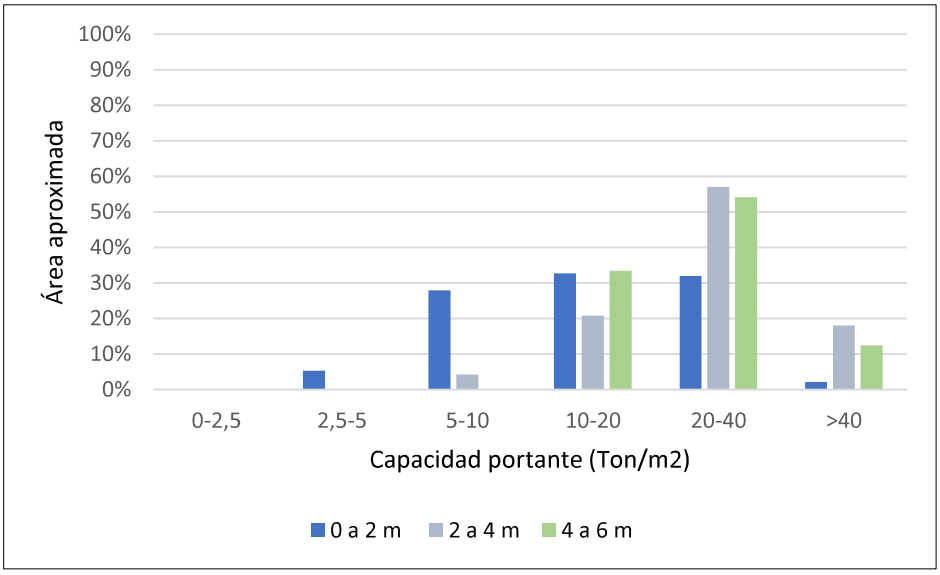


Figura 5.22: Capacidad portante y el área aproximada ocupada en los distintos metros de subsuelo (elaborado por Amanta Romel).

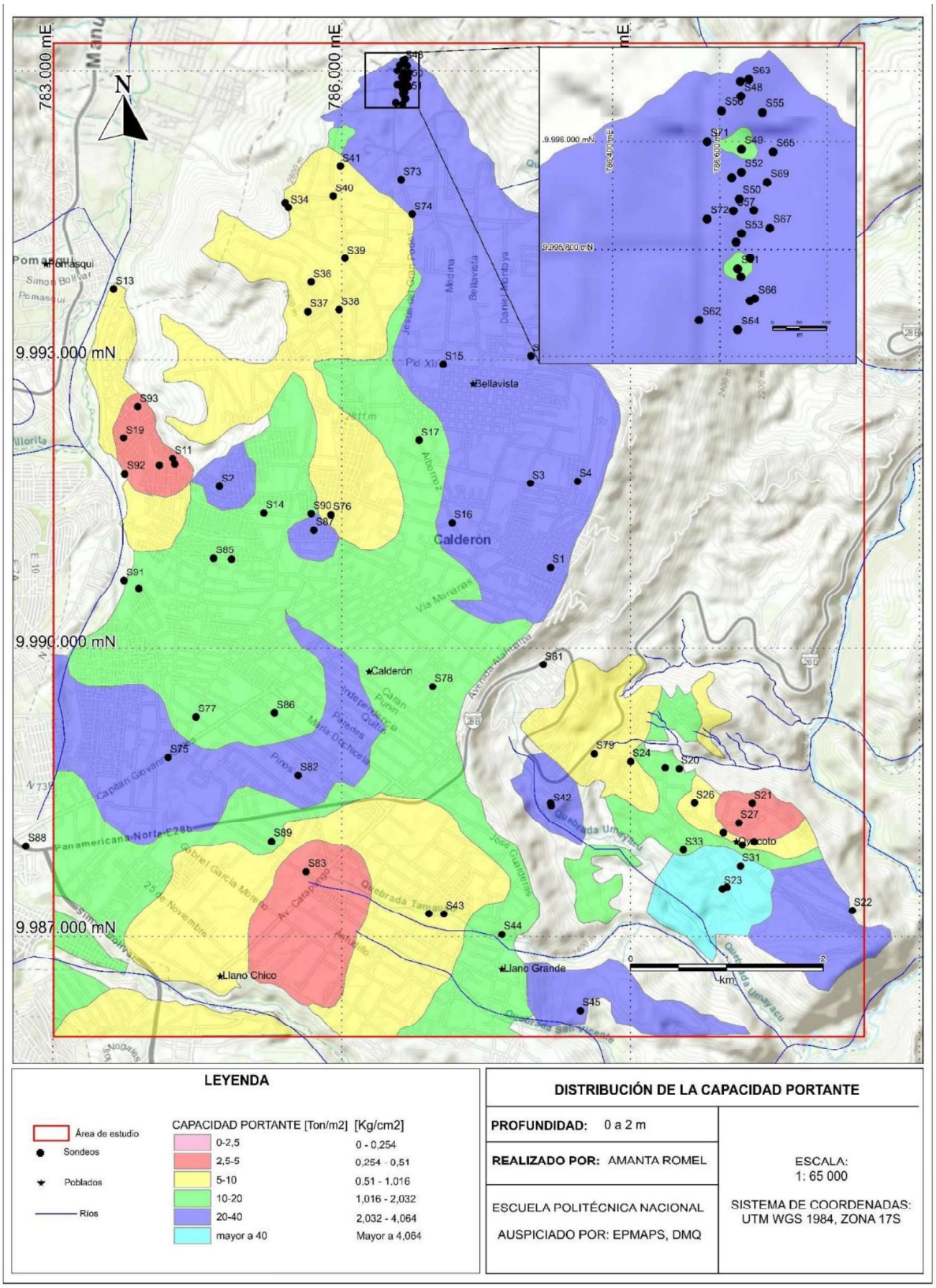


Figura 5.23: Mapa de Capacidad portante de 0 a 2 m de profundidad (realizado por Amanta Romel).

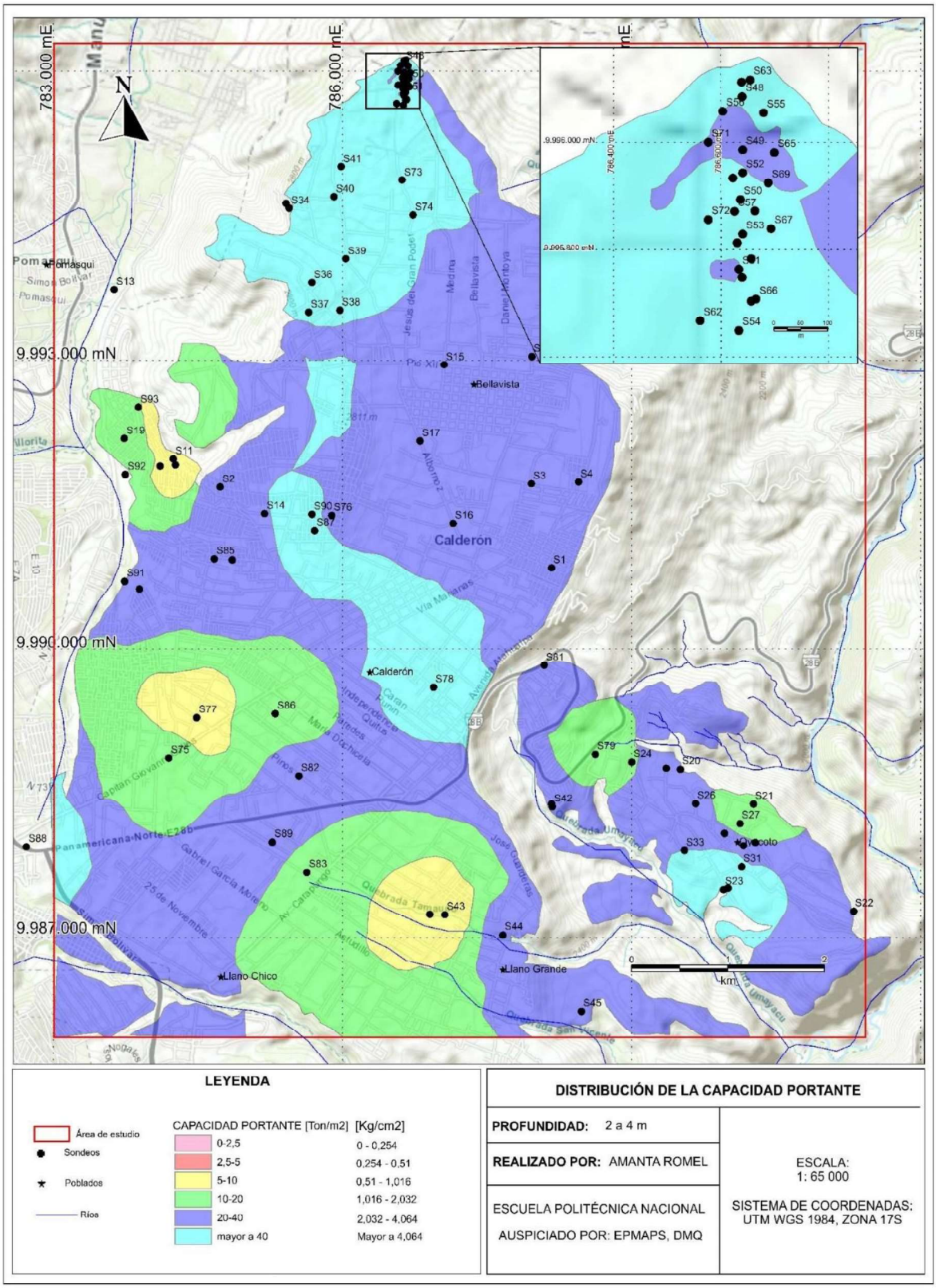


Figura 5.24: Mapa de Capacidad portante de 2 a 4 m de profundidad (realizado por Amanta Romel).

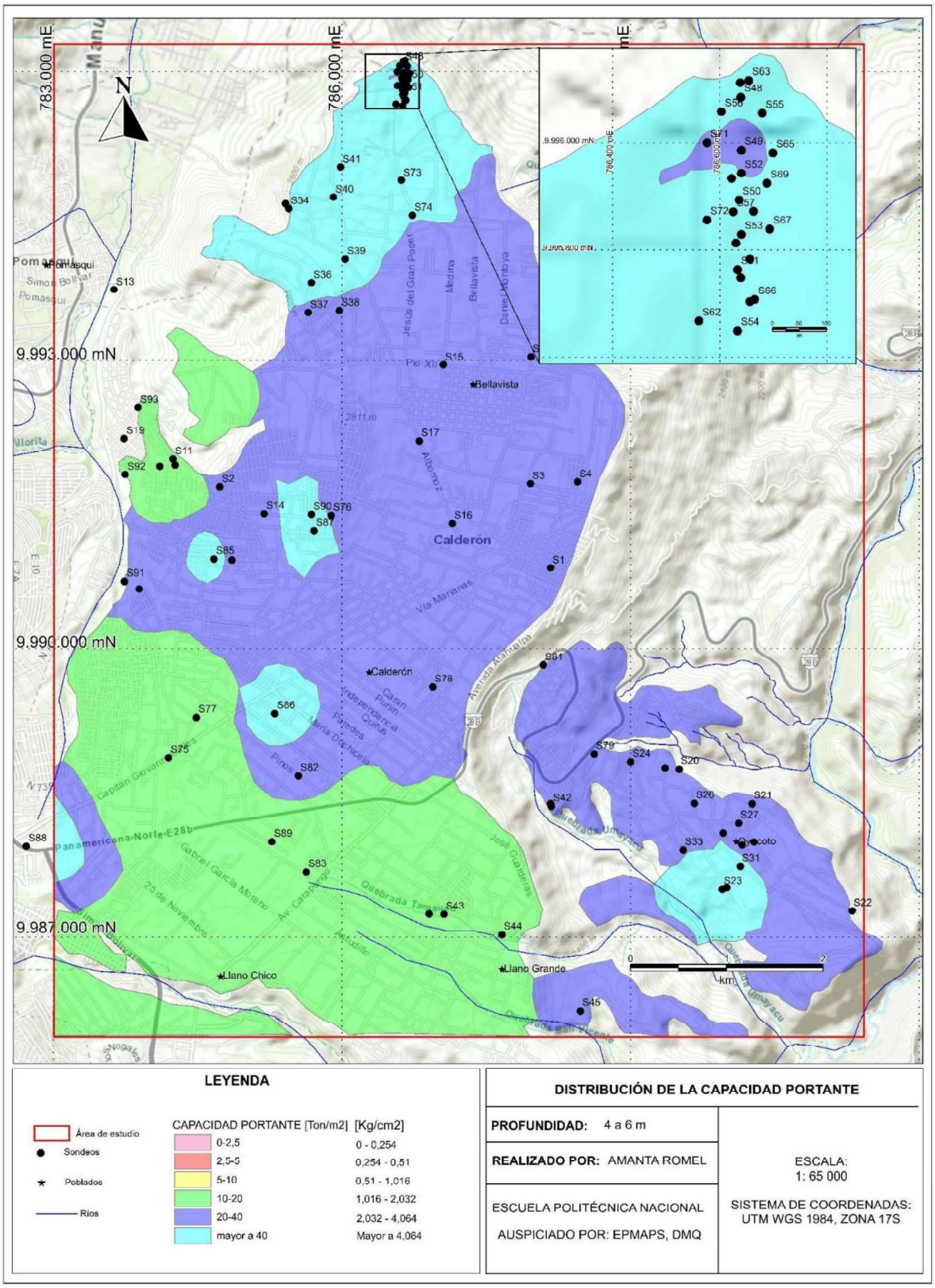


Figura 5.25: Mapa de Capacidad portante de 4 a 6 m profundidad (realizado por Amanta Romel).

5.6 MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

La EPMAPS para sus diversos proyectos de implementación y mantenimiento de redes de alcantarillado, líneas de transmisión, tanques de almacenamiento, entre otros, realiza proyectos de investigación enfocados en la caracterización de los suelos entre los 2 a 6 metros de profundidad, por lo que se optó por realizar la caracterización geotécnicamente en estos dos últimos rangos de profundidad siguiendo los parámetros que se detallan a continuación en orden de importancia:

5.6.1 LITOLOGÍA

Esta caracterización se realizó tomando en cuenta las descripciones litológicas de los sondeos de perforación y calicatas, así como afloramientos observados en campo o descritos en el mapa geológico de Villagómez (2003), a escala 1:35 000, y los mapas geológicos del DGGM (1982), en las zonas de Chaupicruz, El Quinche, Guayllabamba y San Antonio a escala 1:25 000. Los valores de 1 a 2, corresponden a materiales que son bien consolidados que contienen clastos angulosos o fragmentados con índices de carga puntual cercanos a 12 kg/cm2, resistencia a la compresión simple entre los 2 a 5 kg/cm2, SPT mayores a los 50 golpes y ángulos de fricción interna superiores a los 41º registradas en litologías similares por Simbaña (2015) y Nuñez & Vasconez (1993). Los valores más altos entre 3 a 5, corresponden a materiales poco consolidados como rellenos o deslizamientos recientes con SPT entre 2 a 15 golpes y ángulos fricción interna menores a los 25º. También se ha tomado en cuenta las características geotécnicas descritas en los diferentes proyectos recopilados, como tal es el caso de la cangahua que es el material que mayoritariamente cubre el área de estudio.

LITOLOGÍA (33%)	VALOR	PONDERADO
Volcánicos de la Fm. Guayllabamba	1	6,6
Volcánicos del Pululahua	1	6,6
Fm. Chiche	2	13,2
Terrazas	2	13,2
Fm. Pisque	3	19,8
Fm. Cangahua	3	19,8
Rellenos	5	33
Movimientos en masa actuales	5	33

Tabla 5.1: Valor ponderado para la variable de litología.

5.6.2 PENDIENTES

Las pendientes registradas en el área de estudio son el principal factor que influye en el desarrollo de los movimientos en masa ante detonantes como los sismos, donde su importancia aumenta al ser una meseta levantada que es afectada por el Sistema de Fallas activas Quito-Guayllabamba (Figura 2.4; Figura 2.8). Los lugares con ángulos de inclinación entre los 0 a 26,6º son consideradas como pendientes de muy bajas, bajas a medias según Suárez (1998), y no se registran deslizamientos, los barrios dentro de esta clasificación son: La Esperanza (parte central), Bellavista, Calderón, Carapungo, Llano Grande, Llano Chico, El Arenal, Carretas, y la parte central de Oyacoto, que en total suman un área aproximada de 32,48 km^2 dentro de la zona de estudio, y representan el 41,34% del área espacial, por lo que asignó valores de 1 a 3.

Para las pendientes de altas a muy altas según Suárez (1998), valoradas desde los 26,6º en adelante registradas en los barrios de San Francisco, La Esperanza, Oyacoto-San Miguel del Común y los flancos Este y Oeste de la zona de estudio, que suman un área aproximada de 46,08 km^2, o el 58,66% del área total, son en donde se han registrado la mayor cantidad de deslizamientos de tipo traslacional (Nuñez & Vasconez, 1993). Los registros de marcadores de deslizamientos se obtuvo de mediante imágenes satelitales de Google Earth, ortofotos, y documentaciones de acontecimientos actuales, como el ocurrido en la quebrada de San Miguel del Común el 23 de octubre de 2016 que dejó dos personas muertas y más de cincuenta vehículos atrapados (SNGRE, 2016). Para estas altas pendientes se asignó valores entre 4 a 5.

