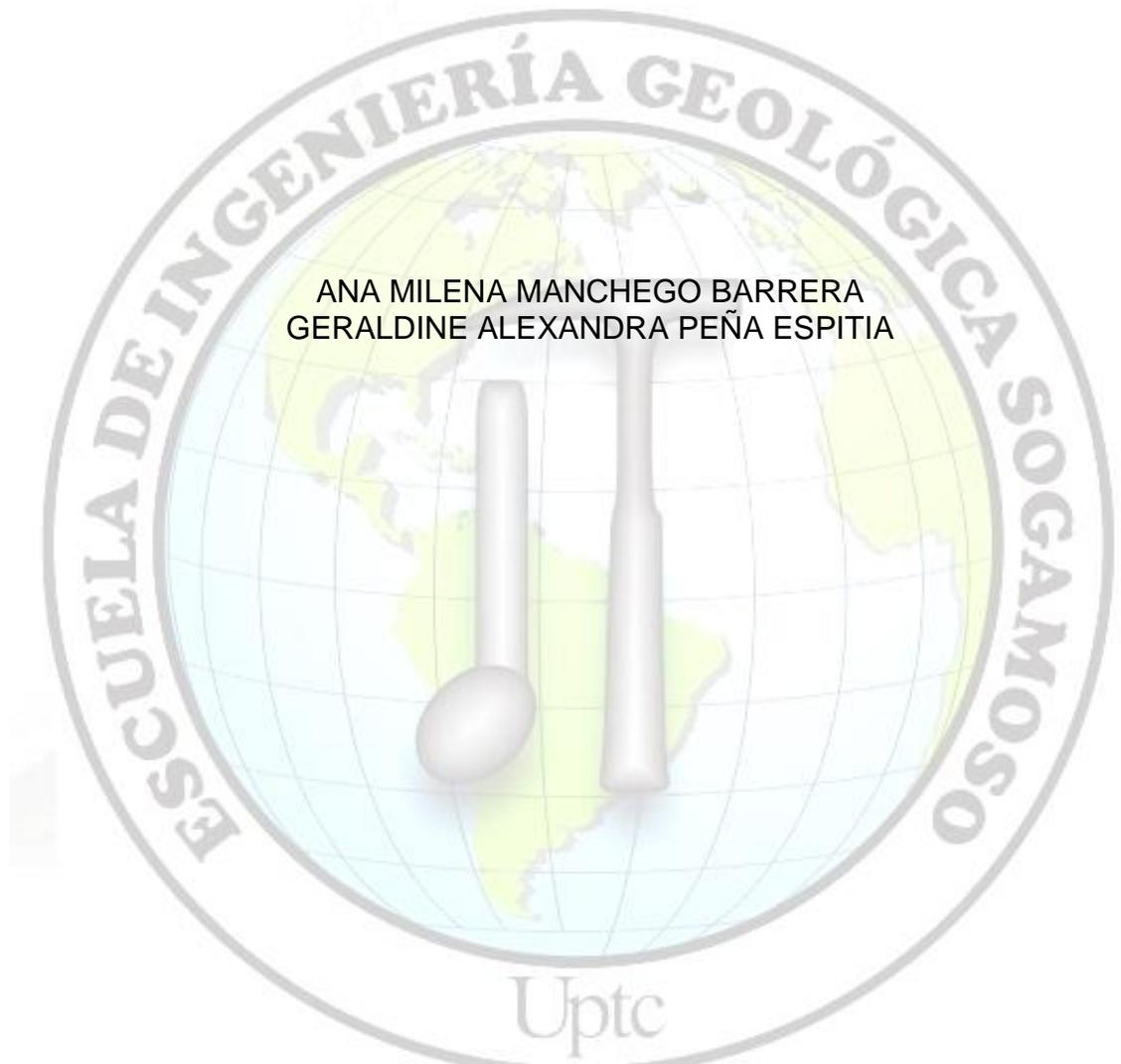


ESTUDIO GEOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA
EN EL SECTOR RURAL DE LAS VEREDAS HELECHAL Y GUASIMAL
DEL MUNICIPIO DE TENA DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.

ANA MILENA MANCHEGO BARRERA
GERALDINE ALEXANDRA PEÑA ESPITIA



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2015

ESTUDIO GEOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA
EN EL SECTOR RURAL DE LAS VEREDAS HELECHAL Y GUASIMAL
DEL MUNICIPIO DE TENA DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.

ANA MILENA MANCHEGO BARRERA
GERALDINE ALEXANDRA PEÑA ESPITIA

Modalidad: Monografía

Ing. Diego A Romero Farfán
Director

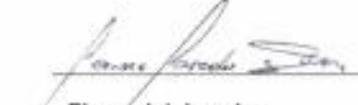


UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2015

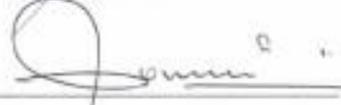
Nota de Aceptación



Firma del Jurado



Firma del Jurado



Firma del Director

A:

Primero que todo agradezco a Dios, por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, por acompañarme y guiar a lo largo de mi vida y mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad. Y por brindarme una vida de aprendizajes y felicidad.

A mis padres Darío Manchego y Ana Mery Barrera que son el motor de mi vida les agradezco por todo el amor que me dan cada día, por sus esfuerzos y dedicaciones, por apoyarmen en todo momento, por darme la oportunidad de estudiar esta carrera, por los valores que me han inculcado, por cada una las palabras de fortaleza y ánimo y sobre todo por ser un ejemplo de vida a seguir. Y que este triunfo es de ustedes. LOS AMO.

A mis hermanos Oscar y Constanza por ser parte importante en mi vida, fuente de apoyo incondicional, por sus palabras de amor y cariño, por todo lo que me han dado y por cada una de sus bendiciones que sin su ayuda hubiera sido imposible terminar este logro.

A mis sobrinos que sus risas me hacen crecer y sentir muy afortunada de tenerlos y que los amo con todo mi corazón.

Más que mi amiga es mi hermana Paola Fonseca le agradezco por su gran amistad, por sus consejos, por el apoyo incondicional, por su cariño, por sus palabras de ánimo siempre y por permitirme compartir cada momento sus alegrías y tristezas.

A mi familia en general por todo su apoyo constante e incondicional y su gran cariño.

Al Ingeniero Rafael Pérez le agradezco por todo el apoyo brindado a lo largo de este proyecto, por su tiempo, amistad y por todos los conocimientos que me transmitió.

A mis amigos y compañeros por compartieron su conocimientos y gratos momentos, por hacer de mi etapa universitaria un trayecto de vivencia que nunca olvidaré y a todos aquellos que durante estos años estuvieron a mi lado ayudándome y logrando que este sueño se hiciera realidad.

Ana Milena Manchego Barrera.

Agradecimientos

A Dios, por haberme permitido estudiar esta carrera y haber hecho posible su culminación.

A mis padres, en especial a mi madre Mery Yolanda Espitia, pues siempre ha sido un apoyo incondicional en los triunfos y fracasos, me ha brindado las herramientas y consejos necesarios para ser una buena persona y siempre ha hecho lo mejor para que sea una excelente profesional.

A mi familia y allegados, por siempre estar pendientes en cada uno de los momentos de felicidad y tristeza ya que me han brindado su apoyo y colaboración en los momentos que he necesitado.

Al grupo de docentes que hicieron parte del proceso de formación como estudiante, ya que no solamente se encargaron de prepararme como una buena profesional, también se encargaron de brindarme los mecanismos necesarios para ser una persona íntegra.

A todos mis compañeros de la universidad, por haberme brindado su amistad y porque siempre quedan bonitos recuerdos de todas aquellas vivencias, en especial a los compañeros del Laboratorio de Suelos y Rocas U.P.T.C porque a pesar del corto tiempo compartido, son una muestra que las amistades no tienen que durar años para que se creen conexiones que perduraran por siempre.

A mi compañera de proyecto de grado “Mile” por brindarme su amistad y porque a pesar de habernos conocido hace poco me enseñó que de la unión de dos personas que tienen un objetivo en común, el resultado es un trabajo hecho de la mejor manera y a su familia, por la hospitalidad brindada y haberme hecho sentir como una integrante más de la familia.

Al Ingeniero Rafael Pérez, por haberme transmitido sus conocimientos y porque más que un docente, ha sido y será mi tutor, por brindarme su confianza y ofrecerme una verdadera amistad.

A mi Director de Proyecto, Ingeniero Diego A. Farfán, por creer en mí incondicionalmente y por cada una de las observaciones, basadas en su valiosa experiencia.

Y por último a todas aquellas personas que de una u otra forma aportaron con granito de arena para que este sueño se hiciera realidad

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
1 ANTECEDENTES	3
2 GENERALIDADES	4
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
2.2 OBJETIVOS.....	4
2.2.1 Objetivo general	4
2.2.2 Objetivos específicos	4
2.3 LOCALIZACIÓN.....	5
2.4 LÍMITES DEL MUNICIPIO	5
2.5 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
2.6 ASPECTOS FISIOGRAFICOS	6
3 COMPONENTE GEOSFÉRICO	7
3.1 GEOLOGÍA.....	7
3.1.1 Geología Regional.....	7
3.1.2 Geología Local	7
3.2 ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA	7
3.2.1 Formación Simijaca (Kss).....	9
3.2.2 Depósito Fluvio - glacial.	10
3.3 ESTRUCTURAS ENCONTRADAS.....	10
3.4 GEOMORFOLOGÍA.....	11
3.5 PENDIENTES	12
3.6 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LAS MICROCUENCAS	14
3.7 DESCRIPCIÓN GEODINÁMICA.....	15
3.7.1 Amenazas Geológicas	15
3.7.1.1 Causas de los movimientos en Masa	15
3.7.2 Escenarios de Riesgos.....	16
3.8 SUELOS	16
3.8.1 Uso Actual	16
3.8.2 Uso Potencial	18

3.8.3	Uso recomendado	21
4	COMPONENTE ATMOSFÉRICO	22
4.1	CLIMA	22
4.2	TEMPERATURA	22
4.3	PRECIPITACIÓN	22
4.4	HUMEDAD RELATIVA	22
4.5	BRILLO SOLAR	23
4.6	VIENTOS	23
4.7	COBERTURA VEGETAL	23
4.8	CLASIFICACIÓN ZONAS DE VIDA	23
4.8.1	Bosque Húmedo Premontano (bh-PM)	23
4.8.2	Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-PM).....	24
5	GEOTECNIA	25
5.1	EXPLORACIÓN DE CAMPO	25
5.2	EXPLORACIÓN DIRECTA DEL SUBSUELO	25
5.2.1	Caracterización del suelo y subsuelo	26
5.2.1.1	Trabajos de laboratorio	26
5.2.2	Propiedades índices de los suelos	28
5.2.3	Propiedades mecánicas de los suelos	30
5.2.4	Resumen de resultados	31
5.3	PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE CAPACIDAD PORTANTE PARA CIMENTOS SUPERFICIALES	37
5.3.1	Capacidad portante	38
5.4	PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE	41
5.5	MÉTODO CAPACIDAD PORTANTE	44
5.6	EXPLORACIÓN INDIRECTA DEL SUB SUELO	47
5.7	GEOELÉCTRICA.....	47
5.8	PRINCIPALES MÉTODOS GEOFÍSICOS	48
5.8.1	Resistividad Aparente.	48
5.8.2	Su relación con los elementos del subsuelo.....	49
5.8.3	Dispositivos	50



ESTUDIO GEOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA
EN EL SECTOR RURAL DE LAS VEREDAS HELECHAL Y GUASIMAL
DEL MUNICIPIO DE TENA DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA



5.8.4	Dispositivo Wenner.	51
5.9	METODOLOGÍA	51
5.9.1	Tomografía N°1	53
5.9.2	Tomografía N°2	55
5.9.3	Tomografía N°3	56
5.9.4	Resultado	60
6	CONCLUSIONES	61
7	RECOMENDACIONES	63
8	BIBLIOGRAFÍA	64

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Localización Zona de Estudio	5
Figura 2. Imagen de Mapa geológico de la zona de estudio	8
Figura 3. Imagen del perfil geológico	8
Figura 4. Imagen Mapa geomorfológico.....	12
Figura 5. Imagen Mapa de pendientes.....	13
Figura 6. Imagen Mapa de análisis morfométrico de las microcuencas de las zonas de estudio.....	14
Figura 7. Imagen Mapa de uso actual.....	17
Figura 8. Imagen Mapa de uso potencial	19
Figura 9. Imagen Mapa conflicto de uso del suelo	20
Figura 10. Localización de los Sondeos.....	27
Figura 11. Límites de Atterberg.....	29
Figura 12. Memoria de sondeos.....	36
Figura 13. Imagen Mapa de caracterización geotécnica	37
Figura 14. Valores del coeficiente F_a	40
Figura 15. Valores del coeficiente F_v	41
Figura 16. Clasificación de perfiles de suelo	42
Figura 17. Zona de amenaza sísmica aplicable a edificaciones	43
Figura 18. Mapa de valores de A_a y A_v	44
Figura 19. Grafica q_u Vs D_f	46
Figura 20. Principio teórico de operación de las TER's.....	47
Figura 21. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	48
Figura 22. Resistividades de algunos suelos y rocas.....	50
Figura 23. Dispositivo Wenner.	51
Figura 24. Ubicación de Líneas Tomográficas	53
Figura 25. Perfil 1	54
Figura 26. Perfil 2.....	55
Figura 27. Perfil 3.....	56
Figura 28. Perfil Litológico Línea 1	57
Figura 29. Perfil Litológico Línea 2.....	58
Figura 30. Perfil Litológico Línea 3.....	59

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Fotografía 1. Afloramiento de la Formación Simijaca	9
Fotografía 2. Depósito Cuaternario de tipo Fluvio-Glacial	10
Fotografía 3. Sondeo realizado con el equipo SPT	27
Fotografía 4. Ensayo en campo con el penetrómetro.	28
Fotografía 5. Ensayo de humedad Natural	28
Fotografía 6. Ensayo de Limites de Atterberg.....	29
Fotografía 7. Ensayo de Granulometría.....	30
Fotografía 8. Muestra fallada en el ensayo de compresión inconfiada	30
Fotografía 9. Muestras falladas en el ensayo de corte directo.....	31
Fotografía 10. Instalación del equipo en campo	54
Fotografía 11. Toma de datos en cada uno de los electrodos.....	55

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Clasificación geomorfológica	11
Tabla 2. Rango de pendientes para susceptibilidad	13
Tabla 3. Clasificación de las cuencas.....	14
Tabla 4. Clasificación del uso actual del suelo	17
Tabla 5. Uso del suelo por veredas	18
Tabla 6. Clasificación de uso potencial	19
Tabla 7. Datos de conflicto de uso	20
Tabla 8. Distribución Porcentual de Clima en el municipio de tena	22
Tabla 9. Coordenadas de los sondeos	26
Tabla 10. Tabla de Resumen ensayos de suelos.....	32
Tabla 11. Tabla de Resumen ensayos de suelos.....	33
Tabla 12. Tabla de Resumen ensayos de suelos.....	34
Tabla 13. Tabla de Resumen ensayos de suelos.....	35
Tabla 14. Valores de B y L	39
Tabla 15. Valores de B y L	40
Tabla 16. Valores de sismicidad.....	41
Tabla 17. Valores del coeficiente de importancia para la zona de estudio.	43
Tabla 18. Valores de capacidad portante	45

LISTA DE ANEXOS.