MAPA DE PENDIENTES (º) (33%)	Valor	VALOR PONDERADO
0-8,5	1	6,6
8,5-16,7	2	13,2
16,7-26,6	3	19,8
26,7-45	4	26,4
Mayor a 45	5	33

Tabla 5.2: Valor ponderado para la variable de las pendientes.

5.6.3 MECÁNICA DE SUELOS

La clasificación granulométrica S.U.C.S. representa el 20% de la microzonificación (Tabla 4.4) y determina las propiedades físicas como la granulometría, Límites Atterberg,

contenido de humedad o densidad relativa. Los suelos tipo SP-SM, se clasifican como arenas mal graduadas con pocos finos o sin finos, y son suelos granulares no cohesivos de baja deformabilidad, los mismos que son útiles para comparar con las densidades relativas (Braja & Khaled, 2014). El Anexo 5, muestra que las densidades más predominantes están entre los el 40 al 72% de densidades relativas, por lo que indica suelos medianamente densos a densos, y de poca deformabilidad por la ausencia de materiales arcillosos al no contener Límites Atterberg, como se muestra en el apartado 5.4, por lo que se asignó valores de 1. Los suelos de tipo ML y ML-CL, son arenas finas con la presencia de arcillas y limos, no constituyen más del 15% de valores del total de sondeos en las diferentes profundidades e indican una baja a muy baja plasticidad (Anexo 4), por lo que se asignó valores de 2 y 3, al considerarse como suelos cohesivos de gran deformabilidad (Braja & Khaled, 2014).

MAPA CLASIFICACIÓN S.U.C.S. (20%)	VALOR	PONDERADO
SP-SM	1	6,67
SM	1	6,67
ML	2	13,32
ML-CL	3	20

Tabla 5.3: Valor ponderado para la variable de Clasificación de suelos S.U.C.S.

La capacidad portante que está en función del número de golpes SPT que corresponde al 10% de la valoración, donde se considera la compacidad y densidad relativa, ángulo de fricción interno, consistencia y resistencia de los suelos. Los valores de capacidad portante entre los 0 a 5 (Ton/m^2), corresponden a valores de compactación de muy suelta a suelta (Vallejo et al., 2002), y con número de golpes N de 0 a 25, y ángulos de fricción interna que no superan los 25º (Anexo 5), por lo que se asignó valores de 6 y 5. Para capacidades portantes entre 5 a 20 (Ton/m^2), se asignó valores de 4 y 3, al ser materiales con compactación mediana a densa, y número de golpes N de 25 a 50, y ángulos de fricción interna de 30 a 41º. Los valores más bajos de 2 y 1, son para suelos con capacidades portantes de 20 a 40 (Ton/m^2), con un grado de compactación de densa a muy densa y densidades relativas de 80 al 90% (Tabla 4.2; 4.3), además presenta un número de golpes N mayor a 50 y ángulos de fricción interna cercanos a los 45º, como se muestra en el Anexo 5.

MAPA CAPACIDAD PORTANTE (Ton/m^2) (10%)	VALOR	PONDERADO
0-2,5	6	10
2,5-5	5	8,35
5-10,0	4	6,68
10,0-20,0	3	5,01
20-40	2	3,34
Mayor a 40	1	1,67

Tabla 5.4: Valor ponderado para la variable de la capacidad portante.

5.6.4 VEGETACIÓN

La erosión por falta de cobertura vegetal tiene una gran afectación directa en los suelos como se observa desde la Figura 5.7 a la 5.11, debido a las precipitaciones que oscilan entre los 540 a 560 mm/año, siendo valores muy bajos en comparación a áreas cercanas como la cuenca de Guayllabamba (Anexo 7). Los meses de abril y octubre presentan las mayores precipitaciones en relación a julio-agosto (Figura 5.1; Figura 5.2). Las imágenes satelitales de tipo "NDVI", tomadas en las temporadas de verano e invierno también muestran una clara tendencia a una escasa cobertura vegetal. Por otro lado, el bajo contenido de humedad, entre el 4 al 20%, y los pesos unitarios que no superan los 18 (kN/m^3), sugieren que no existe una importante saturación de agua en el suelo. En general, por conversaciones directas con el Ing. Gonzalo Cañizares jefe de departamento del INAMHI, la erosión hídrica junto con la erosión eólica son los principales factores climáticos que afectan a toda el área de Calderón.

Al no tener más datos comparativos como temperatura, evapotranspiración, velocidad del viento, peso específico saturado, se caracterizó la vegetación de manera cualitativa como baja, media y alta, con valores de 3, 2 y 1 respectivamente.

VEGETACIÓN (4%)	VALOR	PONDERADO
Baja	3	4
Media	2	2,67
Alta	1	1,33

Tabla 5.5: Valor ponderado para la variable de vegetación.

Mediante la distribución espacial de los diferentes parámetros obtenidos en los diferentes mapas realizados se obtuvieron los siguientes valores de microzonificación:

ZONA	VALORACIÓN	DESCRIPCIÓN
I	0-20	Muy buena
II	20-40	Buena
III	40-60	Regular
IV	60-80	Mala
V	80-100	Muy mala

Tabla 5.6: Valoración cualitativa de la Zonificación Geotécnica.

ZONA I: Se caracteriza por tener litologías bien compactadas con clastos angulosos, como materiales volcánicos primarios, lahares o flujos de escombros antiguos. La clasificación granulométrica S.U.C.S., para este tipo de materiales es inexistente en la zona de estudio. No presenta Límites Atterberg y las pendientes son muy bajas (0 a 8,5º). Contiene una buena capacidad portante (mayores a 40 Ton/m^2) y densidades relativas de densas a muy densas (del 80 al 90%), con un alto grado de compactación y una de vegetación alta o no influyente.

ZONA II: Se caracteriza por tener litologías bien compactadas como coluviales, aluviales y terrazas antiguas. No tiene una clasificación granulométrica S.U.C.S. representativa definida, aunque se han llegado a registrar suelos tipo SP-SM y esporádicos GP-GM. Esta zona contiene nulos valores en plasticidad o Límites Atterberg y con valores de pendientes de bajos a medios (de 8,5 a 16,7º). Contiene una buena capacidad portante (de 20 a 40 Ton/m^2), y densidades relativas densas (alrededor del 80%), con un alto grado de compactación y una de vegetación alta o no influyente.

ZONA III: Se caracteriza por tener litologías de edades más recientes, como tobas y capas de ceniza con intercalaciones de lapilli. La clasificación granulométrica S.U.C.S., es de tipo SM, presenta nulos valores en plasticidad o Límites Atterberg. Contiene valores de pendientes intermedios (16,7 a 26,6º). Su capacidad portante es regular (de 10 a 20 Ton/m^2), son suelos con densidades relativas medias (del 60 al 80%), y un grado de compactación intermedio. La vegetación es baja a media.

ZONA IV: Se caracteriza por tener litologías de edades más recientes, como tobas y capas de ceniza con intercalaciones de lapilli. La clasificación granulométrica S.U.C.S., es de tipo ML. Presenta Límites Atterberg, pero con una plasticidad muy baja a baja. Los valores de pendientes son altos (26,6 a 45º). Contiene una mala capacidad portante (de

10 a 5 Ton/m^2) y densidades relativas flojas (del 40 al 60%), con un bajo grado de compactación. La vegetación es escasa a nula.

ZONA V: Incluye los rellenos o deslizamientos actuales. La clasificación granulométrica S.U.C.S., es de tipo ML-CL, y en menor medida SM y ML. Presenta un Índice de plasticidad bajo y un Límite Líquido de bajo a medio. Los valores de pendientes son muy altos (mayores a 45º). Contiene una capacidad portante muy mala (de 5 a 2,5 Ton/m^2) y densidades relativas muy flojas (menores al 40%). La vegetación presente es nula.

Para la zonificación no se ha tomado en cuenta áreas dónde no existan datos de sondeos en relación a las propiedades físicas-mecánicas de los suelos.

5.6.5 MAPAS DE MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

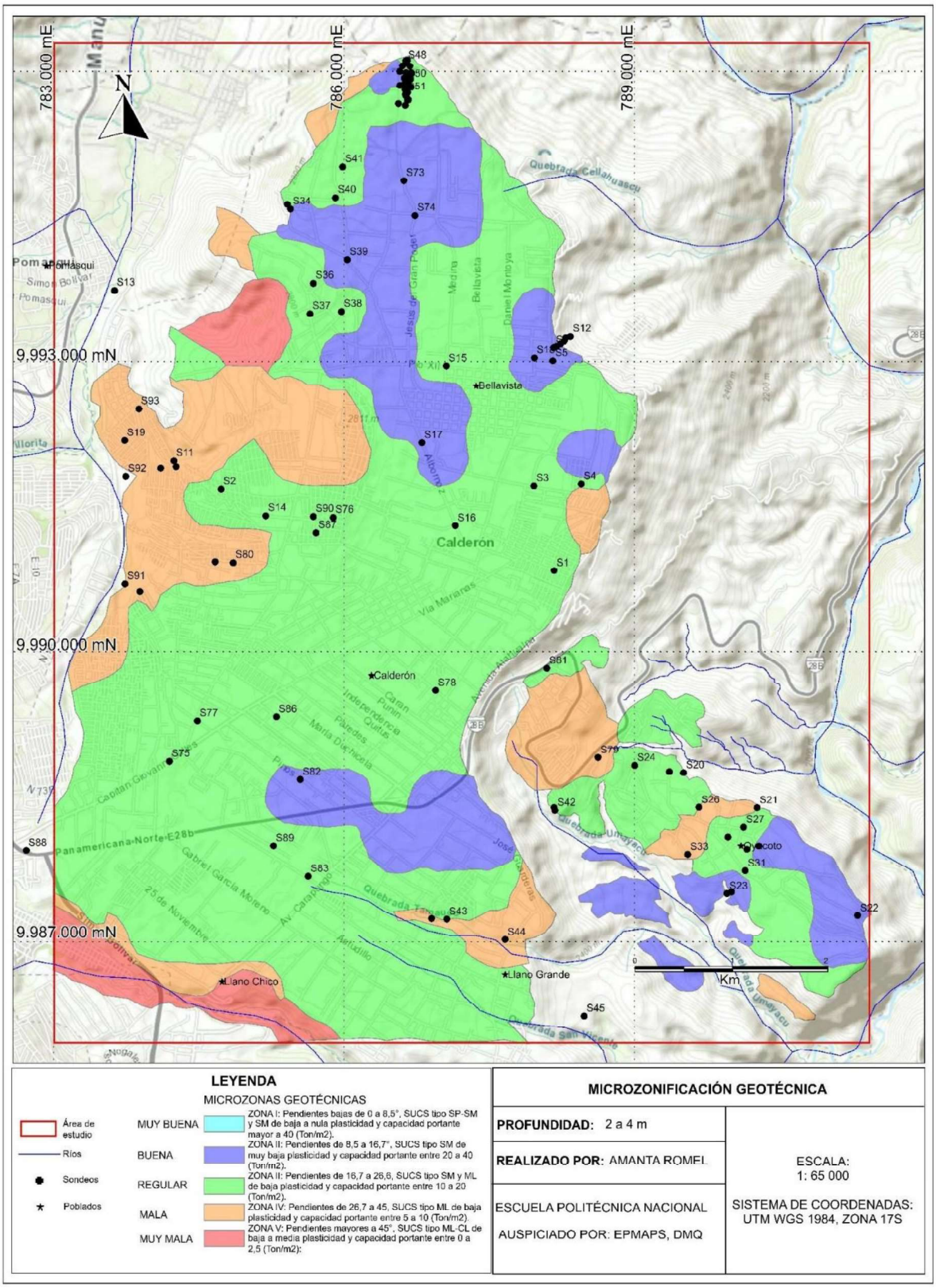


Figura 5.26: Mapa de Zonificación Geotécnica de 2 a 4 m (elaborado por Amanta Romel).

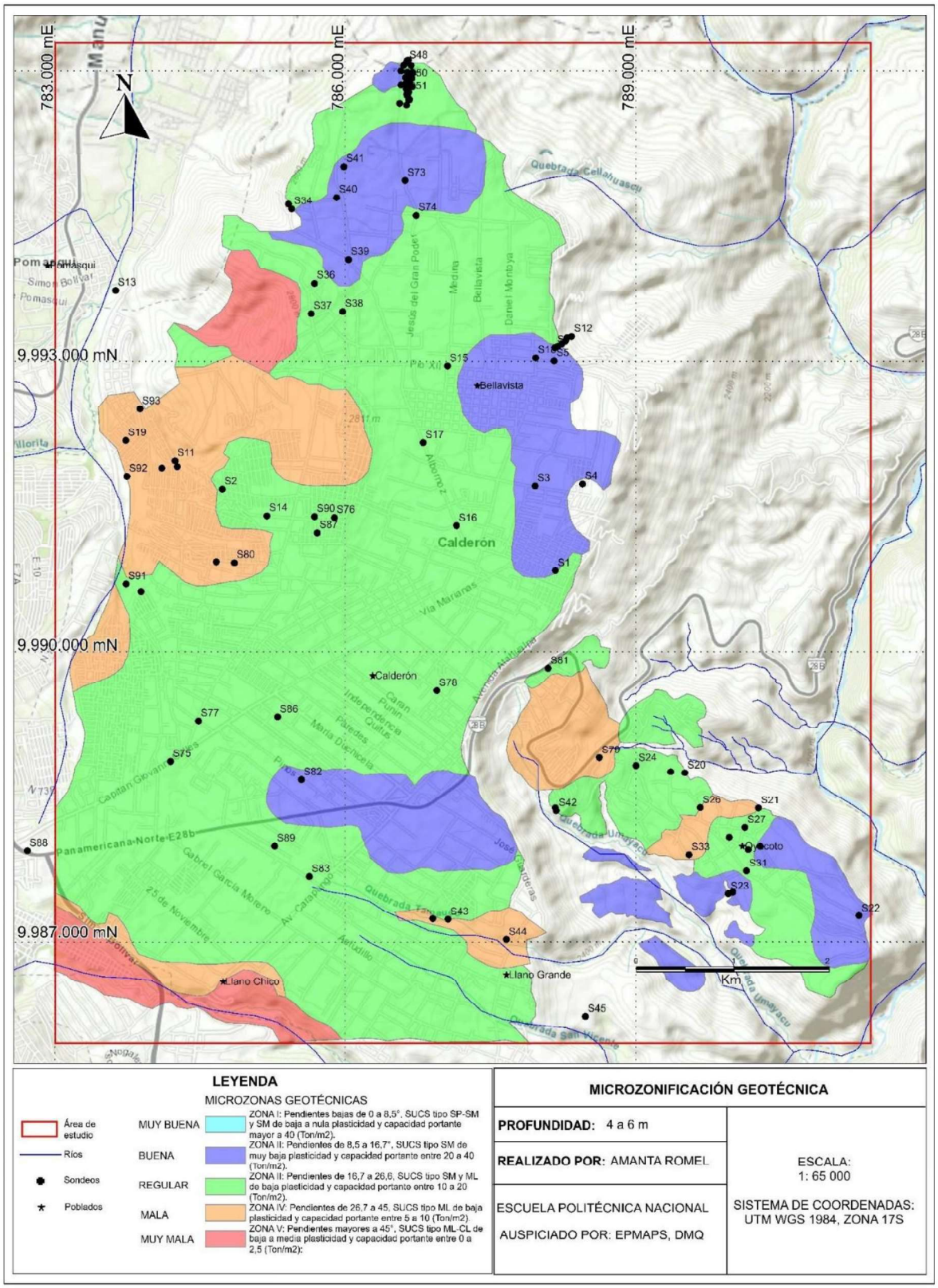


Figura 5.27: Mapa de Zonificación Geotécnica de 4 a 6 m (elaborado por Amanta Romel).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- De acuerdo a imágenes satelitales de Google earth y ortofotos a escala 1:5 000 que indican una escasa cobertura vegetal, índices de vegetación NDVI entre 0 y -1, las bajas precipitaciones anuales menores a los 560 mm/año, contenidos de humedad menores al 24%, pesos unitarios secos menores a los 20 (kN/m^3), y por la creciente expansión urbana según el PDYOT de Calderón de 2015, se considera que la zona de estudio es relativamente seca, lo que la hace más susceptible a erosión eólica e hídrica. Estos condicionantes se hacen más marcados cerca de las quebradas o lugares con altas pendientes, dónde se registraron la formación de cárcavas, derrumbes y socavaciones en la base de los ríos.

- Con los datos analizados se ha podido elaborar mapas de zonificación geotécnica en las profundidades de 2 a 4 m y de 4 a 6 m, descartándose los primeros metros debido a que no se realizan obras de infraestructura a esas profundidades. Los mapas se clasificaron en cinco zonas descritas de la siguiente manera: **Zona I (Muy Buena)**, con litologías bien compactadas con clastos angulosos, como materiales volcánicos primarios, lahares o flujos de escombros antiguos. La clasificación granulométrica S.U.C.S., para este tipo de materiales es inexistente en la zona de estudio. No presenta Límites Atterberg y las pendientes son muy bajas (0 a 8,5º). Contiene una buena capacidad portante (mayores a 40 Ton/m^2) y densidades relativas de densas a muy densas (del 80 al 90%), con un alto grado de compactación y una de vegetación alta o no influyente.; **Zona II (Buena)**, Se caracteriza por tener litologías bien compactadas como coluviales, aluviales y terrazas antiguas. No tiene una clasificación granulométrica S.U.C.S. representativa definida, aunque se han llegado a registrar suelos tipo SP-SM y esporádicos GP-GM. Esta zona contiene nulos valores en plasticidad o Límites Atterberg y con valores de pendientes de bajos a medios (de 8,5 a 16,7º). Contiene una buena capacidad portante (de 20 a 40 Ton/m^2), y densidades relativas densas (alrededor del 80%), con un alto grado de compactación y una de vegetación alta o no influyente.; **Zona III (Regular)**, Se caracteriza por tener litologías de edades más recientes, como tobas y capas de ceniza con intercalaciones de lapilli. La clasificación granulométrica S.U.C.S., es de tipo SM, presenta nulos valores en plasticidad o Límites Atterberg. Contiene valores de pendientes intermedios (16,7 a 26,6º). Su capacidad portante es regular (de 10 a 20 Ton/m^2), son suelos con densidades relativas medias (del 60 al

80%), y un grado de compactación intermedio. La vegetación es baja a media.; **Zona IV (Mala)**, Se caracteriza por tener litologías de edades más recientes, como tobas y capas de ceniza con intercalaciones de lapilli. La clasificación granulométrica S.U.C.S., es de tipo ML. Presenta Límites Atterberg, pero con una plasticidad muy baja a baja. Los valores de pendientes son altos (26,6 a 45º). Contiene una mala capacidad portante (de 10 a 5 Ton/m^2) y densidades relativas flojas (del 40 al 60%), con un bajo grado de compactación. La vegetación es escasa a nula.; **Zona V (Muy mala)**, Incluye los rellenos o deslizamientos actuales. La clasificación granulométrica S.U.C.S., es de tipo ML-CL, y en menor medida SM y ML. Presenta un Índice de plasticidad bajo y un Límite Líquido de bajo a medio. Los valores de pendientes son muy altos (mayores a 45º). Contiene una capacidad portante muy mala (de 5 a 2,5 Ton/m^2) y densidades relativas muy flojas (menores al 40%). La vegetación presente es nula.

- La litología predominante que cubre la mayor parte del área de estudio, con un 85% aproximadamente, y que puede llegar a superar los 50 m de espesor es la Fm. Cangahua, según los mapas geológicos de Villagómez (2003) y el DGGM (1982), esto se refleja en los altos porcentajes de clasificación S.U.C.S., que llegan hasta el 90% en suelos tipo SM y ML, lo que condiciona que la zona de estudio se comporte como suelos granulares (tamaños de grano mayor o igual a los 0,075 mm), poco cohesivos de baja a nula plasticidad. Esto se ve reflejado en los dos mapas de Zonificación Geotécnica, donde predomina la Zona III sobre la Zona II y IV. Este tipo de material se ve expuesto en su mayoría a fenómenos como la infiltración de agua, erosión hídrica entre otros factores climáticos y antrópicos que condicionan el deterioro de las propiedades físicas del material.

- La clasificación granulométrica S.U.C.S., SM y ML para la Fm. Cangahua indica que existen dos tipos de cangahuas presentes en la zona de estudio, que en apariencia pueden llegar a ser muy similares. La primera, de tipo SM, que contiene una distribución que alcanza fácilmente el 80% en contenido en arenas gruesa. La segunda, de tipo ML, con un alto contenido en materiales finos, como limos, que alcanza hasta un 65% en su contenido y que sin embargo no llega a tener valores significativos de plasticidad o Límites Atterberg por la inexistencia de minerales arcillosos como la caolinita o montmorillonita en su composición mineralógica, aunque Sevilla (1989), registró minerales arcillosos como el alófano dentro de la cangahua, que son minerales típicos de la alteración de las cenizas volcánicas (Wada, 1980). Esta diferencia de materiales puede deberse a que se han llegado a registrar cangahuas primarias y retrabajadas según varios autores.

- Según los parámetros calculados en la zonificación geotécnica, no existe la Zona I presentes entre los 2 a 6 m de profundidad, que agrupe las litologías como los volcánicos del Pululahua, Fm. Guayllabamba, Fm. Chiche y Fm, Pisque que sí están presentes en el área de estudio aunque en profundidades superiores a los sondeos realizados. Según trabajos similares en áreas cercanas, como el trabajo de Nuñez & Vasconez (1993), estas litologías reúnen buenas características geotécnicas debido a sus altos valores de consolidación, ángulos de fricción interna y valores de capacidad portante, por lo que se ha decidido tomar en cuenta estas valoraciones en la determinación cualitativa de la zonificación geotécnica. Por otro lado, la Zona V, que incluye zonas de rellenos o movimientos actuales se presentan de forma puntual, esto puede deberse a que los rellenos al ser detectados son excluidos al momento de la realización de ensayos tipo SPT, aunque en un futuro es muy probable que esta zona aumente debido al constante crecimiento poblacional en Calderón, y en dónde se han evidenciado varios botaderos de basura y escombreras en las quebradas principales y secundarias.

- Según los perfiles de correlación geotécnica, si existe una buena correlación lateral entre los materiales que contienen clastos angulosos, gránulos o capas de lapilli, en su composición granulométrica, y de forma no tan recurrente en materiales de clasificación S.U.C.S., tipo ML o ML-CL. Estos valores se ven reflejados en los altos números de golpe en los ensayos SPT, incluso hasta llegar al golpe de rechazo (R) como se observa en los perfiles 3 y 4.

- Los perfiles 2 y 4, muestran un bajo número de golpes N en los ensayos SPT, y esta zona a su vez se ve influenciada por el aumento de la pendiente debido a un posible pliegue anticlinal en la zona, esto puede indicar que los materiales, cangahua en su mayoría, son retrabajados.

- La capacidad portante, calculada de forma referencial, tiene altos valores en las áreas centrales catalogadas con bajas pendientes (de 0 a 8,5°), y decaen hacia el Sur o en áreas cercanas a las quebradas. Además, no existe una correlación directa con los materiales de clasificación S.U.C.S., tipo SM, aunque si con los de tipo ML o ML-CL catalogados de baja a media plasticidad encontrados de forma puntual.

6.2 RECOMENDACIONES

- Los suelos, en específico las cangahuas, al tener un comportamiento de tipo granular debido a su baja plasticidad, están condicionados a la erosión hídrica y eólica. Por lo que, es importante considerar que los nuevos estudios a futuro tomen en cuenta las

épocas más desfavorables de pluviosidad (marzo-abril y junio-agosto), con el fin de obtener datos cercanos a las condiciones más adversas del terreno, tal es el caso de las relaciones volumétricas y gravimétricas de los suelos como: grado de saturación, contenido de humedad, peso específico, entre otros.

- La caracterización visual-manual de una roca tomada *in situ* llega a aportar muchas cualidades físicas del terreno, pero puede ser muy subjetiva sino se toman ciertas pautas establecidas como referencia. Por lo que, contar con cualquier tipo de guía estandarizada para su descripción, ya sea las normas ASTM D-2488-75 o INV E 102-13 para el caso de los suelos, puede ayudar a la rápida comprensión y familiarización de los suelos encontrados en el terreno.

- El uso de métodos geofísicos es útil para reconocer estructuras y cambios notables en la litología, y tienen una alta correlación con los valores SPT mediante las velocidades de onda de corte obtenidas para cada tipo de material (Yoshida, 2015). Uno de los métodos más usados por sus bajos costos son los ensayos de Refracción por Micro-tremores "REMi", los mismos que pueden ser usados en zonas pobladas o industriales al no ser invasivos en su uso. La aplicación de estos ensayos, paralelos o cercanos a los cinco perfiles propuestos en este trabajo, podrían dar mayor resolución a los datos obtenidos, y ser un aporte de nuevos datos en profundidades superiores a los seis metros registrados en el presente estudio.

- Con el fin de mejorar la información presente, en cuanto a ensayos de compactación, porosidad, humedad, resistencia al corte, y ensayos SPT se sugiere realizar nuevos ensayos en la zona Centro-Sur, entre los sondeos S85-S75, S16-S78, y al Sur de S89 y S83 a profundidades similares a otros sondeos realizados en el área de estudio.

- Realizar sondeos exploratorios para ubicar los posibles niveles freáticos dentro de la zona de estudio, los mismos que deberían ubicarse en las cotas más bajas entre los 2000 y 2200 msnm aproximadamente, ya que por conversaciones directas con técnicos de la EPMAPS, no se registran niveles freáticos en pozos domésticos que alcanzan profundidades de 100 m dentro de la parte alta de la zona de estudio. En adición, realizar ensayos complementarios tipo Lefranc, para entender cómo la permeabilidad afecta a los suelos granulares debido a infiltraciones de agua, lo que puede generar suelos colapsables en los temporales de mayores pluviosidades, como los hechos sucedidos en San Miguel del Común en octubre de 2016.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarado, A.; Audin, L.; Nocquet, J.M.; Lagreulet, S.; Segovia, M.; Font, Y.; Lamarque, G.; Yepes, H.; Mothes, P.; Rolandone, F.; Jarrín, P.; Quidelleur, X. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *American Geophysical Union*, pp. 1-17.

Alvarado, A; Audin, L; Nocquet, J.M; Jaillard, E; Mothes, P; Jarrín, P; Segovia, M; Rolandone, F; Cisneros, D. (2016). *Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador.* AGU PUBLICATIONS, TECTONICS, American Geophysical Union, Vol. 35, pp. 1048-1065. doi:10.1002/2016TC004117.

Andrade, F., Qureshi, H., & Hotza, D. (2011). Measuring the plasticity of clays: A review. *Applied Clay Science, 51*, pp. 1-7. doi:10.1016/j.clay.2010.10.028

Aspden, J., & Litherland , M. (1991). *The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador.* Elsevier Sciense Publishers B.V. Amsterdam, Tectonophysics 205, pp. 187-204.

ASTM. (1998). *Método de prueba estándar para la Determinación de Laboratorio del Contenido de agua(humedad) deSuelo y rocas por MASS.* D 2216.

ASTM. (2006). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).* D 2487- 2488.

ASTM. (2011). *Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils.* D1586 – 11.

ASTM. (2017). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.* D 4318.

Avilés, L. (2013). *CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DEL SUR DE LA CIUDAD DE QUITO.* Quito: Universidad Central del Ecuador, tesis de grado., pp. 190.

Ayala , O., Ruybén, I., Franchesco, P., Daniela , I., & Sánchez , D. (2015). *Zonificación de la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa. Microcuencas agua Blanca y La Laja. Andes venezolanos.* Universidad de los Andes, Revista Goegráfica Venezolana, Vol. 56, Núm. 2, pp. 221.

Baldock, J. (1982). *Geología del Ecuador.* Quito: División de Investigación Geológica Minera, DGGM, pp. 66.

Barberi, F., Coltelli, M., Ferrara, G., Innocenti, F., Navarro, J., & Santacrocer, R. (1988). *Plio-Quaternary volcanism in Ecuador.* Geología Magistral.125/1, pp. 1-14.

Barberi, F., Coltelli, M., Ferrara, G., Innocenti, F., Navarro, M., & Santacroce, R. (1988). *Plio-Quaternary volcanism in Ecuador.* Geol., Mag., 125, pp. 1-14.

Barragán, R., Baby, P., & Duncan, R. (2005). *Cretaceous alkaline intra-plate magmatism in the EcuadorianOriente Basin: Geochemical, geochronological and tectonic evidence.* Elsevier B.V., Earth and Planetary Science Letters, Vol. 236, pp. 670-690. doi:10.1016/j.epsl.2005.03.016

Barrera, A. (2004). *Técnicas de completados de series mensuales y aplicación al estudio de la influencia de la NOA en la distribución en la precipitación en España.* DEA. Programa de doctorado en Astronimía y Astrología-Biennio 2002-2004.

Beauval, C., Yepez, H., Bakum, W., Egred, J., Alvarado, A., & Singaucho, J. (2010). *Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587–1996).* US Geological Survey, University of Nebraska - Lincoln, Geophysical Journal Vol. 181, pp. 1613–1633. doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04569.x.

Beauval , C., Yepes, H., Palacios , P., Segovia , M., Alvarado , A., Font, Y., Aguilar, J., Troncoso, L., Vaca , S. (Abril de 2013). An Earthquake catalog for seismic hazard assessment in Ecuador. *Seismological Society of America, 103*(2A), pp. 773–786. doi:10.1785/0120120270.

Bievre, B., & Coello, X. (2008). *Proyecto Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en la Hoya de Quito.* Quito: BID Banco Interamericano de Desarrollo Económico y FONAG Fondo para la Protección del Agua, pp. 64.

Boland, M., Pilatasig, L., Ibandango, C., McCourt, C., Aspden, J., Hughes, R., & Beate, B. (2000). *Geology of the Western Cordillera between 0-1°N.* Quito: Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información cartográfica y Geológica, Informe No. 10. CODIGEM-BGS, pp. 72.

Braja, M., & Khaled, S. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering* (Eighth ed.). Stamford: Cengage Learning, pp. 770.

BRE. (1993). *Low-rise buildings on shrinkable clay soils.* Building Research Establishment, Digest 240.

CAF. (2000). *El Fenómeno del Niño 1997-1998, Memoria, Retos y Soluciones.* Corporación Andina de Fomento (CAF), Vol. 4, Ecuador, pp. 304.

Campozano, L., Célleri, R., Trachte, K., Bendix, J., & Samaniego, E. (2016). *Rainfall and Cloud Dynamics in the Andes: A Southern Ecuador Case Study.* Advances in Meteorology, Vol. 2016, pp. 16. doi:10.1155/2016/3192765

Carter, M., & Bentley, S. (2016). *Soil Properties and their correlations* (Second ed.). The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd, pp. 249.

Casagrande, A., & Fadum, R. (1940). *Notes on Soil Testing for Engineering Purposes.* Soil Mechanics Series No. 8, Harvard Graduate School of Engineering.

Chiaradia, M., & Fontboté, L. (2001). *Radiogenic Lead Signatures in Au-Rich Volcanic-Hosted Massive Sulfide Ores and Associated Volcanic Rocks of the Early Tertiary Macuchi Island Arc.* Economic Geology, Vol. 96, pp. 1361-1378.

Chunga, K., Michetti, A., Gorshkov, A., Panza , G., Soloviev, A., & Martillo, C. (2011). *Aplicación del Método de Zonación Morfo-Estructural para identificar Nudos Sismogenéticos en la Región Costera y Cadenas Montañosas de los Andes Septentrionales del Ecuador .* Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. 16, No. 1, pp 26.

DGGM. (1982a). *Mapa Geológico a escala 1:25 000 "Chaupicruz", Hoja CT-ÑIII-B1c, 3993-IV-SW.* Instituto Geográfico Militar, Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas (DGGM).

DGGM. (1982b). *Mapa Geológico a escala 1:25 000 "El Quinche", Hoja CT-ÑIII-BId, 3993-IV-SE.* Instituto Geográfico Militar, Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas (DGGM).

DGGM. (1982c). *Mapa Geológico a escala 1:25 000 "Guayllabamba", Hoja CT-ÑIII-B1b, 3993-IV-NE.* Instituto Geográfico Militar, Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas (DGGM).

DGGM. (1982d). *Mapa Geológico a escala 1:25 000 "San Antonio", Hoja CT-ÑIII-B1a, 3993-IV-NW.* Instituto Geográfico Militar, Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas (DGGM).

DMQ. (2018). *Ordenanza Metropolitana No. 210, Reforma del Plan de Uso y Ocupación de Suelo: PUOS.* Quito: ALCALDÍA DEL DISTRITO METROPOLITANO, pp. 68.

Dotor, E. (2004). *Análisis de Susceptibilidad y Peligrosidad de Deslizamientos de Laderas.* Cataluña: Programa UNIGIS de Posgrado y Máster Internacional, Universidad de Girona.

Earle, S. (2015). *Physical Geology* (First ed.). British Columbia, Canadá: BCcampus. Obtenido de https://opentextbc.ca/geology/, pp. 630.

EMSEGURIDAD. (2017). *Estudio, Análisis y Evaluación Integral del Riesgo en el Sector Laderas de San Fransico de la Parroquia de Calderón, Distrito Metropolitano de Quito, Informe Final.* Quito: Empresa Pública Metropolitana de Logística para la Seguridad, EMSEGURIDAD, pp. 80.

EPMAPS. (2006). *Estudio de Factibilidad y Diseños Definitivos para el mejoramiento y ampliación del sistema de alcantarillado de la zona Norte de la Parroquia de Calderón.* Estudio geológico-geotécnico, Fase II.

EPMAPS. (2011). *Diseño Definitivo de la Red de Alcantarillado barrio San Francisco de Oyacoto, Parroquia Calderón Distrito Metropolitano de QuitO.* Estudio Geotécnico, septiembre, Etapa 2.

EPMAPS. (2012). *Diseño Definitivo del Sistema de Alcantarillado para varios barrios, sector noroccidente de San Juan de Calderón, Parroquia de Calderón.* Estudio Geotécnico, febrero, Fase 2.

EPMAPS. (2013). *Diseño Definitivo del Sistema de Alcantarillado para los barrios: Bosque II y IV, El Corazón, Cristo Rey, San Antonio de Calderón, Nueva Bellavista, Collas, San Vicente, las calles: Punin, Victor Jimenez, Robles, Jorge Cabezas, Coya, Victoria, Pedro.* Memoria técnica, noviembre.

EPMAPS. (2018). *Diseño Definitivo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, Calderón.* Memoria técnica, junio, Fase I.

EPMAPS. (2018). *Estudio de Factibilidad, para la implantación de tratamiento de agua potable Calderón.* Proyecto Planta de Tratamiento de Agua Potable, Informe de perforaciones, octubre.

EPMAPS. (2018). *Informe de Sostenibilidad.* Quito: Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Sanaeamiento EPMAPS- AGUA DE QUITO, pp. 64.