ANEXO 1 - MAPAS TEMÁTICOS

MAPA GEOLÓGICO

MAPA GEOMORFOLÓGICO

MAPA DE PENDIENTES

MAPA DE ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE MICROCUENCAS

MAPA DE USO ACTUAL DEL SUELO

MAPA DE USO POTENCIAL DEL SUELO

MAPA DE CONFLICTO DE USO DEL SUELO

MAPA DE TOPOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

MAPA DE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

ANEXO 2- MEMORIAS DE SONDEOS

ANEXO 3- RESULTADOS DE LABORATORIO

1 ANTECEDENTES

De acuerdo a estudios anteriores que se han realizado en el municipio de Tena como el Esquema de Ordenamiento Territorial, se observa la necesidad de fortalecer el desarrollo económico, social y turístico de la región, implementando obras de infraestructura que mejoren la calidad de vida de los habitantes de este municipio; por tal razón es importante que se realicen estudios geológicos para conocer las características y condiciones en las que se encuentra el terreno y partiendo de estos realizar las correspondientes obras geotécnicas para conocer con la precisión suficiente las características geológico-geotécnicas del terreno en el que va a ejecutarse una obra.

El objeto del estudio es determinar las características geológicas y geotécnicas de los materiales que conforman el terreno en la zona investigada, fundamentalmente bajo el punto de vista de los aspectos que pueden condicionar el desarrollo de diferentes obras, como son la capacidad portante del terreno, el posible aprovechamiento del suelo, y detectar posibles problemas que puedan presentarse en lo referente a la resistencia de los materiales existentes.

2 GENERALIDADES

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Pese a los esfuerzos institucionales por parte de alcaldías, corporaciones y demás entidades y autoridades gubernamentales, no se tiene pleno control, en lo referente a la ocupación del territorio, intervención antrópica y los procesos de degradación que se generan en la cobertura y uso del suelo.

Haciendo un análisis de las dos veredas a evaluar, (veredas Helechal y Guasimal) y teniendo en cuenta que este sector es una de las más grandes reservas hídricas de la Provincia del Tequendama y Cundinamarca, caracterizado por mantener una vegetación virgen, bosques espesos de niebla y una enorme riqueza de fauna y flora; no cuenta, con un estudio geológico y/o una caracterización geotécnica, que determinen en cierta forma sus potencialidades y restricciones, frente al uso adecuado del suelo y el conveniente aprovechamiento de sus recursos disponibles, permitiendo la posible construcción de obras de infraestructura y desarrollo vial, entre otros.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo general

Realizar el Estudio Geológico y Caracterización Geotécnica en el área rural del municipio de Tena, veredas Helechal y Guasimal.

2.2.2 Objetivos específicos

Detallar las condiciones geológicas del área de estudio (escala 1:10.000), perfil geológico. Así como las propiedades físico-mecánicas del suelo y las características geotécnicas del mismo.

Obtener muestras del subsuelo y en superficie; que permitan la caracterización litológica de las formaciones geológicas infra y suprayacentes, presentes en la zona de estudio.

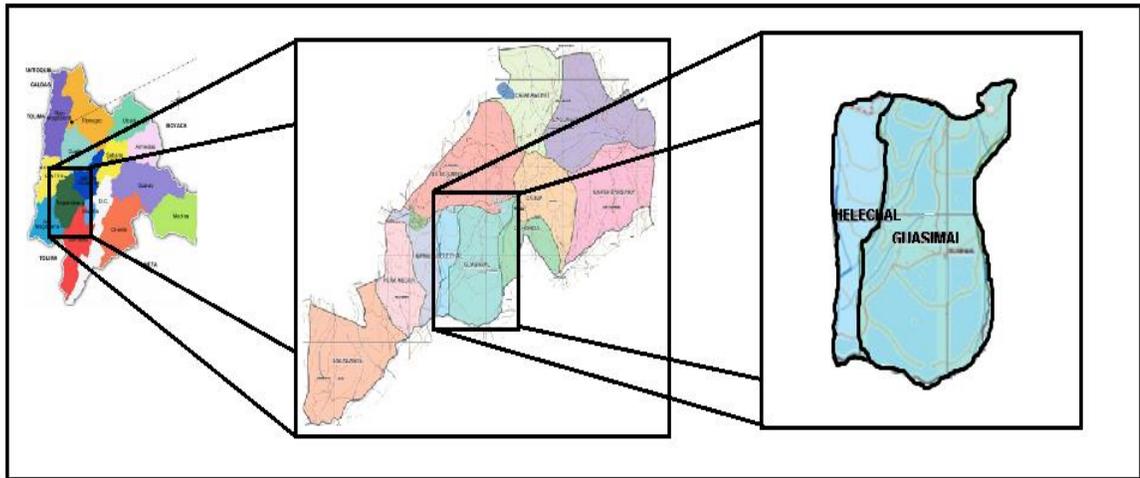
Realizar ensayos “in situ” (Tomografías), en sectores rurales de Tena (veredas Helechal y Guasimal); que permitan conocer, las particularidades de carácter geofísico del suelo. Para posteriormente y en conjunto con los resultados de laboratorio, definir las características geotécnicas del terreno.

Elaboración de los respectivos mapas temáticos y Memorias finales del estudio aquí planteado.

2.3 LOCALIZACIÓN

El municipio de Tena pertenece a la provincia del Tequendama se encuentra localizado en el departamento de Cundinamarca, a una distancia de 61,6 km de Bogotá, el cual se encuentra dentro de la plancha Topográfica 227. III-D-La mesa, a escala 1:10000 del SGC.

Figura 1. Localización Zona de Estudio



Fuente. Los autores

2.4 LÍMITES DEL MUNICIPIO

El municipio de Tena limita al norte con los municipios de Bojacá y San Antonio del Tequendama, Al sur con los municipios del El Colegio y La Mesa, Al este con los municipios de San Antonio de Tequendama y Bojacá y al oeste con el municipio de La Mesa.

2.5 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra localizada en Colombia, en el departamento de Cundinamarca, municipio de tena, área rural, en las coordenadas planas (E: 963702- 965181, N: 1003186–1005004; origen Bogotá, zona central) en la provincia del Tequendama.

2.6 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

El área de estudio se encuentra a 1384 msnm, la parte más alta corresponde a la vereda Helechal, la cual cuenta con una altitud de 1086 msnm aproximadamente, y la cota mínima se encuentra en la vereda Guasimal, con una altitud de 800 msnm aproximadamente. El municipio de Tena hace parte de la Región del Tequendama, Departamento de Cundinamarca.

3 COMPONENTE GEOSFÉRICO

3.1 GEOLOGÍA

3.1.1 Geología Regional

De base a techo, se distinguen materiales sedimentarios del Grupo Villeta y depósitos recientes de edad Cuaternario. Al Grupo Villeta corresponde la Formación Simijaca (Kss) y de edad Cuaternario los depósitos fluvio-glaciares y coluviones.¹

3.1.2 Geología Local

La totalidad del municipio de Tena se encuentra ubicado sobre dos formaciones, la Formación Simijaca y de los depósitos fluvio-glaciares, el coluvión está constituido por bloques subangulares a angulares de arenisca y lutitas, de una estructura arcillo limosa de color gris a negra. Este coluvión subyace en una secuencia de lutitas negras carbonáceas, poco permeables, fracturadas y replegadas correspondientes al grupo Villeta.

Por medio de visitas a campo y la realización de varios sondeos ubicados de manera aleatoria en diferentes zonas consideradas técnicamente de interés, se determinaron a una escala más detallada, las características geológicas de la Formación Simijaca y de los depósitos fluvio-glaciares.