EPMAPS. (2019). *Línea de Transmisión, tanques y redes Calderón.* Proyecto sin publicar, octubre, Fase I.

Estrella, M. (1986). *Estudio Geológico de la zona de deslizamientos de San Miguel del Común.* Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, pp. 158.

Ferrari, L., & Tibaldi, A. (1992). *Recent and Active Tectonics of the North-Eastern Ecuadorian Andes* . Geodimamics, Vol. 15, pp. 39-58.

Gutscher, M., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J. (1999). *Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision.* France: ELSEVIER, Earth and Planetary Sciense Letters. Vol 168, pp. 255-270.

Hoffstetter, R. (1952). *Les mammiféres pleistocenes de la République de l'Equateur.* Mémoires de la Société Géologique de France, No. 31, pp. 66.

Hughes, R., & Pilatasig, L. (2002). *Cretaceous and Tertiary terrene accretion in the Cordillera Occidental of the Ecuadorian Andes.* Tectonophysics, Vol. 345, pp. 29-48.

IGEPN. (2019). *Red de Observatorios Vulcanológicos (ROVIG) - Instituto Geofísico - EPN*. Obtenido de https://www.igepn.edu.ec/red-de-observatorios-vulcanologicos-rovig

IRAM. (1982). *Mecánica de suelos. Clasificación de suelos, con propósitos ingenieriles. (IRAM 10509).* Sistema de Clasificación de Suelos, pp. 13.

Kerr, A., Aspden, J., Tarney, J., & Pilatasig, L. (2002). *The nature and provenance of accreted oceanic terranes in western Ecuador: geochemical and tectonic constraints.* Journal of the Geological Society 159(5), pp. 577-594.

Krebs, R., & Walker, E. (1971). *Highway Materials.* McGraw-Hill, New York. NHBC. 2008. Building Near Trees. National House-Building Council, Milton Keynes. Chapter 4.2.

Kumagai, H., Yepes, H., & Caceres, V. (2007). Enhancing Volcano-Monitoring Capabilities in Ecuador. *EOS, 88*(23), pp. 245-252.

Lebenhagen, C. (1998). El proceso de recolección y tratamiento de los residuos sólidos municipales. *Revista: Scielo*(Núm. 83), pp. 72-83.

Litherland, M., Aspden, J., & Jemielita, R. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador.* Overseas Memoir 11, British Geological Survey, pp. 147.

Lonsdale, P. (2005). *Creation of the Cocos and Nazca plates by fission of the Farallon plate.* Tectonophysics 404, pp. 237-264.

López, M., & Echeverría, X. (2013). *Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a nivel nacional, escala 1:25 000.* Memoria Geotécnica, Clima e Hidrología. DMQ.

Minard, H., & Mothes, P. (2007). *The rhyolitic–andesitic eruptive history of Cotopaxi volcano, Ecuador.* Bull Vulcanol, Springer-Verlag, pp. 28. doi:10.1007/s00445-007-0161-2

Myoelinska, E. (2003). Classification of organic soils for engineering geology. *Geological Quarterly*, pp. 39-42.

NHBC. (2008). *Building Near Trees.* National House-Building Council, Milton Keynes, Chapter 4.2.

Nuñez, F., & Vasconez, F. (1993). *Estudio Geológico-Geotécnico de los Movimientos de Terreno de las Áreas del Río Pisque y Bellavista-Calderón.* Quito: Escuela Politécnica Nacional, pp. 224.

Pacheco, D. (2013). *Estudio Geológico de la Formaciones Cuaternarias en la zona San Antonio de Pichincha - Pomasqui.* Quito: Escuela Politécnica Nacional, Tesis de Grado, pp. 179.

Pardo Casas, F., & Molnar, P. (1987). Relative motion of the Nazca (Farallón) and South American Plates since late Cretaceous time. *Tectonics, 6*(3), pp. 233-248.

PDYOT. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Gobierno Autónomo Descentralizado Calderón 2015-2020. *GAD, Calderón., Gobierno de Pichincha*, pp. 243.

Pedoja, K., Dumont, J., Lamothe, M., Ortlieb, L., Collot, J.-Y., Ghaleb, B., . . . Labrousse , B. (2006). *Plio-Quaternary uplift of the Manta Peninsula and La Planta Island and the subducction of the Carnegie Ridge central coast of Ecuador.* Journal of South America Earth Sciense 22, pp. 1-22.

Pennington, W. (1981). *Subduction of the Eastern Panama Basin and Seismotectonics of Northwestern South America.* Wisconsin-Madis: JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol. 86, No B11, pp. 10753-10770.

Reyes, P. (2013). *Évolution du Relief le long des Marges Actives: Étude de la Déformation Plio-Quaternaire de la Cordillére Cotiére D`Équateur.* PhD Thesis, Université de Nice Sophia Antipolis, pp. 331.

Samaniego, P., Hervé, M., Claude, R., & Monzier, M. (2002). *Transition from calc-alkalic to adakitic magmatism at Cayambe volcano, Ecuador: Insights into slab melts and mantle wedge interactions.* Geological Society of America, Vol. 30, No. 11, pp. 967-970.

Samaniego, P., Monzier, M., & Beate, B. (2006). *Guagua Pichincha Volcano Holocene and Late Pleistocene activity.* Quito: Four Conference Cities on Volcanoes IAVCEI, pp. 15.

Samtani, N., & Nowatzki, E. (2006). *Soils and Foundations Reference Manual* (Vol. 1). Washington, D.C., Unided States : National Highway Institute. pp. 462.

Sauer, W. (1943). *Memoria explicativa del Mapa Geológico de Quito.* Anales de la Universidad Central del Ecuador, Vol. 71, pp. 319-323.

Schaetzl, R., & Anderson, S. (2005). *Soils Genesis and Geomorphology.* New York: Cambridge University Press, pp. 833.

Seed, H., Woodward, R., & Jr and Lundgren , R. (1962). *Prediction of Swelling potential for compacted Clays.* Journal ASCE, Soils Mechanics and foundation Div. ASCE, Vol. 88, pp. 53-87.

Sevilla, J. (1989). *Contribution a la connaissance geomecanique de la Cangahua en Equateur.* Univerité Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences Apliquees.

Simbaña, B. (2015). *Estudio Geológico y Geomecánico a Escala 1:10.000 del Extremo Norte de la Cubeta de Quito Entre los Sectores de El Batán hasta Vindobona.* Quito: Universidad Central del Ecuador, pp. 158.

SNGRE. (2016). *Inspección en San Miguel del Común – Calderón por deslizamiento de tierra.* Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, Boletín de Prensa.

Soulas, J., Egüez, A., Yepez, H., & Pérez, H. (1991). *Tectónica activa y riesgo sísmico en los Ándes Ecuatorianos y el extremo sur de Colombia.* Quito: Boletín Geológico Ecuatoriano, Vol. 2, No 1, pp. 3-11.

Spikings, R., Winkler, W., Seward, D., & Handler, R. (2001). *Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadiorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust.* Earth and Planetary Sciense Letters 186, pp. 57-73.

Spikings , R., Winkler, W., Hughes, R., & Handler, R. (2005). *Thermochronology of allochthonous terranes in Ecuador: Unravelling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes.* Tectonophysics 399 (1-4), pp. 195-220.

Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.* Bucaramanga: Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos., Escuela de Ingeniería Civil., Universidad de Santander., pp. 541.

Terrill, R. (2013). *A FAQ on Vegetation in Remote Sensing.* Caltech: División de Ciencias Geológicas y Planetarias, California Institute of Technology, Version 1.0, pp. 18.

Terzaghi, K., & Peck, R. (1948). *Soil Mechanics in Engineering Practice.* John Wiley, New York.

Terzaghi, K., Peck, R., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (Third ed.). New York: John Wiley and Sons, Inc., pp. 534.

Thomas, G. (2012). Soil Properties and the Unified Soil Classification System (USCS). *PDHonline Course C272*, pp. 1-60.

Trenkamp, R., Kellogg, J., Freymueller, J., & Mora, H. (2002). *Wide plate margin deformation, southern Central America and nerthwestern South America .* CASA GPS observations. Journal of South America Earth Sciense 15, pp. 157-171.

Tucci, & C.E.M. (2009). *Plan de Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba.* Quito: BID Banco Interamericano de Desarrollo Económico y FONAG Fondo para la Protección del Agua. 147 pp.

UNISDR. (2009). *Terminología Sobre Reducción de Riesgo de Desastres.* Cede Panamá: ISDR., Estrategia Internacional para la Reducción del Riesgo., Naciones Unidas., 43 pp.

USGS. (1999). *Climatic Conditions of Ecuadorean Glacierization.* U.S. Geological Survey, pubs.usgs.gov/prof/p1386i/ecuador/conditions.html.

USGS. (2019). *NEIC-USGS earthquake catalog 1963-2019.* United States Geological Survey, National Earthquake Information Center. Obtenido de http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/

Vallejo, C. (2007). *Evolution of the Western Cordillera in the Andes Of Ecuador, Late Cretaceous-Paleogene.* ETH, Zürich, PhD Thesis, pp. 215. doi:https://doi.org/10.3929/ethz-a-005416411

Vallejo, C., Winkler, w., Spikings, R., Luzieux, L., Heller, F., & Bussy, F. (2009). *Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador.* Geological Society of America, Vol. 204, pp. 197-216. doi:https://doi.org/10.1130/MEM204

Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño , L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica.* Madrid: Prentice Hall, pp. 744.

Vera, R., & López, R. (1986). Tipología de la Cangahua. *Terra., Departamento de Geología., Escuela Politécnica Nacional., Quito., Vol. 10*, pp. 113-120.

Villagómez, D., Egüez, A., Winkler, W., & Spiking, R. (2002). *Quaternary sedimentary and tectonic evolution of the Central Inter-Andean Valley in Ecuador.* France: Extended Abstracts, International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG), pp. 689–692.

Villagómez, D. (2003). *Evolución Geológica Plio-Cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador (Zona de Quito-Guayllabamba-San Antonio).* Quito: Escuela Politécnica Nacional, pp148.

Viteri, F., Añazco, J., & Guerrero, N. (2014). *Caracterización Geológica para Obras Civiles en Depósitos Volcanoclásticos Cuaternarios en la Cuenca de Guayllabamba, Sector Oyacoto.* Quito: Universidasd Central del Ecuador., Pyroclastic Flow, Journal of Geology., ISSNo 0719-0565, Vol. 4., No. 1., pp. 8 .

Wada, K. (1980). *Mineralogical characteristics of Andosols.* Soils with variable charge. N. Z. Soc. Soil Sci. Bureau, Dept. Scient. Ind. Res. Lower, Hutt, New Zealand, pp. 87-107.

Winkler, W., Spikings, R., Villagómez, D., Egüez, A., Abegglen, P., & Tobler, S. (2002). *The Chota Basin and its significance for the formation of the Inter-Andean Valley in Ecuador.* France: Fifth International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG), pp. 705–708.

Winkler, W., Villagómez, D., Spikings, R., Abegglen, P., Tobler, S., & Egüez, A. (2005). *The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador.* ELSEVIER, Journal of South American Earth Sciences 19, pp. 5-19. doi:10.1016/j.jsames.2004.06.006

Yepes, H., Laurence, A., & Beauval, A. (2016). A new view for the geodynamics of Ecuador, implication in seismogenic source definition and seismic hazard. *American Geophysical Union*, pp. 1249-1279. doi:10.1002/2015TC003941.

Yoshida, N. (2015). *Seismic Ground Response Analysis.* Springer Science, Business Media Dordrecht, Vol. 36, pp.370. doi:https://doi.org/10.1007/978-94-017-9460-2

ANEXOS

Anexo 1: Tabla de ensayos SPT y Calicatas de los siete proyectos de la EPMAPS.

					CORDENADAS (UTM: WGS 84		TIPO		# ENSAYOS		
PROYECTO	SONDEO	EPMAPS	EPMAPS(NAM)	PROF (m)	ESTE	NORTE	PERFORACIÓN /SPT	CALICATA	SUCS/LIM ATTERB	TRIAXIAL UU	PROCTOR EST/MOD
[1] ENERO 2006	S1	1.P1	M-2	18	788169	9990840	X		12	0	0
	S2	1.P.1.1	P.1.1	7	784730	9991682	X		2	0	0
	S3	1.P.3.1	P.3.1	4	787960	9991715	X		2	0	0
	S4	1.P.3.2	P.3.2	4	788450	9991735	X		2	0	0
	S5	1.P.4.1	P.4.1	13	788155	9993008	X		4	0	0
	S6	1.P.4.2	P.4.2	14	788164	9993143	X		2	0	0
	S7	1.P.4.2.1	P.4.2.1	12	788236	9993183	X		3	0	0
	S8	1.P.4.3	P.4.3	13	788194	9993157	X		4	0	0
	S9	1.P.4.4	P.4.4	12	788270	9993209	X		2	0	0
	S10	1.P.4.5	P.4.5	14	788289	9993247	X		2	0	0
	S11	1.T1	M-51-A	4,9	784243	9991973	X		1	0	0
	S12	1.T2	T-2-3	6,9	788336	9993258	X		4	1	0
	S13	1.T3	T-3-5	13,2	783630	9993734	X		5	0	0
	S14	1.C1	C11	4,5	785191	9991405		X	1	0	0
	S15	1.C2	C-2-B	4,8	787055	9992954		X	4	0	0
	S16	1.C3	C.3.2	6	787148	9991303		X	3	1	0
	S17	1.C4	C-4-4	5,8	786804	9992159		X	4	1	0
	S18	1.C5	C-5-1	4	787965	9993038		X	4	1	0
	S19	1.C6	C-6-3	4,5	783735	9992184		X	3	0	0
[2] SEPTIEMBRE 2011	S20	7.P1	P1	6	789506	9988748	X		5	1	1
	S21	7.P2	P2	6	790265	9988386	X		7	1	1
	S22	7.P3	P3	6	791303	9987272	X		6	1	1
	S23	7.P4	P4	6	789953	9987499	X		6	1	1
	S24	7.C1	C1	2	789001	9988823		X	2	0	0
	S25	7.C2	C2	2	789359	9988760		X	2	0	0
	S26	7.C3	C3	2	789664	9988390		X	2	0	0
	S27	7.C4	C4	2	790125	9988185		X	2	0	0
	S28	7.C5	C5	2	789964	9988084		X	2	0	0
	S29	7.C6	C6	2	790283	9987991		X	2	0	0
	S30	7.C7	C7	2	790160	9987957		X	2	0	0
	S31	7.C8	C8	2	790142	9987734		X	2	0	0
	S32	7.C9	C9	2	790001	9987516		X	2	0	0
	S33	7.C10	C10	2	789548	9987905		X	2	0	0
[3] FEBRERO 2012	S34	6.P1	P1(0.00-1.00)	5	785447	9994578	X		4	0	0
	S35	6.P2	P2(2.00-5.00)	5	785414	9994627	X		2	0	0
	S36	6.C1	C1(0.00-1.50)	1,5	785683	9993807		X	1	1	1
	S37	6.C2	C2(0.00-1.50)	1,5	785649	9993495		X	1	1	1
	S38	6.C3	C3(0.00-1.50)	1,5	785973	9993517		X	1	1	1
	S39	6.C4	C4(0.00-1.50)	1,5	786034	9994054		X	1	1	1
	S40	6.C5	C5(0.00-1.50)	1,5	785911	9994696		X	1	1	1
	S41	6.C6	C6(0.00-1.50)	1,5	785986	9995011		X	1	1	1
[4] NOV 2013	S42	3.P1	P1-5.0	5	788177	9988359	X		5	0	0
	S43	3.P2	P2-1.0	5	787061	9987237	X		5	0	0
	S44	3.P3	P3-5.0	5	787663	9987026	X		5	0	0
	S45	3.P4	P4-1.0	5	788479	9986232	X		5	0	0
	S46	3.C1	C1 M-1	1,5	788169	9988388		X	0	1	0
	S47	3.C2	C2 M-2	1,5	786904	9987242		X	0	1	0
[5] JUNIO 2018	S48	4.P1	P1 M-3	3,65	786639	9996085	X		2	0	0
	S49	4.P2	P2 M-1	4,65	786640	9995986	X		4	0	0
	S50	4.P3	P3 M-4	4,05	786636	9995893	X		3	0	0
	S51	4.P4	P4 M-1	4,2	786633	9995763	X		3	0	0
	S52	4.C1	C1 M-3	2	786640	9995943		X	3	1	0
	S53	4.C2	C2 M-1	2	786640	9995829		X	2	1	0
	S54	4.C3	C3 M-3	2,6	786633	9995649		X	3	1	0

					CORDENADAS (UTM: WGS 84)		TIPO		# ENSAYOS		
PROYECTO	SONDEO	EPMAPS	EPMAPS(NAM)	PROF (m)	ESTE	NORTE	PERFORACIÓN /SPT	CALICATA	SUCS/LIM ATTERB	TRIAXIAL UU	PROCTOR EST/MOD
[6] OCTUBRE 2018	S55	2.P1	P1	10	786679	9996055	X		1	1	0
	S56	2.P2	P2	12	786603	9996058	X		2	0	0
	S57	2.P3	P3	13	786625	9995871	X		2	0	0
	S58	2.P4	P4	14	786663	9995872	X		2	0	0
	S59	2.P5	P5	8	786630	9995813	X		2	1	0
	S60	2.P6	P6	10	786656	9995783	X		2	1	0
	S61	2.P7	P7	10	786639	9995748	X		2	0	0
	S62	2.P8	P8	8	786561	9995667	X		1	0	0
	S63	2.SPT-1	SPT-1	3,15	786654	9996116	X		1	0	0
	S64	2.SPT-2	SPT-2	4	786622	9995933	X		1	0	0
	S65	2.SPT-3	SPT-3	4	786699	9995981	X		1	0	0
	S66	2.SPT-4	SPT-4	4	786665	9995707	X		1	0	0
	S67	2.SPT-5	SPT-5	3,75	786693	9995839	X		1	0	0
	S68	2.C1	C1M2	3	786638	9996112		X	1	0	1
	S69	2.C2	C2M1	3	786688	9995924		X	1	1	0
	S70	2.C4	C4M2	3	786656	9995703		X	1	0	1
	S71	2.C5	C5M1	3	786576	9996000		X	1	0	1
	S72	2.C6	C6M1	3	786576	9995856		X	1	0	0
	S73	2.C7	C7M2	3	786618	9994870		X	1	0	1
	S74	2.C8	C8M2	3	786732	9994509		X	1	0	1
[7] OCTUBRE 2019	S75	5.RSPT-1	RSPTS-1	4	784196	9988866	X		2	0	0
	S76	5.RSPT-2	RSPTS-2	4	785888	9991387	X		2	0	0
	S77	5.RSPT-3	RSPTS-3	3	784485	9989286	X		2	0	0
	S78	5.RSPT-4	RSPTS-4	4	786944	9989600	X		2	0	0
	S79	5.RSPT-5	RSPTS-5	4	788623	9988904	X		2	0	0
	S80	5.RSPT-6	RSPTS-6	4	784855	9990923	X		2	0	0
	S81	5.RSPT-7	RSPTS-7	3	788093	9989828	X		2	0	0
	S82	5.RSPT-8	RSPTS-8	4	785547	9988679	X		2	0	0
	S83	5.RSPT-9	RSPTS-9	3	785629	9987677	X		2	0	0
	S84	5.RSPT-11	RSPTS-11	6	784266	9991913	X		3	0	0
	S85	5.RSPTT-1	TANQUE BRISAS DEL NORTE	5	784669	9990932	X		3	0	0
	S86	5.RSPTT-1	TANQUE CUATRO ESQUINAS	5	785301	9989327	X		3	0	0
	S87	5.RSPTT-1	TANQUE MARIANA DE JESUS 2	6	785710	9991229	X		3	0	0
	S88	5.RSPTT-1	TANQUE ARENAL NUEVO	6	782718	9987946	X		3	0	0
	S89	5.RSPTT-1	TANQUE LLANO GRANDE	6	785271	9987994	X		3	0	0
	S90	5.RSPTT-1	TANQUE MARIANA DE JESUS 1	6	785682	9991397	X		3	0	0
	S91	5.RSPTT-1	TANQUE SAN JOSE DE MORAN 2	7	783738	9990702	X		3	0	0
OTROS	S92	8.SUCS P2	1	5	783746	9991813			3	0	0
	S93	8.SUCS P3	6	5	783881	9992511			3	0	0
	S94	8.SUCS P4	7	6	784106	9991899			1	0	0
	S95	8.SUCS P5	8	8	783892	9990622			1	0	0
TOTAL	**95**						**57**	**34**	**172**	**19**	**15**

Anexo 2: Propiedades físicas de los suelos.

Sondeo	Tipo	Prof. (m)	Cohesión (Kg/cm2)	Áng fricción int. (grad)	% cont. Humed.	Peso unit seco (kN/m3)	Peso unit humed (kN/m3)	Peso unit sat (kN/m3)	Tipo de ensayo
S16	CALICATA	5,4	0,9	35	4,91	14,889	15,622		UU
S16	CALICATA	1,6	0,35	32	5,76	12,443	13,436		UU
S17	CALICATA	3,2	0,31	25	8,21	12,825	13,88		UU
S18	PERFORACIÓN	2	0,14	20	10,5	16,211	17,939		UU
S12	PERFORACIÓN	2,5	0,1	29	17,5	16,82	19,793		UU
S20	PERFORACIÓN	2	0,14	20	12,5	16,207	18,167		UU
S21	PERFORACIÓN	1,5	0,13	24	12,5	16,207	18,167		UU
S22	CALICATA	1,5	0,1	18	12,2	17,506	19,812		UU
S23	CALICATA	1,5	0,2	14	16	14,401	17,013		UU
S36	CALICATA	1,5	0,09	19	12	16,301	17,65		UU
S37	CALICATA	1,5	0,09	19	14,47	13,805	15,797		UU
S38	CALICATA	1,5	0,13	16	13	14,026	15,944		UU
S39	CALICATA	1,5	0,14	15	17	14,161	16,839		UU
S40	CALICATA	1,5	1,85	38	17,03	13,854	16,205		UU
S41	CALICATA	1,5	0,55	37	13,18	13,465	15,242		UU
S46	CALICATA	2	1,6	35	4,76	14,402	15,088		UU
S47	PERFORACIÓN	2	0,42	37	9,36	14,014	15,327		UU
S52	CALICATA	0,8	0,16	29	11,76	14,318	15,755		UU
S53	CALICATA	0,9	0,17	31	6,67	13,955	14,733		UU
S54	CALICATA	1	0,18	32	9,75	14,36	15,605		UU
S55	PERFORACIÓN	6,4	1,12	36	20,4	13,462	16,16		UU
S59	PERFORACIÓN	5,5	0,8	30	23,9	13,606	16,865		UU
S60	PERFORACIÓN	7,2	1,32	29	20,19	14,226	17,101		UU
S69	CALICATA	3	0,11	36	5,39	14,047	14,798		UU

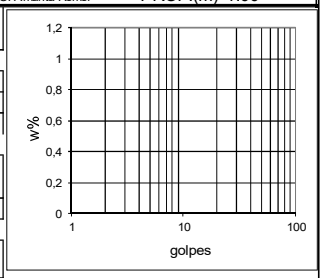
Anexo 3: Ensayos de clasificación.

ENSAYOS DE CLASIFICACION

NORMA ASTM D 2487 - D4318

PROYECTO: POZO No. **S92** Abscisa:
OBRA LINEA MUESTRA: 1
FECHA jul-2019 REALIZO: Amanta Romel PROF.(m) 1.00

No. DE GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPS	w %
1.- CONT. DE AGUA				
	155,05	154,46	78,44	0,78
			w% =	0,78
2.- LIMITE LIQUIDO				
			LL =	NP
3.- LIMITE PLASTICO				
			LP =	NP

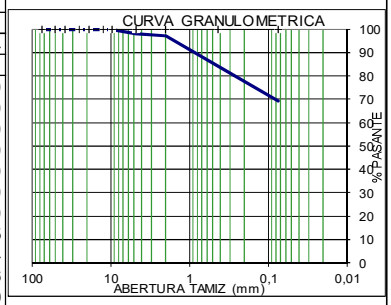


4.- GRANULOMETRIA

PESO INIC. 661,5 (H/S) H

PESO INICIAL DE CALCULO: 656,4

TAMIZ	PESO RET.	% RET	% PASA
3"		0,00	100,00
2"		0,00	100,00
1.5"		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	12,13	1,85	98,15
No. 10	17,49	2,66	97,34
No. 40	103,97	15,84	84,16
No.200	202,80	30,90	69,10

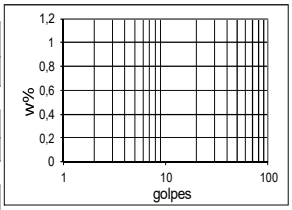


5.- CLASIFICACION.-			
GRAVA	2	LL =	NP
ARENA	29	LP =	NP
FINOS	69	IP =	NP
		w% =	NP

SUCS :	ML
AASHTO:	A-4
IG(86):	0
IG(45):	5

PROYECTO: LINEA DE TRANSMISION, TANQUES Y REDES CALDERO POZO No. **S92** Abscisa:
OBRA LINEA MUESTRA: 2
FECHA jul-2019 REALIZO: Amanta Romel PROF.(m) 3,10

No. DE GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPS	w %
1.- CONT. DE AGUA				
	160,19	160,08	80,59	0,14
			w% =	0,14
2.- LIMITE LIQUIDO				
			LL =	NP
3.- LIMITE PLASTICO				
			LP =	NP

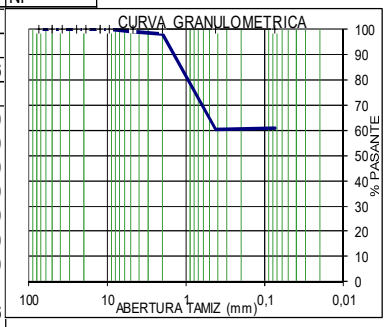


4.- GRANULOMETRIA

PESO INIC. 498,3 (H/S) H

PESO INICIAL DE CALCULO: 497,6

TAMIZ	PESO RET.	% RET	% PASA
3"		0,00	100,00
2"		0,00	100,00
1.5"		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	3,44	0,69	99,31
No. 10	8,17	1,64	98,36
No. 40	195,76	39,34	60,66
No.200	193,97	38,98	61,02

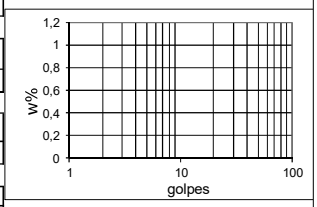


5.- CLASIFICACION.-			
GRAVA	1	LL =	NP
ARENA	38	LP =	NP
FINOS	61	IP =	NP
		w% =	0,1

SUCS :	ML
AASHTO:	A-4
IG(86):	0
IG(45):	5

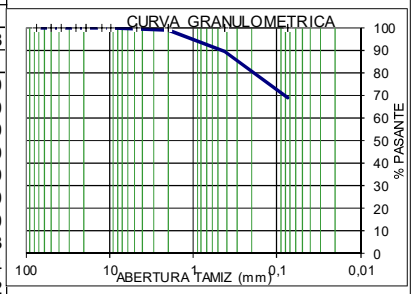
PROYECTO: LINEA DE TRANSMISION, TANQUES Y REDES CALD POZO No. S92 Abscisa:
OBRA : LINEA MUESTRA: 3
FECHA : jul-2019 REALIZO: Amanta Romel PROF.(m) 4,20

No. DE GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPS	w %
1.- CONT. DE AGUA				
	151,02	150,03	81,36	1,44
			w% =	1,44
2.- LIMITE LIQUIDO				
				NP
3.- LIMITE PLASTICO				
			LP =	NP



4.- GRANULOMETRIA
PESO INIC. 501,9 (H/S) H
PESO INICIAL DE CALCULO: 494,8

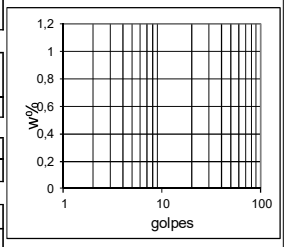
TAMIZ	PESO RET.	% RET	% PASA
3"		0,00	100,00
2"		0,00	100,00
1.5"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No. 4	2,32	0,47	99,53
No. 10	4,76	0,96	99,04
No. 40	53,33	10,78	89,22
No.200	153,19	30,96	69,04



5.- CLASIFICACION.-					
GRAVA	0	LL =	NP	SUCS :	ML
ARENA	31	LP =	NP	AASHTO:	A-4
FINOS	69	IP =	NP	IG(86):	0
		w% =	1,4	IG(45):	5

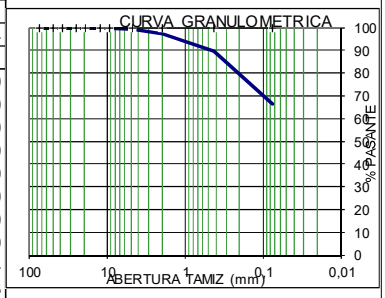
PROYECTO: LINEA DE TRANSMISION, TANQUES Y REDES CALDERC POZO No. S93 Abscisa:
OBRA : LINEA MUESTRA: 4
FECHA : jul-2019 REALIZO: Amanta Romel PROF.(m) 1,50

No. DE GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPS	w %
1.- CONT. DE AGUA				
	144,83	143,61	80,53	1,93
	144,83	143,61	80,53	1,93
			w% =	1,93
2.- LIMITE LIQUIDO				
			LL =	NP
3.- LIMITE PLASTICO				
			LP =	NP



4.- GRANULOMETRIA
PESO INIC. 584,5 (H/S) H
PESO INICIAL DE CALCULO: 573,4

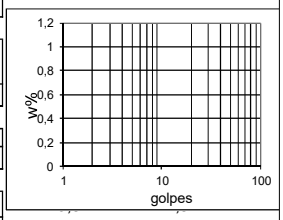
TAMIZ	PESO RET.	% RET	% PASA
3"		0,00	100,00
2"		0,00	100,00
1.5"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No. 4	3,99	0,70	99,30
No. 10	14,68	2,56	97,44
No. 40	60,64	10,57	89,43
No.200	192,40	33,55	66,45



5.- CLASIFICACION.-					
GRAVA	1	LL =	NP	SUCS :	ML
ARENA	33	LP =	NP	AASHTO:	A-4
FINOS	66	IP =	NP	IG(86):	0
		w% =	1,9	IG(45):	5

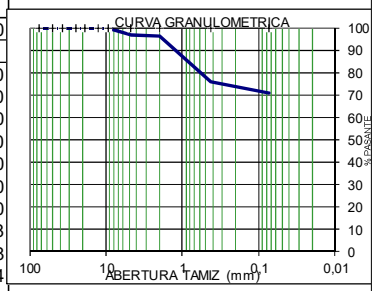
PROYECTO: LINEA DE TRANSMISION, TANQUES Y REDES CALDERON POZO No. P3-5 Abscisa:
OBRA : LINEA MUESTRA: 5
FECHA : jul-2019 REALIZO: Amanta Romel PROF.(m) 3,40

No. DE GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPS	w %
1.- CONT. DE AGUA				
	156,75	155,14	81,19	2,18
	156,75	155,14	81,19	2,18
			w% =	2,18
2.- LIMITE LIQUIDO				
			LL =	NP
3.- LIMITE PLASTICO				
			LP =	NP



4.- GRANULOMETRIA
PESO INIC. 657,0 (H/S) H
PESO INICIAL DE CALCULO: 643,0

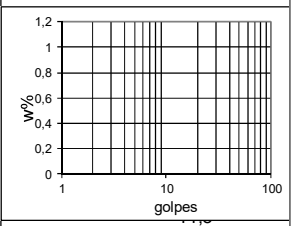
TAMIZ	PESO RET.	% RET	% PASA
3"		0,00	100,00
2"		0,00	100,00
1.5"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No. 4	20,69	3,22	96,78
No. 10	24,55	3,82	96,18
No. 40	155,98	24,26	75,74
No.200	187,42	29,15	70,85



5.- CLASIFICACION.-					
GRAVA	3	LL =	NP	SUCS :	ML
ARENA	26	LP =	NP	AASHTO:	A-4
FINOS	71	IP =	NP	IG(86):	0
		w% =	NP	IG(45):	5

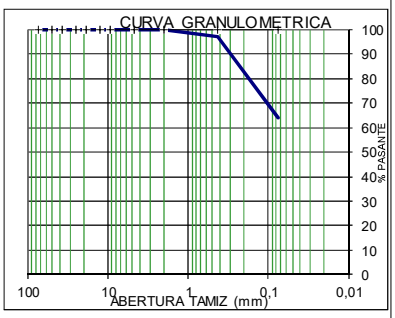
PROYECTO: LINEA DE TRANSMISION, TANQUES Y REDES CALDE POZO No. S93 Abscisa:
OBRA : LINEA MUESTRA: 6
FECHA : jul-2019 REALIZO: Amanta Romel PROF.(m) 4,90

No. DE GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPS	w %
1.- CONT. DE AGUA				
	141,89	139,65	79,80	3,74
	141,89	139,65	79,80	3,74
			w% =	3,74
2.- LIMITE LIQUIDO				
			LL =	NP
3.- LIMITE PLASTICO				
			LP =	NP



4.- GRANULOMETRIA
PESO INIC. 597,3 (H/S) H
PESO INICIAL DE CALCULO: 575,8

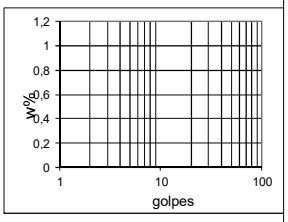
TAMIZ	PESO RET.	% RET	% PASA
3"		0,00	100,00
2"		0,00	100,00
1.5"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No. 4	0,00	0,00	100,00
No. 10	0,50	0,09	99,91
No. 40	15,70	2,73	97,27
No.200	206,87	35,93	64,07



5.- CLASIFICACION.-					
GRAVA	0	LL =	NP	SUCS :	ML
ARENA	36	LP =	NP	AASHTO:	A-4
FINOS	64	IP =	NP	IG(86):	0
		w% =	3,7	IG(45):	5

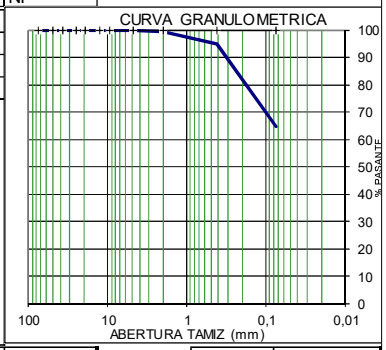
PROYECTO: LINEA DE TRANSMISION, TANQUES Y REDES CALDERO POZO No. S94 Abscisa:
OBRA : LINEA MUESTRA: 7
FECHA : jul-2019 REALIZO: Amanta Romel PROF.(m) 1,00