Los planos de foliación de la lutita, unidas a su alto grado de meteorización y la posición inclinada de las formaciones, facilitan el almacenamiento de las aguas que se infiltran y circulan entre las capas de terreno.²

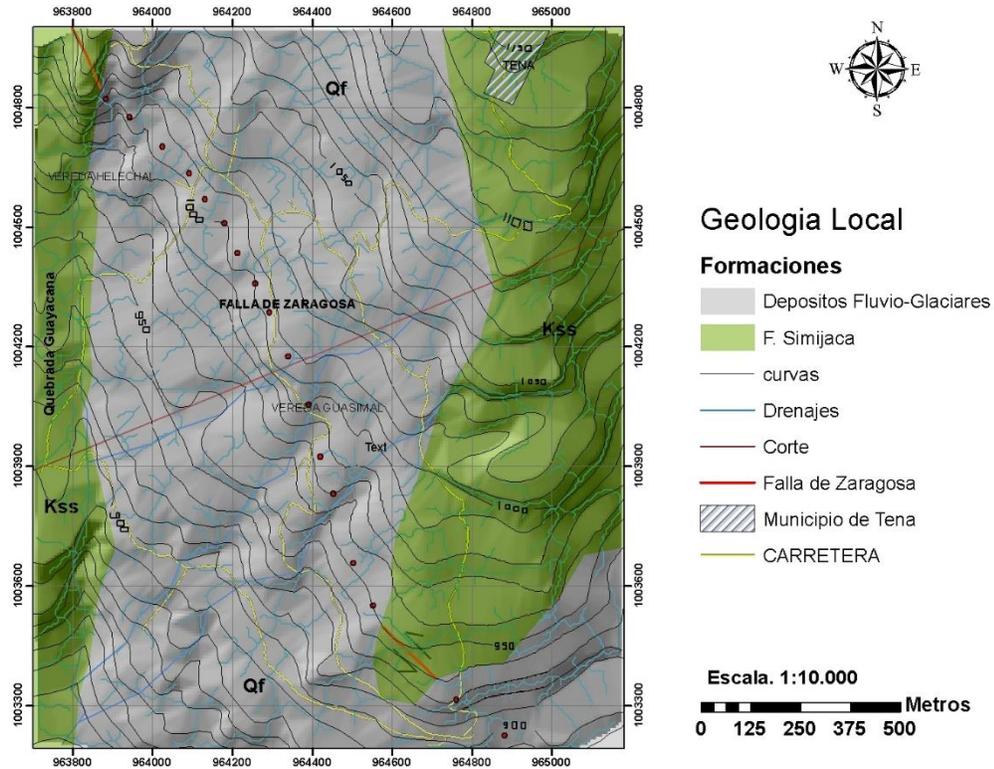
3.2 ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA

En el sector, afloran rocas sedimentarias, que cronológicamente, abarcan desde el Cenomaniano hasta la edad reciente.

¹ Geología de la Plancha 227 La Mesa, memoria explicativa 1998

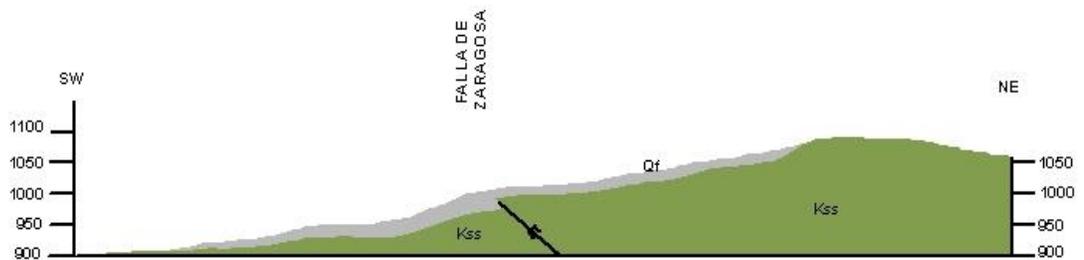
² Memoria explicativa 1998.1

Figura 2. Imagen de Mapa geológico de la zona de estudio



Fuente. Resultados del estudio

Figura 3. Imagen del perfil geológico



Fuente. Resultados del estudio

Se ha identificado de la más antigua a la más reciente las siguientes formaciones:

3.2.1 Formación Simijaca (Kss).

Pertenciente al Grupo Villeta, se describe una sucesión de lodolitas y limolitas grises oscuras, con intercalaciones de arenitas cuarzosas, en parte arcillosas, que infrayacen la Formación La Frontera y suprayacen las Areniscas de Chiquinquirá (Formación Une); su base está marcada por la primera aparición de arcillolitas gris medio, laminadas no calcáreas y micáceas, mientras que su techo (inmediatamente debajo de la Formación La Frontera), se caracteriza por la presencia de limolitas de cuarzo a cuarzoarenitas de grano medio, con laminación ondulosa paralela a no paralela, bioturbación y moldes de bivalvos.³

La parte media e inferior de Esta unidad consiste fundamentalmente en arcillolitas a lodolitas laminadas de color gris a negro, en las que son frecuentes escamas de peces y en menor proporción impresiones de pequeños bivalvos y amonitas, como también fragmentos de pequeños crustáceos. Excepcionalmente ocurren impresiones de hojas (Municipio de Tena). La edad sugerida para esta unidad es Cenomaniano.⁴

Fotografía 1. Afloramiento de la Formación Simijaca



Coordenadas: E: 964.800 N: 1'003.922

Fuente. Los autores.

³ Geología de la Plancha 227 La Mesa, memoria explicativa

⁴ Memoria explicativa 2

3.2.2 Depósito Fluvio - glacial.

Se describen acumulaciones de gravas semiredondeadas que tienen diámetros entre 2 a 6 cm, que aparecen embebidas en gruesas matrices arenosas y limoarcillosas de depósitos semiconsolidados, que incluyen frecuentes bloques rocosos de varios centímetros a algunos decímetros de grosor. Compuesto por bloques y cantos de gran tamaño de areniscas duras, en un arreglo irregular con muy poca gradación, englobados dentro de una matriz de composición variable, compuesta de una mezcla de arenas, limos y arcillas que hacen parte de la cubierta de material erosionado.⁵

Fotografía 2. Depósito Cuaternario de tipo Fluvio-Glacial



Coordenadas: E: 964.793 N: 1003.726

Fuente. Los autores

3.3 ESTRUCTURAS ENCONTRADAS

Se presenta la Falla de Zaragoza, a la altura de la vereda del mismo nombre; esta falla, que limita por el sur la zona, es una estructura de cabalgamiento que tiene una dirección N 50° W y vergencia hacia el suroeste; a la altura del cerro Pan de Azúcar.

⁵ Geología de la Plancha 227 La Mesa, memoria explicativa 1998.

La secuencia que generó este sistema posiblemente se desarrolló de oeste a este a manera de over step thrust sequence; esto se infiere porque en cada cabalgamiento se fueron adosando unidades cada vez más jóvenes hacia el oriente; sin embargo, dentro de este sistema siempre se ve involucrada la parte superior del Grupo Villeta, (formaciones Simijaca, La Frontera y Conejo).⁶

3.4 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología corresponde al estudio del paisaje y su proceso de formación en función de diferentes características presentes en las rocas sobre las que se encuentra y los procesos exógenos a las que han sido sometidas. Para la caracterización de las diferentes unidades geomorfológicas se usó el glosario de unidades y subunidades geomorfológicas del Servicio Geológico Colombiano; el territorio del municipio de Tena se generó en un ambiente morfogenético denudacional-estructural y antrópico. Dentro de este ambiente se define unidades tales como: Colinas y lomas denudacionales estructurales, Escarpe menor de origen estructural denudacional sobre contrapendientes, Colinas y lomas estructurales denudacionales muy disectadas y pendientes muy fuertes, Escarpe mayor de origen estructural denudacional, Unidad de origen estructural denudacional sobre pendiente estructural sobre rocas sedimentarias clásticas y territorios Artificializados. (Ver tabla 1)