No. DE GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPS	w %
1.- CONT. DE AGUA				
	163,38	159,99	78,63	4,17
	163,38	159,99	78,63	4,17
			w% =	4,17
2.- LIMITE LIQUIDO				
			LL =	NP
3.- LIMITE PLASTICO				
			LP =	NP



4.- GRANULOMETRIA
PESO INIC. 622,9 (H/S) H
PESO INICIAL DE CALCULO: 598,0

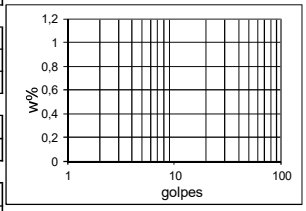
TAMIZ	PESO RET.	% RET	% PASA
3"		0,00	100,00
2"		0,00	100,00
1.5"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No. 4	0,01	0,00	100,00
No. 10	4,66	0,78	99,22
No. 40	29,55	4,94	95,06
No.200	211,17	35,31	64,69



5.- CLASIFICACION.-					
		LL =	NP	SUCS :	ML
GRAVA	0	LP =	NP	AASHTO:	A-4
ARENA	35	IP =	NP	IG(86):	0
FINOS	65	w% =	4,2	IG(45):	5

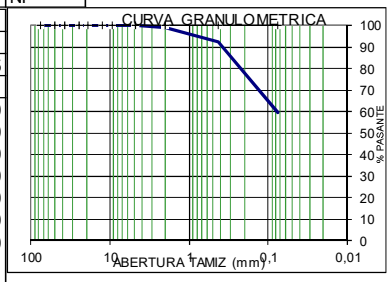
PROYECTO: LINEA DE TRANSMISION, TANQUES Y REDES CALDERO POZO No. **S95** Abscisa:
OBRA : LINEA MUESTRA: 8
FECHA : jul-2019 Amanta Romel PROF.(m) DE UNO A 8

No. DE GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPS	w %
1.- CONT. DE AGUA				
	151,44	150,13	80,26	1,87
	151,44	150,13	80,26	1,87
			w% =	1,87
2.- LIMITE LIQUIDO				
			LL =	NP
3.- LIMITE PLASTICO				
			LP =	NP



4.- GRANULOMETRIA
PESO INIC. 591,3 (H/S) H
PESO INICIAL DE CALCULO: 580,5

TAMIZ	PESO RET.	% RET	% PASA
3"		0,00	100,00
2"		0,00	100,00
1.5"		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	0,51	0,09	99,91
No. 10	5,17	0,89	99,11
No. 40	45,00	7,75	92,25
No.200	235,47	40,57	59,43



5.- CLASIFICACION.-					
		LL =	NP	SUCS :	ML
GRAVA	0	LP =	NP	AASHTO:	A-4
ARENA	41	IP =	NP	IG(86):	0
FINOS	59	w% =	1,9	IG(45):	5

Anexo 4: Correlación de las propiedades físicas.

PROYECTO	SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	LÍMITES ATTERBERG						SUCS	POTENCIAL INCHAMIENTO			
			W (%)	LL	LP	IP	IL	PLASTICIDAD		A	B	C	D
[1] ENERO 2006	S1	1,80	16,08	25,74	21,29	4,5	-1,170786517	Bajo	ML-CL	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
		2,80	13,34	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,80	13,87	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		4,80	16,6	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		5,80	16,41	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		6,80	12,51	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		7,80	14,34	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		9,80	15,28	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		11,80	14,92	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		13,80	13,85	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		15,80	15,46	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		17,80	19,73	21,02	17,97	3	0,57704918	Muy bajo	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	S2	2,80	6,34	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		4,80	9,26	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S3	1,80	10,52	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,80	19,42	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S4	1,80	3,4	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,80	3,48	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S5	1,80	4,92	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,80	15,14	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		6,80	9,18	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		9,80	13,49	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S6	10,80	17,3	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		12,80	17,71	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S7	4,80	16,65	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		7,80	10,07	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		9,80	10,52	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S8	7,80	13,18	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		9,80	17,71	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		10,80	9,2	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		11,80	9,94	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S9	6,80	11,49	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		10,80	9,16	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S10	8,80	12,95	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		11,80	7,5	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S11	2,4	8,08	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S12	2,20	8,99	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,20	3,9	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,80	5,13	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		6,40	7,91	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S13	7,60	4,55	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		8,60	6,92	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		9,20	3,07	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		10,60	7,29	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		12,80	8,11	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S14	1,00	9,54	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S15	1,80	11,33	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,20	28,89	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,80	1,38	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,20	16,24	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S16	1,40	8,76	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,20	5,55	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,40	8,88	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S17	0,40	4,09	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,60	4,42	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	3,77	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,20	1,7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S18	0,20	4,29	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		0,60	4,61	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,60	6,75	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,20	7,24	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S19	0,40	2,39	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,60	2,87	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,40	3,47	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo

Potencial de hinchamiento

A: Basado en el IP (Seed, 1962).

B: Basado en el IP (Krebs & Walker, 1971).

C: Basado en el IP (NHBC, 2008).

D: Basado en el LL (Dakshanamurty & Raman, 1973).

PROYECTO	SONDEO	DFUNDIDAD	LÍMITES ATTERBERG						SUCS	POTENCIAL INCHAMIENTO			
			W (%)	LL	LP	IP	IL	PLASTICIDAD		A	B	C	D
[2] SEPTIEMBRE 2011	S20	1,00	5,41	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	7,62	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,00	5,61	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		4,00	6	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		5,00	7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		6,00	8	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S21	1,00	5,25	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	5,25	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,00	4,23	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		4,00	4,23	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		5,00	6,67	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		6,00	6,67	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S22	1,00	7,57	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	7,95	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,00	7,95	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		4,00	6,96	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		5,00	6,96	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		6,00	6,96	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S23	1,00	3,57	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	5,45	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,00	3,57	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		4,00	5,45	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		5,00	7,4	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		6,00	7,4	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S24	1,00	7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S25	1,00	8	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	8	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S26	1,00	9	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	9	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S27	1,00	6	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	6	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S28	1,00	6	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S29	1,00	7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S30	1,00	10	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	10	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S31	1,00	9	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	9	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S32	1,00	8	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	8	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S33	1,00	7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
[3] FEBRERO 2012	S34	1,00	6,15	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	7,33	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,00	11,12	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		4,00	12,55	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S35	2,00	3,29	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,00	5,39	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S36	1,50	11,77	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S37	1,50	8,84	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S38	1,50	5,5	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S39	1,50	3,33	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S40	1,50	1,87	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S41	1,50	15,81	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
[4] NOV 2013	S42	1,00	16,9	25,3	23,4	1,9	-3,42105263	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
		2,00	16,2	29,2	27,9	1,3	-9	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
		3,00	16,2	27,1	22,8	4,3	-1,53488372	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
		4,00	8,6	21,8	20,6	1,3	-10	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
		5,00	8,8	30,5	28,1	2,5	-8,04166667	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	S43	1,00	11,5	41,1	34,7	6,3	-3,625	Bajo	SP-SM	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
		2,00	12	35,5	34,2	1,3	-17,0769231	Muy bajo	SP-SM	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
		3,00	23,1	40,3	38,1	2,3	-6,81818182	Muy bajo	SP-SM	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
		4,00	27,9	41	36	5	-1,62	Muy bajo	SP-SM	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
		5,00	17,8	35,1	29,3	5,9	-1,98275862	Bajo	SP-SM	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
	S44	1,00	29	50,7	48,9	1,8	-11,0555556	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
		2,00	32,3	45,6	43,7	1,9	-6	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
		3,00	29,7	47	46,6	0,4	-42,25	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
		4,00	25,3	40,8	39,8	1	-14,5	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
		5,00	24,6	29,3	27,6	1,7	-1,76470588	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	S45	1,00	29	51	48,4	2,7	-7,46153846	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
		2,00	32,3	48,2	44,4	3,8	-3,18421053	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
		3,00	29,7	47,4	46,3	1,1	-15,0909091	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
		4,00	25,3	41	39,9	1,2	-13,2727273	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
		5,00	24,1	31,4	30,2	1,2	-5,08333333	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

PROYECTO	SONDEO	DFUNDIDAD	LÍMITES ATTERBERG						SUCS	POTENCIAL INCHAMIENTO			
			W (%)	LL	LP	IP	IL	PLASTICIDAD		A	B	C	D
[5] JUNIO 2018	S48	0,50	9,5	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,50	2,9	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S49	0,50	8,1	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,50	8,7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,50	0,8	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SP-SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		4,50	0,3	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SP-SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S50	1,50	8,7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,50	3,4	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,50	7,4	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S51	0,40	8,9	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,50	3,5	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SP-SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,50	2,3	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S52	0,40	14,7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		0,80	10,7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,70	7,2	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S53	0,40	4,8	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		0,90	6,2	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S54	0,40	6	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,00	9,5	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,00	4,8	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
[6] OCTUBRE 2018	S55	4,70	2	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		7,10	12,5	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S56	3,70	2,6	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		4,70	2,7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S57	3,70	7,9	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		10,45	12,6	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S58	2,75	5,2	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		12,75	8,4	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S59	4,10	7,5	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		7,90	12	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S60	3,75	4,1	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		9,85	12,3	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S61	2,75	6,7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		8,50	4,7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S62	6,15	12,2	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S63	2,75	1,4	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S64						NULO		SM				
		3,75	3,8	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S65	2,75	4	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S66	3,75	0,4	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S67	1,75	2,1	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S68	2,20	0,1	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	GP-GM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S69	3,00	4,9	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S70	2,20	4,1	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S71	3,00	4,4	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S72	2,00	10,3	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S73	3,00	11	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S74	3,00	13,1	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo

PROYECTO	SONDEO	PROFUNDIDAD	LÍMITES ATTERBERG						SUCS	POTENCIAL INCHAMIENTO			
			W (%)	LL	LP	IP	IL	PLASTICIDAD		A	B	C	D
[7] OCTUBRE 2019	S75	0,55					NULO	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,55	13,4	17	15	2	-0,8	Muy bajo	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,55	14,5	20	17	3	-0,83333333	Muy bajo	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S76	0,55					NULO		ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,55	13,9	23	21	2	-3,55	Muy bajo	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
		3,55	14,2	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S77	0,55					NULO		SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,55	12,5	0	0	0		NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,55	14,1	20	18	2	-1,95	Muy bajo	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S78	0,55					NULO		ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,55	7,6	0	0	0	0	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,55	9,7	0	0	0	0	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S79	0,55	10,9	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,55	18,2	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,55					NULO		ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S80	0,55					NULO		ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,55	15,5				NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S80	3,55	21,4	28	25	3	-1,2	Muy bajo	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	S81	0,55					NULO		ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,55	15,5	24	21	3	-1,83333333	Muy bajo	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
		2,55	19,5	27	23	4	-0,875	Muy bajo	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	S82	0,55					NULO		ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,55	6,4	0	0	0		NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,55	5,1	0	0	0		NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S83	0,55	17,4	21	20	1	-2,6	Muy bajo	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		1,55					NULO		ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		2,55	19	21	18	3	0,33333333	Muy bajo	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S84	0,55					NULO		SM				
		1,55					NULO		SM				
		2,55	12,4	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,55	10,7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		4,55					NULO		ML				
		5,55	10,7	23	21	2	-5,15	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	S85	0,55	6	0	0		NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
							NULO		ML				
		2,55	9	0	0		NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
									ML				
		4,55	10,7	25	18	7	-1,04285714	Baja	ML-CL	Bajo	Bajo	Medio	Bajo
	S86	0,55	4,3	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
							NULO		SM				
		2,55	10,9	26	20	6	-1,51666667	Baja	ML-CL	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
							NULO		ML-CL				
		4,55	10,6	26	21	5	-2,08	Muy Baja	ML-CL	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	S87	0,55	5,2	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
							NULO		ML				
		2,55	16,6	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
							NULO		ML				
		5,55	15,6	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S88						NULO		SM				
		1,55	7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
							NULO		ML				
		3,55	16,2	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		5,55	17,4	24	20	4	-0,65	NO PLASTICO	ML-CL	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S89						NULO		SM				
		1,55	11,4	17	15	2	-1,8	Muy baja	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,55	15,4	23	20	3	-1,53333333	Muy baja	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
							NULO		ML				
		5,55	16	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S90						NULO		ML				
		1,55	10,7	0	0	0	NULO	NO PLASTICO	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
							NULO		ML				
		3,55	16,7	24	21	3	-1,43333333	Muy baja	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
							NULO		ML				
		5,55	19	24	21	3	-0,66666667	Muy baja	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	S91						NULO		ML				
		1,55	12,4	0	0	0	NULO	NO PLASTICA	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
							NULO		SM				
		3,55	12,6	0	0	0	NULO	NO PLASTICA	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		6,55	14,3	0	0	0	NULO	NO PLASTICA	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
OTROS	S92	1,00		0	0	0	NULO	NO PLASTICA	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,10	0,14	0	0	0	NULO	NO PLASTICA	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		4,20	0,7	0	0	0	NULO	NO PLASTICA	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S93	1,50	1,93	0	0	0	NULO	NO PLASTICA	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,40	2,18	0	0	0	NULO	NO PLASTICA	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		4,90	3,74	0	0	0	NULO	NO PLASTICA	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
	S94	1,00	4,17	0	0	0	NULO	NO PLASTICA	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo
		3,00					NULO		ML				
		5,00					NULO		ML				
	S95	1,00	1,87	0	0	0	NULO	NO PLASTICA	ML	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo

Anexo 5: Correlación de las propiedades físicas en función del SPT

PROYECTO	SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	NSPT	CORRELACIÓN EN FUNCIÓN DEL SPT			
				Densidad relativa (%)	COMPACIDAD	φ(grad)	qadm (T/m2)
[1] ENERO 2006	S1	0,55-1,0	16	62	mediana	25	19,68
		1,50-2,0	22	63	mediana	30	24,6
		2,50-3,0	35	83	densa	35	29,53
		3,50-4,0	39	83,5	densa	40	29,53
		4,50-5,0	48	83	densa	45	29,53
	S2	0,55-1,0	28	77	mediana	30	29,63
		1,50-2,0	26	71	mediana	33	34,44
		2,50-3,0	61	93	compacta	35	34,44
		3,50-4,0	60	93	compacta	40	34,44
		4,50-5,0	69	93,1	compacta	40	34,44
		5,50-6,0	96	94	compacta	40	34,44
	S3	0,55-1,0	9	60	suelta	25	19,68
		1,50-2,0	12	61	mediana	30	24,6
		2,50-3,0	18	66	mediana	35	29,53
		3,50-4,0	15	64	mediana	40	29,53
	S4	0,55-1,0	19	66	mediana	25	19,68
		1,50-2,0	17	66	mediana	30	24,6
		2,50-3,0	23	71	mediana	35	29,53
		3,50-4,0	16	65	mediana	40	29,53
	S5	0,55-1,0	7	50	suelta	27	19,68
		1,50-2,0	18	66	mediana	32	24,61
		2,50-3,0	20	67	mediana	33	29,53
		3,50-4,0	34	81,3	densa	38	29,53
		4,50-5,0	38	84,5	densa	40	29,53
		5,50-6,0	44	86	densa	40	29,53
	S6	0,55-1,0	11	61	mediana	27	19,68
		1,50-2,0	11	61	mediana	32	24,61
		2,50-3,0	19	67	mediana	33	29,53
		3,50-4,0	28	77	mediana	38	29,53
		4,50-5,0	46	87,2	densa	40	29,53
		5,50-6,0	51	91	compacta	40	29,53
	S7	0,55-1,0	9	55	suelta	27	19,68
		1,50-2,0	27	76	mediana	32	24,61
		2,50-3,0	53	91	compacta	33	29,53
		3,50-4,0	39	84,5	densa	38	29,53
		4,50-5,0	45	87	densa	40	29,53
	S8	0,55-1,0	12	63	mediana	27	19,68
		1,50-2,0	48	87,5	densa	32	24,61
		3,50-4,0	53	91	compacta	38	29,53
		4,50-5,0	48	88	densa	40	29,53
		5,50-6,0	53	91	compacta	27	19,68
	S9	0,55-1,0	10	60	suelta	32	24,61
		1,50-2,0	5	41	suelta	33	29,53
		2,50-3,0	17	65	mediana	38	29,53
		3,50-4,0	22	71	mediana	40	29,53
		4,50-5,0	24	70	mediana	40	29,53
		5,50-6,0	38	86	densa	27	29,53
	S10	0,55-1,0	10	60	suelta	32	19,68
		1,50-2,0	54	91	compacta	33	24,61
		2,50-3,0	27	76	mediana	38	29,53
		3,50-4,0	26	31	mediana	40	29,53
		4,50-5,0	30	80	mediana	40	29,53
		5,50-6,0	63	92	compacta	40	29,53