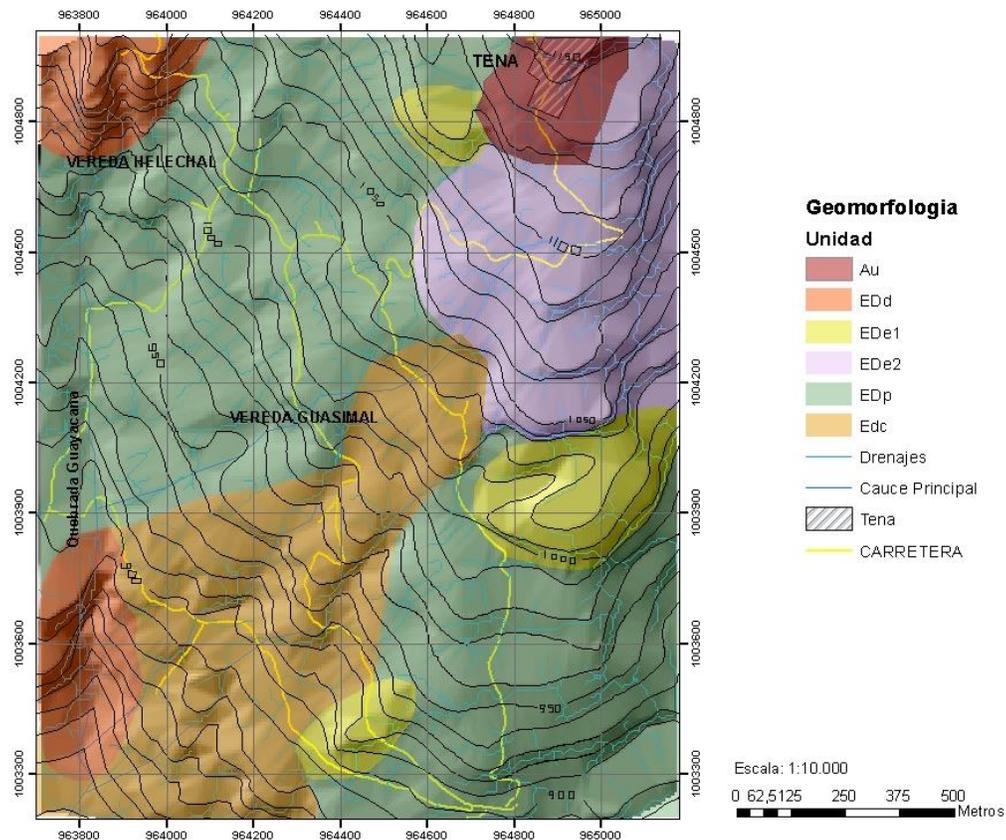
Tabla 1. Clasificación geomorfológica

Unidad	Símbolo	Valor	Área (km ²)	%
Áreas Urbanas.	Au	3	10,257	3,8
Colinas y lomas denudacionales estructurales.	Edc	3	52,24	19,49
Escarpe menor de origen estructural denudacional sobre contrapendientes.	EDe2	2	36,95	13,787
Colinas y lomas estructurales denudacionales muy disectadas y pendientes muy fuertes.	EDd	4	20,1	7,5
Escarpe mayor de origen estructural denudacional.	EDe1	2	19,49	7,304
Unidad de origen estructural denudacional sobre pendiente estructural sobre rocas sedimentarias clásticas	EDp	3	128,96	48,119

Fuente. Resultados del estudio

⁶ Geología de la Plancha 227 La Mesa, memoria explicativa 1998.

Figura 4. Imagen Mapa geomorfológico

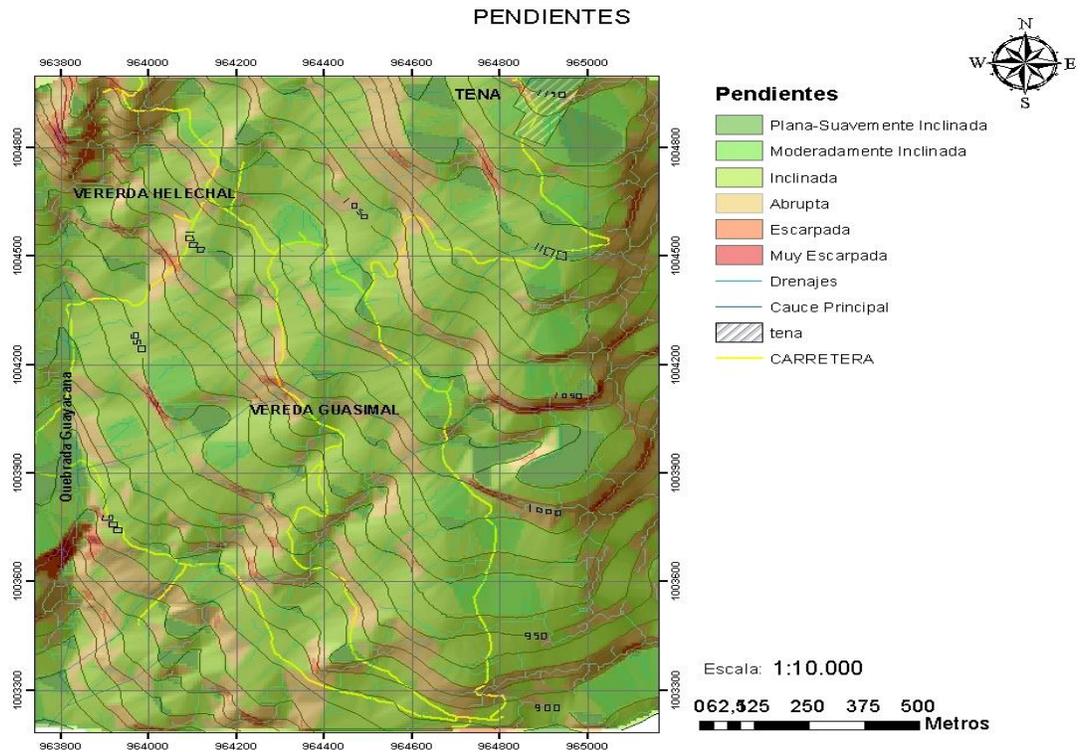


Fuente. Resultados del estudio

3.5 PENDIENTES

Este mapa se obtiene del DEM utilizando un slope en ARCGIS, el cual según la clasificación de la FAO nos permitió analizar que la zona de estudio cuenta con pendientes menores del 15%, se encuentra en las veredas el Escalante, Peña Negra parte baja, Betulia. Pendientes entre 16% a 30%, se encuentra en las veredas Betulia, Guasimal, Helechal Peña Negra y en mayor porcentaje en las veredas La Honda, Escalante parte centro, El Rosario y Santa Bárbara. Pendientes entre el 31% y 45% en las veredas La Honda, Cativa, Rosario, Santa Bárbara, Catalamonte, Laguneta y Parte Centro. Pendientes más del 45%, en la parte alta del Municipio.⁷

⁷ Diagnostico EOT 2013, Tena-Cundinamarca.

Figura 5. Imagen Mapa de pendientes


Fuente. Los autores

Tabla 2. Rango de pendientes para susceptibilidad

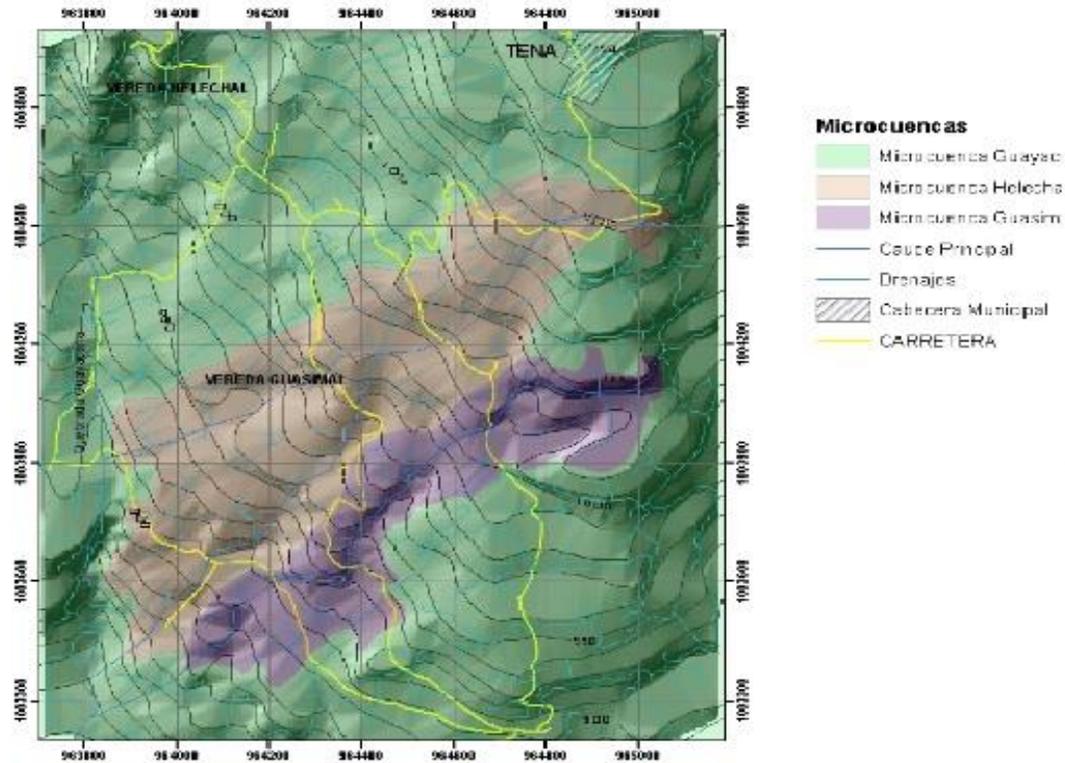
Rango °	Rango (%)	Unidad	Valor	Área (km ²)	%
0-5	0-9	Plana - Suavemente Inclinada	1	18,938	7,06
5-10	0-18	Moderadamente Inclinada	1	21,8	8,134
10-15	18-27	Inclinada	2	154,948	57,617
15-30	27-60	Abruapta	3	66,6	24,851
30-45	60-100	Escarpada	5	5,22	1,94
> 45	> 100	Muy Escarpada	4	0,49	0,398

Fuente. FAO

De acuerdo con los resultados mostrados en la Figura N^o 4 y la Tabla N^o 2 se puede concluir que la zona de estudio predomina las pendientes inclinadas (10-15) y abruptas (15-30).

3.6 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LAS MICROCUENCAS

Figura 6. Imagen Mapa de análisis morfométrico de las microcuencas de las zonas de estudio



Fuente. Resultados del estudio

Tabla 3. Clasificación de las cuencas

Microcuenca	Factor de forma	Área (km ²)	%	Tamaño	Forma de la cuenca
Guayacana	0,7016	189,2878	70,63	Pequeña	Ensanchada
Helechal	0,1978	51,05	19,26	Pequeña	Muy alargada
Guasimal	0,1948	27,1042	10,11	Pequeña	Muy alargada

Fuente. Resultados del estudio

Teniendo la línea divisoria de aguas, que es una línea imaginaria que delimita las cuencas hidrográficas y parámetros como el área y la longitud de cada una de las microcuencas, se tuvo como resultado los datos de la figura N°7 y tabla N° 3 fue posible delimitar algunos parámetros morfométricos de las cuencas existentes el área de estudio con lo cual se concluye que existe dos formas de microcuencas: ensanchada y muy alargada.

3.7 DESCRIPCIÓN GEODINÁMICA

Agentes o fuerzas que interviene en los procesos dinámicos de la tierra las cuales se dividen en procesos endógenos y procesos exógenos de la superficie de la tierra.

3.7.1 Amenazas Geológicas

En el municipio de Tena se identifican amenazas geológicas potencializadas por procesos erosivos, formas estructurales, tectónica e Hidrodinámica.

En el municipio tiene influencia la Falla de Zaragoza, siendo la amenaza más representativa, generando movimientos en masa. Es la amenaza geo ambiental más frecuente en el municipio.

3.7.1.1 Causas de los movimientos en Masa

Factores Condicionantes:

- La deforestación intensa de los terrenos y los usos inadecuados de los suelos.
- La pendiente topográfica de las laderas (de inclinada a abrupta) para el caso de las veredas Helechal y Guasimal se encuentran entre 15 y 30%. Lo cual ayudado por otros factores como la infiltración de agua, permite la generación de fenómenos de inestabilidad.

Factores Detonantes

- La composición geológica de los terrenos, los cuáles están constituidos principalmente por lutitas blandas, laminares y fisibles, fracturadas y muy meteorizadas, suelos residuales y orgánicos, los cuáles constituyen materiales con bajas condiciones geotécnicas de resistencia ante los fenómenos de inestabilidad.
- Un factor determinante es la presencia de aguas de escorrentía superficial mal encausadas, provenientes de las viviendas (servidas), y de las altas precipitaciones.
- La geomorfología encontrada en la zona de estudio y su proceso de formación en función de diferentes características presentes en las rocas sobre las que se encuentra y los procesos exógenos a las que han sido sometidas.

3.7.2 Escenarios de Riesgos

Fenómenos de inestabilidad se han evidenciado desde hace varios años en el municipio. Uno de los más importantes se localiza en el costado oriental del casco urbano, el cual, corresponde a un movimiento en masa antiguo sobre material coluvial y suelo residual, que ha provocado, deslizamientos de tipo rotacional en los sitios de pendiente más alta mientras en los sectores de pendiente moderada a baja, ocurren fenómenos de reptación. Todos los fenómenos de inestabilidad, están relacionados con la litología, el tectonismo regional, el mal manejo de aguas superficiales, el poder erosivo de las corrientes, la actividad antrópica y mal uso del suelo.⁸

3.8 SUELOS

Sistema complejo donde ocurre una extensa gama de procesos físicos y biológicos que se ven reflejados en la gran variedad de suelos existentes, son muchos los procesos que pueden contribuir creando un suelo particular algunos de estos son la deposición eólica, sedimentación en cursos de agua, meteorización y deposición de materia orgánica etc.

Es conveniente analizar el manejo dado a los recursos a nivel rural, para así determinar si se está realizando un uso adecuado del suelo o si es necesario modificar y definir el uso más adecuado.

3.8.1 Uso Actual

Este mapa se obtuvo mediante el análisis de la imagen satelital de la zona de estudio en la cual se identificaron tres tipos de cobertura, además para caracterización y observación de las diferentes unidades de cobertura vegetal se realizaron visitas de campo y recopilación de información, en el cual se evaluó la estructura de las diferentes unidades de cobertura vegetal.

El uso actual de la zona de estudio es ocupado por ganadería, seguida por la agricultura extensiva en las zonas planas, onduladas y de pendientes moderadas. En las zonas más altas, el suelo requiere un uso forestal, En las zonas más bajas se desarrollan cultivos de mora, arveja, pitaya, café y pastos entre otros (Ver Tabla N° 4)