PROYECTO	SONDEO	ROFUNDIDAD (r	NSPT	CORRELACIÓN EN FUNCIÓN DEL SPT			
				nsidad relativa (	COMPACIDAD	φ(grad)	qadm (T/m2)
[2] SEPTIEMBRE 2011	S20	0,55-1,0	8	52	suelta	28	10
		1,50-2,0	9	52,5	suelta	20	10,6
		2,50-3,0	16	65	mediana	33	22
		3,50-4,0	14	64	mediana	34	19,2
		4,50-5,0	17	65,5	mediana	32	21
		5,50-6,0	16	65	mediana	33	22
	S21	0,55-1,0	2	39,2	muy suelta	28	2,5
		1,50-2,0	2	39,2	muy suelta	24	2,5
		2,50-3,0	7	50	suelta	28,5	7,5
		3,50-4,0	13	63,4	mediana	31,6	19
		4,50-5,0	15	64,5	mediana	32	20
		5,50-6,0	13	63,4	mediana	31,6	19
	S22	0,55-1,0	16	65	mediana	32,5	22
		1,50-2,0	22	71	mediana	18	27,8
		2,50-3,0	20	67	mediana	33	26
		3,50-4,0	22	70	mediana	33,8	28,5
		4,50-5,0	20	67	mediana	35,3	26
		5,50-6,0	21	70	mediana	33,6	27
	S23	0,55-1,0	31	81	densa	41	45
		1,50-2,0	36	83,4	densa	41	45
		2,50-3,0	31	80,5	densa	41	45
		3,50-4,0	44	86	densa	41	45
		4,50-5,0	40	86,5	densa	41	45
		5,50-6,0	43	86,7	densa	41	45
[3] FEBRERO 2012	S34	0,55-1,0	6	45	suelta	29	6,5
		1,50-2,0	5	44	suelta	28,5	6
		2,50-3,0	19	66,7	mediana	32,8	25
		3,50-4,0	31	83,4	densa	38	41
		4,50-5,0	44	87	densa	38	45
	S35	0,55-1,0	5	42	suelta	28,5	6
		1,50-2,0	5	42	suelta	28,5	6
		2,50-3,0	16,25	65	mediana	33	22
		3,50-4,0	32,59	80,5	densa	38	43
		4,50-5,0	36,27	84	densa	39	44

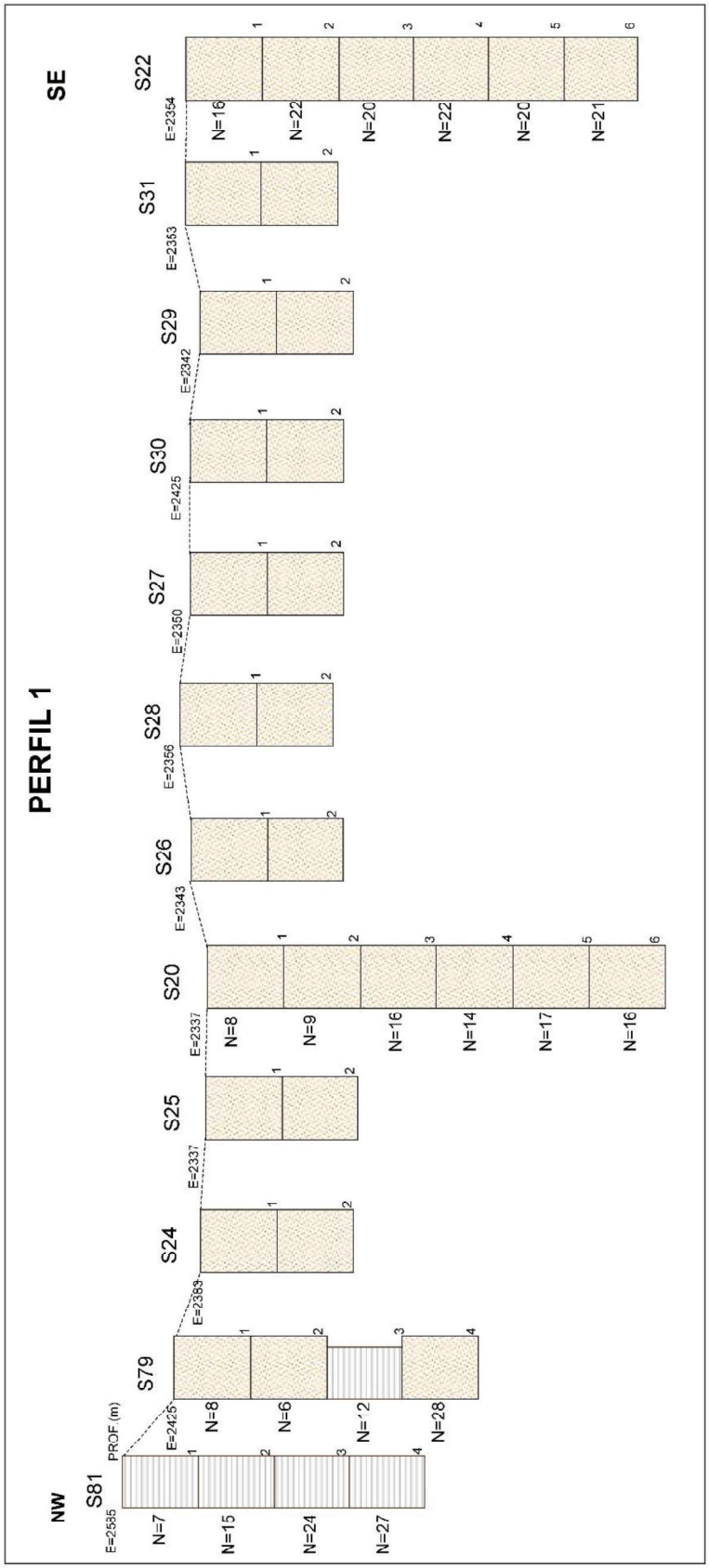
PROYECTO	SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	NSPT	CORRELACIÓN EN FUNCIÓN DEL SPT			
				Densidad relativa (%)	COMPACIDAD	φ(grad)	qadm (T/m2)
[4] NOV 2013	S42	0,55-1,0	17	66	mediana	32	24
		1,50-2,0	17	66	mediana	32	24
		2,50-3,0	18	66,3	mediana	32,4	24,5
		3,50-4,0	19	66,7	mediana	32,7	25
		4,50-5,0	20	67,3	mediana	33	26
	S43	0-0,50	2	39	muy suelta	28	2,5
		0,55-1,0	5	39,5	muy suelta	28,5	6
		1,0-1,45	8	52	suelta	29,5	10
		1,50-2,0	7	51	suelta	29	7,5
		2,0-2,45	9	55	suelta	29,5	10
		2,50-3,0	9	55	suelta	29,5	10
		3,0-3,45	9	55	suelta	29,5	10
		3,50-4,0	15	64,5	mediana	32	20
		4,50-5,0	15	64,5	mediana	32	20
	S44	0-0,50	5	45	suelta	28,5	6
		0,55-1,0	13	63,4	mediana	31,6	19
		1,0-1,45	17	65,8	mediana	32,5	24
		2,0-2,45	18	66	mediana	32,7	24,6
		3,0-3,45	19	66,7	mediana	32,8	25
		4,0-4,45	19	66,7	mediana	32,8	25
		4,50-5,0	19	66,7	mediana	32,8	25
	S45	0-0,50	17	65,7	mediana	32,3	24
		0,55-1,0	16	65	mediana	32,1	22
		1,0-1,45	18	66	mediana	33	26
		2,0-2,45	17	65,7	mediana	32,6	24
		3,0-3,45	20	70	mediana	33	26
		4,0-4,45	20	70	mediana	33	26
		4,50-5,0	20	70	mediana	33	26
[5] JUNIO 2018	S48	0,55-1,0	12	63	mediana	31	17,5
		1,50-2,0	21	71	mediana	33	27
		2,50-3,0	31	81	densa	36	40
		3,50-4,0	R	90	compacta	36	40
	S49	0,55-1,0	13	56	mediana	31	11,39
		1,50-2,0	28	56	mediana	33	15,77
		2,50-3,0	14	51	mediana	31	12,27
		3,50-4,0	45	41	densa	34	39,44
		4,50-5,0	76	67	compacta	35	43,82
	S50	0,55-1,0	13	56	mediana	31	11,41
		1,50-2,0	17	56	mediana	31	15,79
		2,50-3,0	29	67	mediana	35	43,87
		3,50-4,0	80	67	compacta	35	43,87
	S51	0,55-1,0	12	63	mediana	31	17,5
		1,50-2,0	16	65	mediana	32,5	22
		2,50-3,0	19	66,5	mediana	32,8	25
		3,50-4,0	28	77	mediana	35,8	36
		4,50-5,0	R	91	compacta	42	50

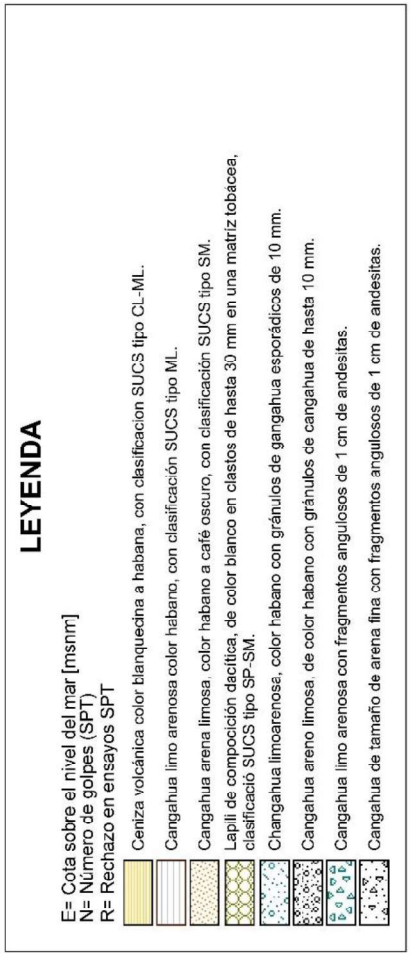
PROYECTO	SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	NSPT	CORRELACIÓN EN FUNCIÓN DEL SPT			
				Densidad relativa (%)	COMPACIDAD	φ(grad)	qadm (T/m2)
[6] OCTUBRE 2018	S55	0,55-1,0	23	73	mediana	36	30
		1,50-2,0	43	86,7	densa	38	41
		2,50-3,0	27	76	mediana	36,7	35
		3,50-4,0	46	88	densa	38	41
		4,0-4,45	R	91	compacta		
		4,50-5,0	R	93	compacta	36	50
	S56	0,55-1,0	26	76	mediana	36,8	33
		1,50-2,0	29	77,8	mediana	37	37
		2,50-3,0	28	77,7	mediana	37	36
		3,0-3,45	R	91	compacta	41	50
		3,50-4,0	R	92	compacta	41	50
	S57	0,55-1,0	33	83	densa	37,6	41
		1,50-2,0	33	83	densa	37,6	41
		2,50-3,0	41	86	densa	40	47
		3,50-4,0	33	82	densa	37,6	41
	S58	0,55-1,0	31	80,5	densa	36	40
		1,50-2,0	45	87	densa	36	40
		2,50-3,0	39	85,8	densa	36,7	41
		3,0-3,45	R	92	compacta	41	50
		3,50-4,0	R	92	compacta	41	50
	S59	0,55-1,0	31	82	densa	38	40
		1,50-2,0	47	89	densa	38,7	48
		2,50-3,0	88	95	compacta	41	50
		3,50-4,0	R	95	compacta	41	50
		4,50-5,0	R	95	compacta	30	50
	S60	0,55-1,0	27	78	mediana	36,7	35
		1,50-2,0	26	33	mediana	37	33
		2,50-3,0	20	67,8	mediana	33	26
		3,50-4,0	58	92	compacta	29	50
	S61	0,55-1,0	40	85	densa	40	45
		1,50-2,0	61	96	compacta	43	55
		2,50-3,0	28	77	mediana	36,8	36
		3,50-4,0	44	87	densa	40,7	49
		4,0-4,45	R	92	compacta		
		4,50-5,0	R	92	compacta	41	49
	S62	0,55-1,0	31	81	densa	38,6	40
		1,50-2,0	27	76,5	mediana	36,4	35
		2,50-3,0	37	87	densa	38,7	43
		3,0-3,45	R	92	compacta		
		3,50-4,0	R	92	compacta	38,7	43
	S63	0,55-1,0	21	70	mediana	33,3	27
		1,50-2,0	15	65	mediana	32	20
		2,50-3,0	105	98	compacta		mayor a 50
	S64	0,55-1,0	17	65,7	mediana	32,5	24
		1,50-2,0	15	64,5	mediana	32	20
		2,50-3,0	18	66	mediana	32,7	25
		3,50-4,0	92	97	compacta	43	mayor a 50
	S65	0,55-1,0	17	65,7	mediana	32,5	24
		1,50-2,0	15	64	mediana	32	20
		2,50-3,0	18	66	mediana	32,6	24,5
		3,50-4,0	92	97	compacta	43	maoyor a 50
	S66	0,55-1,0	18	66	mediana	33	24,5
		1,50-2,0	18	66	mediana	33	24,5
		2,50-3,0	36	84	densa	37	43
		3,50-4,0	69	95	compacta	43	mayor a 50
	S67	0,55-1,0	13	63,5	mediana	32,1	19
		1,50-2,0	24	74,6	mediana	34,6	31,5
		2,50-3,0	37	85	densa	39	43
		3,50-4,0	120	97	compacta	43	mayor a 50

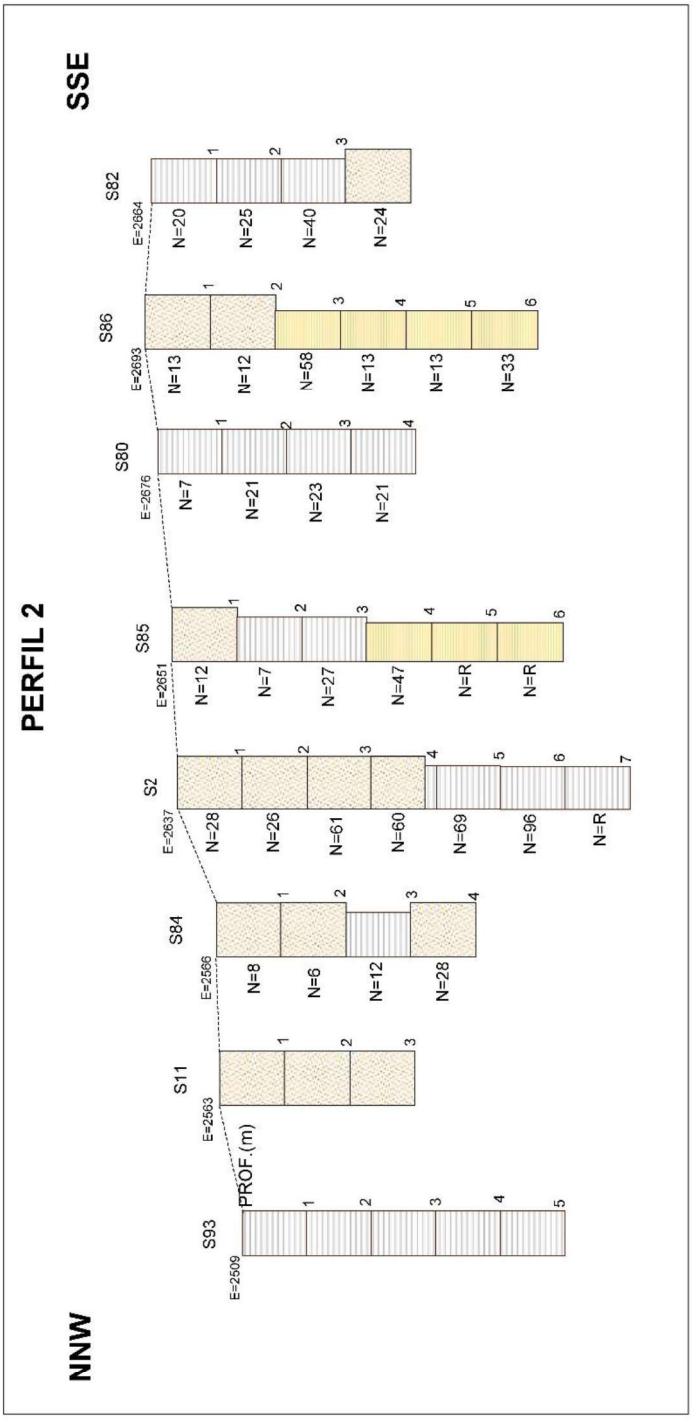
PROYECTO	SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	NSPT	CORRELACIÓN EN FUNCIÓN DEL SPT			
				Densidad relativa (%)	COMPACIDAD	φ(grad)	qadm (T/m2)
[7] OCTUBRE 2019	S75	0,55-1,0	27	77,7	mediana	37	35
		1,50-2,0	16	65	mediana	32,5	22
		2,50-3,0	35	83,5	densa	36,7	41
		3,50-4,0	12	63	mediana	31	17,5
	S76	0,55-1,0	8	53	suelta	29,5	10
		1,50-2,0	8	53	suelta	29,5	10
		2,50-3,0	30	80	mediana	38	40
		3,50-4,0	32	81,5	densa	38,4	41
	S77	0,55-1,0	13	63,5	mediana	31,4	19
		1,50-2,0	4	40	suelta	28	5
		2,50-3,0	4	40	suelta	28	5
		3,50-4,0	13	63,5	mediana	31,6	19
	S78	0,55-1,0	11	60,7	mediana	30,5	15,5
		1,50-2,0	5	41	suelta	28	6
		2,50-3,0	55	91	compacta	43	maoyr a 45
		3,50-4,0	23	72	compacta	36	30
	S79	0,55-1,0	8	51	suelta	30	10
		1,50-2,0	6	45,7	suelta	28,5	6,5
		2,50-3,0	12	62,5	mediana	31	17,5
		3,50-4,0	28	77	mediana	35,8	36
	S80	0,55-1,0	7	50	suelta	29	7,5
		1,50-2,0	21	70	mediana	33,6	27
		2,50-3,0	23	73	mediana	34	30
		3,50-4,0	21	70	mediana	33,6	27
	S81	0,55-1,0	7	50	suelta	29	7,5
		1,50-2,0	15	65	mediana	32	20
		2,50-3,0	24	74	mediana	34,6	31
		3,50-4,0	27	76	mediana	35,7	35
	S82	0,55-1,0	20	67,8	mediana	33	26
		1,50-2,0	25	75	mediana	35	32
		2,50-3,0	40	85	mediana	43	maoyr a 45
		3,50-4,0	24	74	mediana	34,7	31,5
	S83	0,55-1,0	2	39	muy suelta	28	2,5
		1,50-2,0	5	43	suelta	28	6
		2,50-3,0	14	64,6	mediana	28,7	19,5
		3,50-4,0	7	50	suelta	28	7,5
	S84	0,55-1,0	4	40	muy suelta	28	5
		1,50-2,0	4	40	muy suelta	28	5
		2,50-3,0	7	50	suelta	28	7,5
		3,50-4,0	12	63	mediana		
		4,50-5,0	10	60	suelta		
		5,50-6,0	9	55	suelta	28,7	11,5
	S85	0,55-1,0	12	63	mediana	27	14,76
		1,50-2,0	7	50	mediana	30	19,68
		2,50-3,0	27	86	densa	33	24,61
		3,50-4,0	47	87	densa	36	29,53
		4,50-5,0	R	3	compacta	40	29,53
		5,50-6,0	R	93	compacta	40	30
	S86	0,55-1,0	13	63,6	mediana	32,1	19
		1,50-2,0	12	63	mediana	31	17,5
		2,50-3,0	58	91	compacta	43	mayor a 45
		3,50-4,0	13	63,5	mediana	31,6	19
		4,50-5,0	13	63,5	mediana	31,6	19
		5,50-6,0	33	81,5	densa	36,8	42