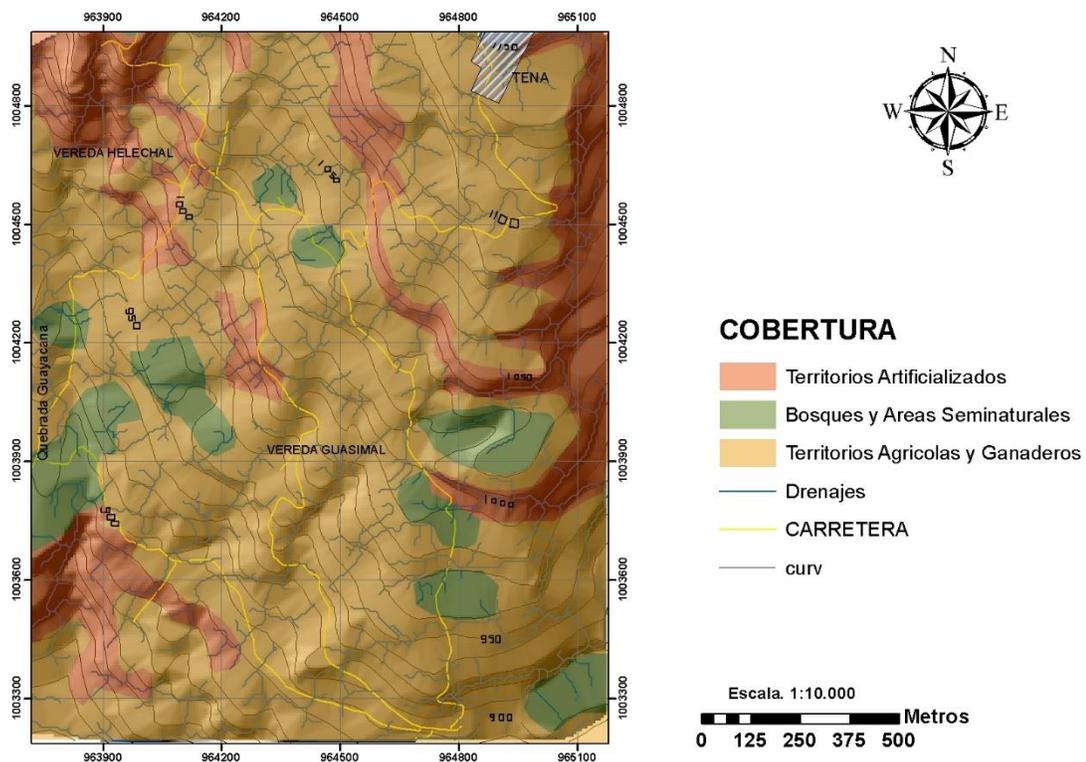
⁸ Plan de Gestión de Riesgo, Tena-Cundinamarca 2012

Tabla 4. Clasificación del uso actual del suelo

COBERTURA	LEYENDA	ÁREA (km ²)	%
Territorios Artificializados	Zonas verdes artificializadas no agrícolas	25,2864	9,4453
Bosques y Áreas Seminaturales	Grupo de cobertura vegetal de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo	60,6494	22,6306
Territorios Agrícolas	Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes transitorios, áreas de pastos y zonas agrícolas heterogéneas	182,0612	67,9241

Fuente. Resultados del estudio

Figura 7. Imagen Mapa de uso actual



Fuente. Resultados del estudio

3.8.2 Uso Potencial

En el municipio de tena se tiene tres sistemas productivos con las siguientes características:

El primer sistema se encuentra al sur-occidental predominando el clima cálido con un uso intensivo de la tierra por la facilidad de riego. Se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas.

El segundo sistema está representado por un alto porcentaje de cultivos y pastos hacia la parte sur, y hacia la parte central y norte cultivos en sombrío y arbustos.

El tercer sistema presenta una cobertura vegetal arbustiva y subarbustiva con limitaciones de uso por pendiente y pedregosidad del suelo.⁹

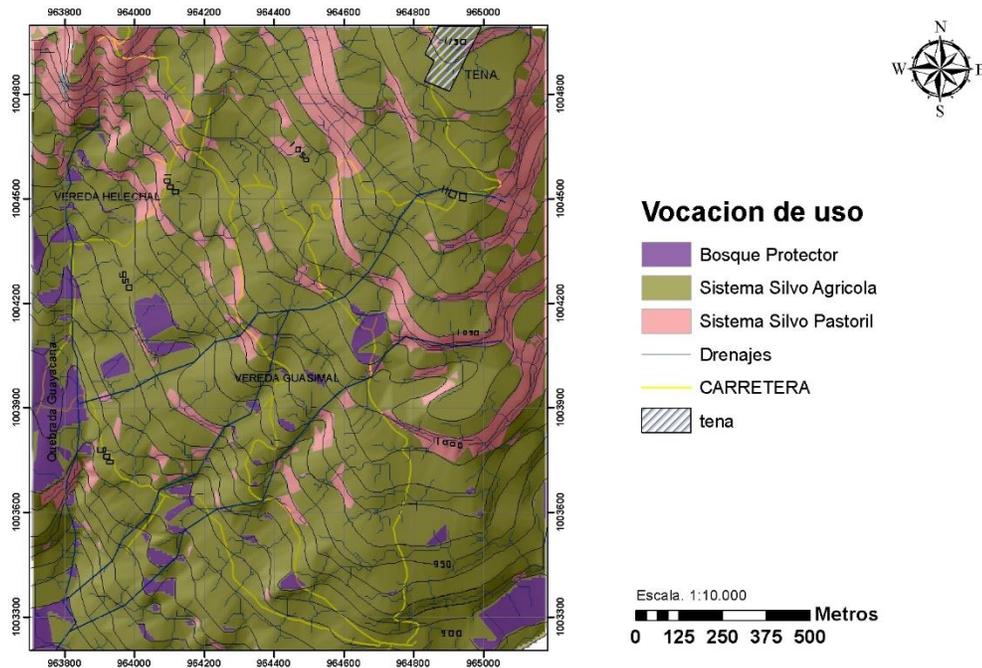
Tabla 5. Uso del suelo por veredas

VEREDA	CULTIVOS	ACTIVIDAD
Escalante	Pasto, Frutales, Caña de Azúcar	Ganadería
Peña Negra	Frutales, Platano	Ganadería
Betulia	Frutales	Ganadería
Helechal	Frutales, Pepino, Tomate, Estropajo	Galpones
Guasimal	Pepino, Estropajo, Tomate	Galpones
La Honda	Frutales, Aromática, Tomate	Ganadería
Cativa	Café, Maíz, Tomate, platano, Frijol, Arveja	Ganadera
Santa Barbara	Pasto, Mora, Café, Frutales, Arveja, Maíz, Bosques	Ganadería
Laguneta	Pasto, Mora, Lulo, Bosques	Ganadería
Catala monte	Pasto, Mora, Aerveja, Bosques	Ganadería
Rosario	Café, Platano, Pitaya	Ganadería

Fuente. Esquema de Orden Territorial

⁹ Diagnostico EOT 2013, Tena-Cundinamarca. Pág. 19

Figura 8. Imagen Mapa de uso potencial



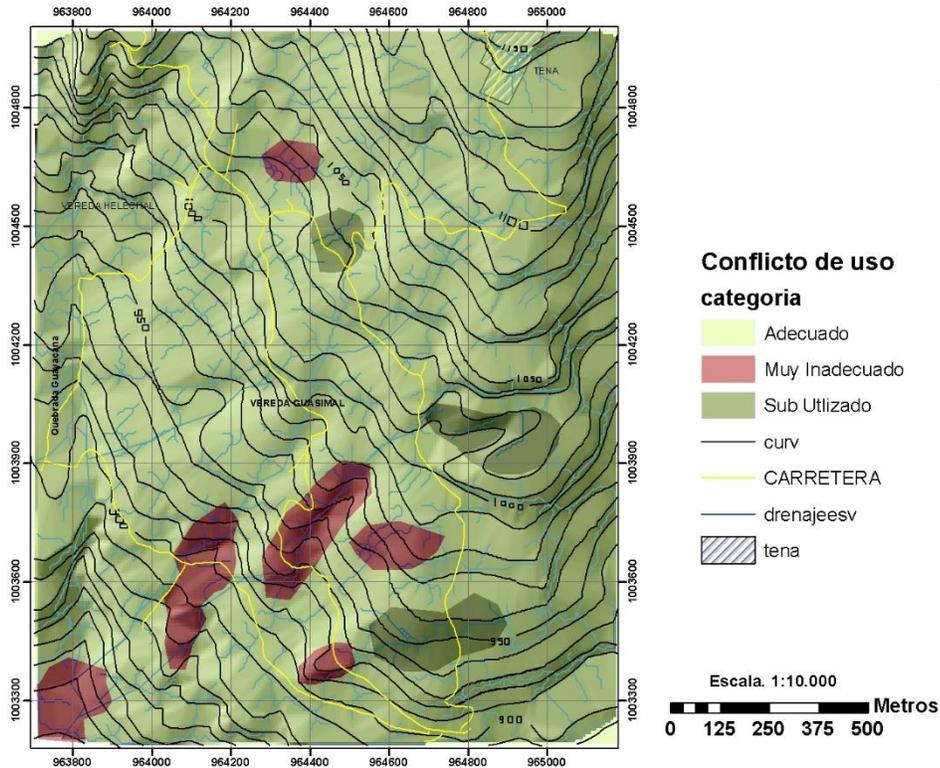
Fuente. Resultados del estudio

Tabla 6. Clasificación de uso potencial

VOCACIÓN DE USO	LEYENDA	ÁREA (km ²)	%
Bosque Protector	Bosque que no permite el aprovechamiento comercial de la madera ni la remoción del suelo, conservando en forma permanente su vegetación	16,1496	6,036
Sistema Silvo Agrícola	Comunidad de plantas que se asemejan a un bosque natural, generalmente de múltiples estratos el cual contiene árboles maduros grandes y plantas bajo el dosel, tolerantes a la sombra	209,509	78,164
Sistema Silvo Pastoril	Incorporan un almacenamiento arbóreo discontinuo sobre una cubierta continua de pasto	42,3384	15,8