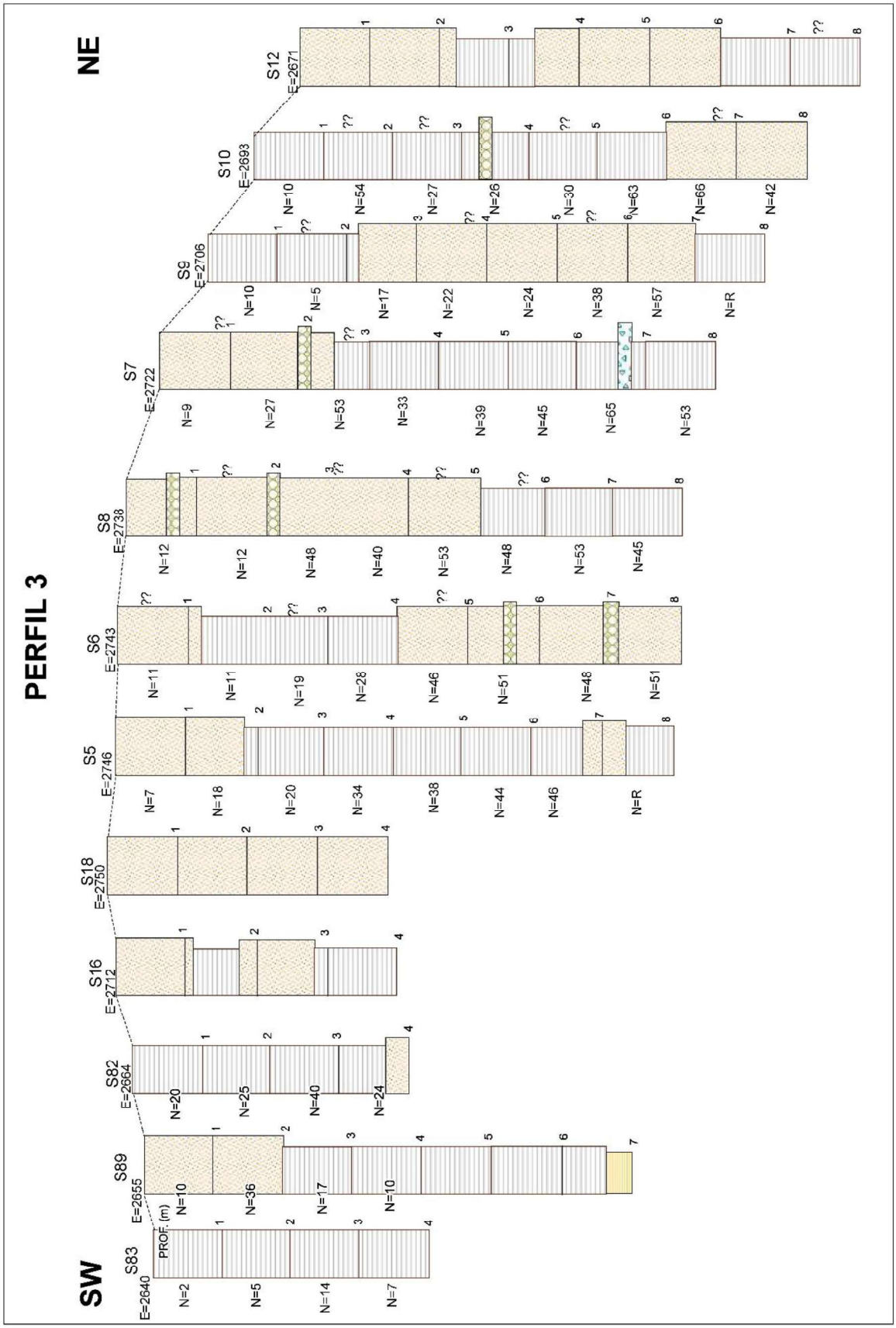
PROYECTO	SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	NSPT	CORRELACIÓN EN FUNCIÓN DEL SPT			
				Densidad relativa (%)	COMPACIDAD	φ(grad)	qadm (T/m2)
[7] OCTUBRE 2019	S87	0,55-1,0	11	61	mediana	30,6	15,5
		1,50-2,0	26	75,8	mediana	35,8	33
		2,50-3,0	33	82	densa	36,7	41
		3,50-4,0	44	87,6	densa	38	45
		4,50-5,0	47	87,9	densa	39	47
		5,0-5,45	R	93	compacta		
		5,50-6,0	R	93	compacta	43	mayor a 50
	S88	0,55-1,0	12	63	mediana	31	17,5
		1,50-2,0	9	55	suelta	29,9	11,5
		2,50-3,0	16	65	mediana	32,4	22
		3,50-4,0	32	81	densa	36,8	41
		4,50-5,0	34	83	densa	36,9	42
		5,50-6,0	32	81,5	densa	36,8	41
	S89	0,55-1,0	10	60	suelta	30	13,5
		1,50-2,0	36	84	densa	38,6	44
		2,50-3,0	17	65,5	mediana	34,7	24
		3,50-4,0	10	60	suelta	30	13,5
		4,50-5,0	19	66,5	mediana	32,6	25
		5,50-6,0	20	68	mediana	32,8	26
	S90	0,55-1,0	15	64,5	mediana	32	20
		1,50-2,0	11	61	mediana	30,7	15,5
		2,50-3,0	12	62	mediana	31	17,5
		3,50-4,0	32	81	densa	36,8	41
		4,50-5,0	51	91	compacta	43	mayor a 45
		5,50-6,0	58	96	compacta	43	mayor a 45
	S91	0,55-1,0	11	61	mediana	32	15,5
		1,50-2,0	6	45,6	suelta	28,5	6,5
		2,50-3,0	10	60	suelta	31,6	13,5
		3,50-4,0	24	74	mediana	34,6	31
		4,50-5,0	22	72	mediana	34	28
		5,50-6,0	23	73	mediana	34	30
		6,50-7,0	21	70	mediana	33,5	27

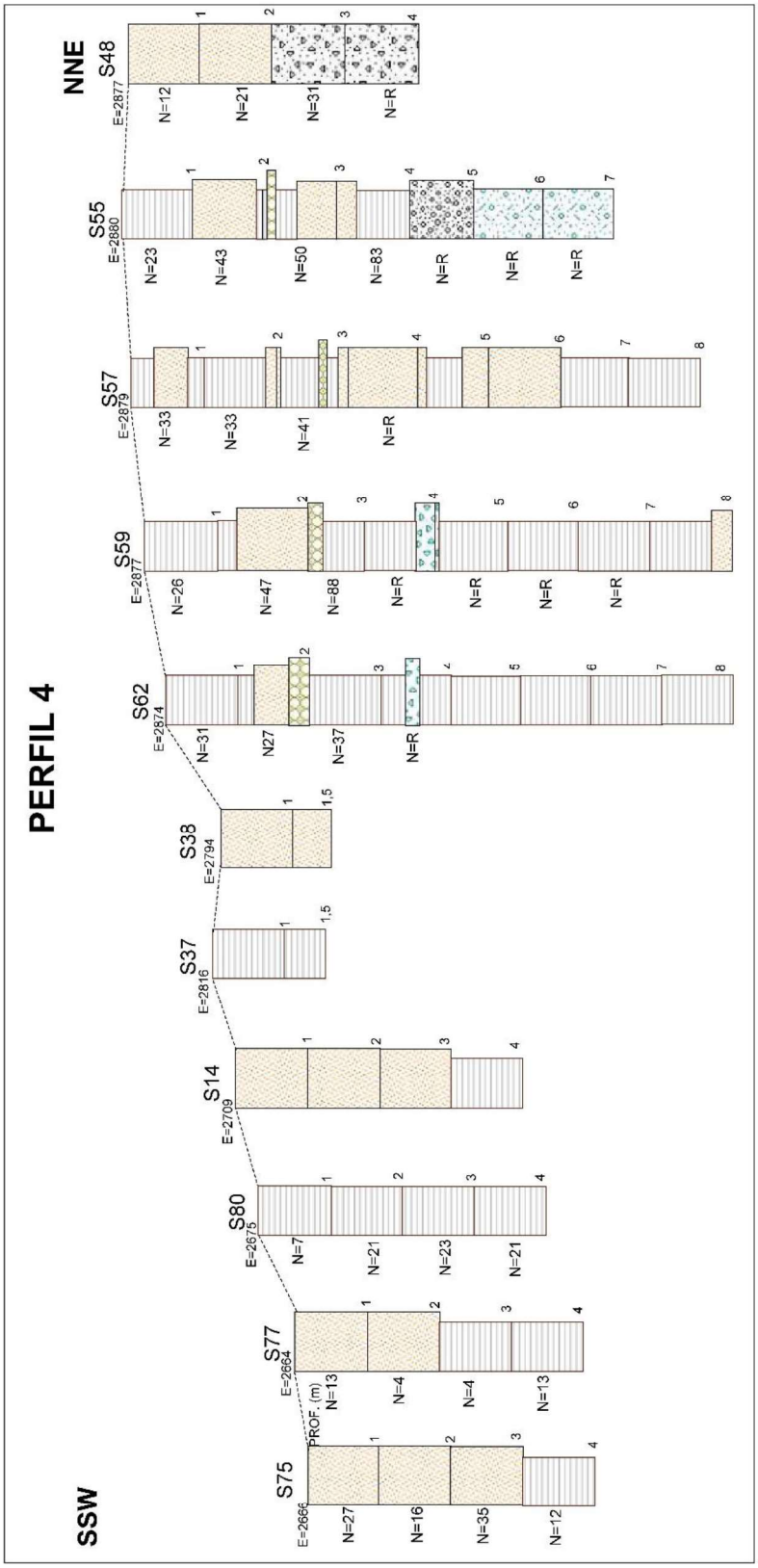
Anexo 6: Perfiles de correlación geotécnica.

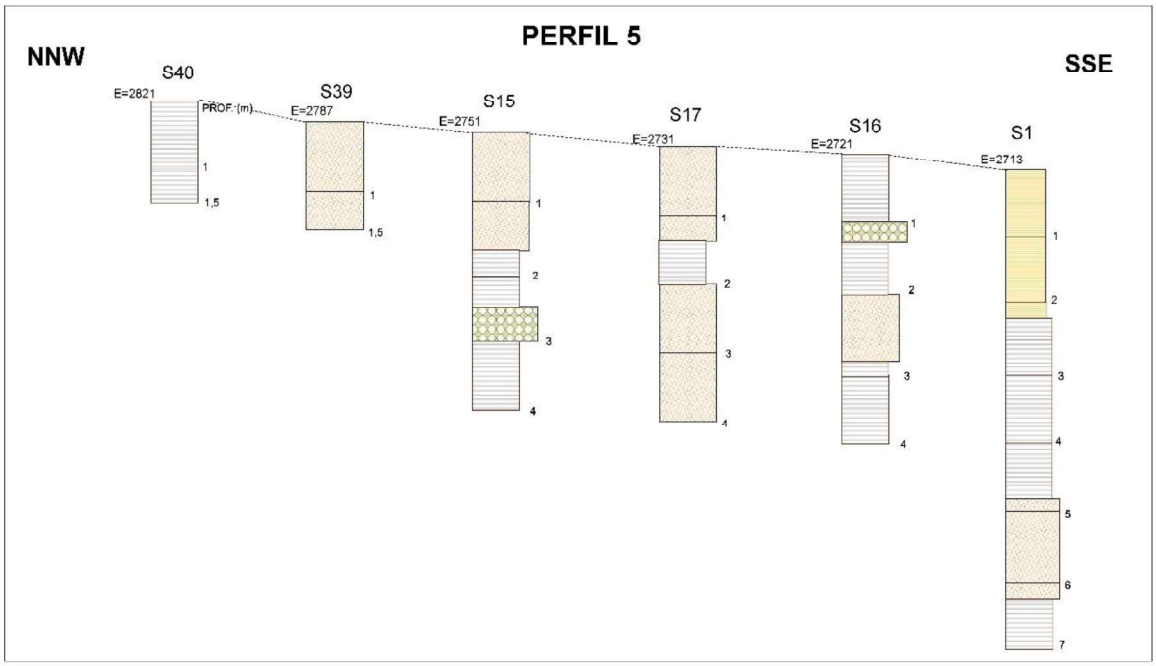





PERFIL 2
NNW
SSE
PROF. (m)
S93
E=2509
S11
E=2563
S84
E=2586
S2
E=2637
S85
E=2651
S80
E=2676
S86
E=2693
S82
E=2664
N=8
N=6
N=12
N=28
N=28
N=26
N=61
N=60
N=69
N=96
N=R
N=12
N=7
N=27
N=47
N=R
N=R
N=7
N=21
N=23
N=21
N=13
N=12
N=58
N=13
N=13
N=33
N=20
N=25
N=40
N=24


PERFIL 3
SW
NE
PROF. (m)
S83
E=2640
N=2
N=5
N=14
N=7
S89
E=2655
N=10
N=36
N=17
N=10
S82
E=2664
N=20
N=25
N=40
N=24
S16
E=2712
S18
E=2750
S5
E=2746
N=7
N=18
N=20
N=34
N=38
N=44
N=46
N=R
S6
E=2743
N=11
N=11
N=19
N=28
N=46
N=51
N=46
N=51
S8
E=2738
N=12
N=12
N=48
N=40
N=53
N=48
N=53
N=45
S7
E=2722
N=9
N=27
N=53
N=33
N=39
N=45
N=65
N=53
S9
E=2706
N=10
N=5
N=17
N=22
N=24
N=38
N=57
N=R
S10
E=2693
N=10
N=54
N=27
N=26
N=30
N=63
N=66
N=42
S12
E=2671


PERFIL 4
SSW
NNE
S75
E=2866
N=27
N=16
N=35
N=12
S77
E=2864
N=13
N=4
N=4
N=13
PROF. (m)
S80
E=2675
N=7
N=21
N=23
N=21
S14
E=2709
S37
E=2816
S38
E=2794
S62
E=2874
N=31
N27
N=37
N=R
S59
E=2877
N=26
N=47
N=88
N=R
N=R
N=R
N=R
S57
E=2879
N=33
N=33
N=41
N=R
S55
E=2880
N=23
N=43
N=50
N=83
N=R
N=R
N=R
S48
E=2877
N=12
N=21
N=31
N=R


PERFIL 5
NNW
SSE
S40
E=2821
PROF. (m)
1
1,5
S39
E=2787
1
1,5
S15
E=2751
1
2
3
4
S17
E=2731
1
2
3
4
S16
E=2721
1
2
3
4
S1
E=2713
1
2
3
4
5
6
7

Anexo 7: Valores de precipitación mensual media de 1985 al 2015, según datos de la INAMHI.

ALTURA (msnm)	ESTACIÓN	UTM (WGS 84)		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
		Norte	Este													
2690	M345	786815	9989089	50.08	62.58	75.68	108.61	52.13	16.18	12.62	7.08	37.65	64.96	58.74	39.63	585.94
2789	M024	779647	9980274	82.55	114.65	141.30	170.36	99.29	29.28	31.17	22.43	58.37	109.87	108.00	83.61	1050.86
2240	M009	798621	9994129	44.79	54.28	61.09	87.52	59.15	21.49	14.21	8.43	27.95	59.18	51.25	46.59	535.93
2479	M002	793124	9974615	56.83	88.63	105.06	115.58	70.59	21.98	17.90	18.21	50.58	99.39	101.56	64.28	810.58
2600	M346	798801	9982303	61.88	75.14	97.45	125.16	73.84	21.04	19.18	10.75	42.67	87.62	77.33	58.88	750.92
2605	M343	801004	9986991	32.63	30.64	41.05	52.05	35.31	10.46	10.02	4.54	16.59	35.71	31.52	29.94	330.45
2810	M358	776854	9999880	80.34	89.28	108.00	106.36	68.47	23.68	18.05	10.21	33.40	61.59	65.83	60.33	725.53
2392	MA86	786350	9980422	89.77	105.53	120.66	141.32	67.93	18.18	15.45	13.43	37.37	129.53	93.70	76.23	909.09

ORDEN DE EMPASTADO