Fuente. Resultados del estudio

Figura 9. Imagen Mapa conflicto de uso del suelo



Fuente. Resultados del estudio

Tabla 7. Datos de conflicto de uso

Conflicto	Área (km2)	%
Adecuado	239,341	89,8
Muy inadecuado	16,62	6,23
sub utilizado	10,5373	3,97

Fuente. IGAC

Analizando el mapa de conflicto de uso y la tabla N° 7 se puede determinar que el suelo en el área del estudio en su mayoría tiene un uso adecuado, ocupado por agricultura, este mapa resulta de superponer el mapa del uso potencial del suelo y el mapa de uso actual del suelo y aplicándola metodología de la corporación de defensa de la meseta de Bucaramanga, la cual define tres tipo de conflictos de uso, propios de la zona de estudio.

3.8.3 Uso recomendado

Es por ello recomendable, dar a las zonas planas y fértiles un uso agrícola con cultivos comerciales y un uso ganadero de tipo extensivo. Las áreas con pendientes suaves que conforman el relieve ondulado es útil explotarlo con cultivos; las laderas con pendientes moderadas a fuertes destinarlas a la ganadería y las zonas con pendientes muy fuertes dedicarlas a las acciones de reforestación y revegetalización.

4 COMPONENTE ATMOSFÉRICO

4.1 CLIMA

El clima está regulado por el sistema de circulación intertropical: la convergencia de las corrientes de aire (vientos alisios) de alta presión septentrionales y meridionales, forman una faja de baja presión; esta faja contiene un elevado porcentaje de humedad e inestabilidad en el aire, que influyen localmente en el incremento o disminución de la lluviosidad y el clima en general, lo que origina abundante precipitación en el área, “induciendo en su doble paso por la zona, a un régimen climático bimodal, con dos períodos de lluvia máximas en abril y en octubre y dos épocas intermedias en que disminuye la precipitación considerablemente¹⁰

4.2 TEMPERATURA

La temperatura presente en la región, teniendo en cuenta datos de la estación meteorológica de Las Mercedes, fluctúa entre 17 ° C de temperatura mínima (promedios mensuales anuales) y temperatura media 21 ° C. La Temperatura Media Urbana es de 20 ° C, mientras que en el centro poblado de La Gran Vía, la temperatura es de 22 ° C.¹¹

4.3 PRECIPITACIÓN

La precipitación media del área de estudio presenta un comportamiento bimodal característico de zonas tropicales que varía entre 1800 y 2.300 mm por año, con dos períodos de precipitación alta entre marzo y mayo y entre octubre y noviembre, siendo los meses más secos julio y agosto.¹²

4.4 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa en tiempo seco es de 70% y en tiempo de lluvia es del 90%. Los pisos térmicos se encuentran distribuidos en toda la extensión del municipio así:

Tabla 8. Distribución Porcentual de Clima en el municipio de tena

Clima	Hectáreas	Porcentaje (%)
Clima Cálido	1100	22
Clima Medio	3100	62
Clima Frio	800	16

Fuente. Planeación municipal Tena-Cundinamarca.

¹⁰Diagnóstico EOT, 2013Tena-Cundinamarca. Pág. 5

¹¹ Instituto de Hidrografía, meteorología y Medio Ambiente de Colombia

¹² Idem 11

4.5 BRILLO SOLAR

El brillo solar tomado de la estación meteorológica las Mercedes para un valor diario que atiende a un valor promedio anual es de 5,1 horas sol / día anual ¹³

4.6 VIENTOS

De acuerdo a los datos obtenidos de la estación meteorológica Las Mercedes, del Instituto de Hidrografía, Meteorología y Medio Ambiente de Colombia , la velocidad promedio mensual del viento de 1,4 m/s, con dirección Norte-oeste.¹⁴

4.7 COBERTURA VEGETAL

En la cobertura vegetal se destacan tres tipos de estratos: **Arbóreo**, con especies como el Roble, Cedro, Amarillo, Ocotea, Encenillo, Aliso, Yarumos, Laurel, Cucharos, Pedro Hernández, Pino Romeron, Sauce, Nogal, Balso, Cajeto, Arrayan, Arboloco, Zapato, Lloron, Caucho, Candelero, el Chilco, el Pauche, el Angelito, Guayacan de Manizales. El Sauco que acompañados de pastos y musgos conforman un ambiente de **bosque húmedo montano**, localizándose en la parte alta del municipio en las veredas Laguneta, Catalamonte y Santa Bárbara. **Arbustivo**; con especies como el uva de monte, motiño, moras, chulco, gaques, laurel de monte, jazmín de monte, tuno y helechos arbóreos localizados en la parte alta. Sauce, Guamo, Guayabo y Cedro Rojo. Localizados en la vereda el Rosario, parte baja de las veredas Catalamonte, Laguneta y Santa Bárbara y parte alta de las veredas Guasimal, Helechal y Betulia. Herbácea con una gran variedad de especies.¹⁵

4.8 CLASIFICACIÓN ZONAS DE VIDA

El área cuenta con una diversidad climática que fue clasificada según la guía de planificación de unidades familiares de producción (corporación de defensa de la meseta de Bucaramanga) L.E HOLDRIDGE ubicada entre los rangos altitudinales de los 850 a 2.200 m.s.n.m., en dos (2) formaciones vegetales que son: bosque húmedo premontano (bh-PM), bosque muy húmedo premontano (bmh-PM)

4.8.1 Bosque Húmedo Premontano (bh-PM)

Localizado en la zona cafetera, con una biotemperatura entre 18 y 24 grados centígrados, con un promedio anual de lluvias de 1.000 a 2.000 m.m. tiene un rango altitudinal entre 900 y 2.000 m.s.n.m.

¹³ Idem 11

¹⁴ Estación meteorológica de Las Mercedes

¹⁵ Plan De Desarrollo Turístico De Tena 2012

El balance hídrico en esta zona de vida es normal, excepto en períodos de intensa sequía.

4.8.2 Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-PM)

Extendida también en la zona cafetera, característico de toda parte septentrional de la Cuenca 18, en un rango altitudinal de los 1.000 a 2.000 m.s.n.m. En esta formación, la lluvia excede los a la evaporación - transpiración, quedando un excedente de agua en el suelo.

5 GEOTECNIA

El proyecto contempla el estudio de suelos de las veredas Guasimal – Helechal municipio de Tena los cuales serán empleados por el ingeniero civil para diseñar las obras de infraestructura más adecuadas. El área donde se ubica el proyecto tiene una superficie de pendiente inclinada y variada cuyo nivel actual es la base para determinar la profundidad de cimentación de las nuevas obras; de acuerdo con los criterios de exploraciones geotécnicas (Norma NSR- 10, Título H) a la disposición geométrica y dimensiones de las instalaciones, al tipo de construcciones que se piensa realizar y a la distribución del proyecto.

Las principales fuentes de información para el estudio geotécnico fueron la observación de campo, los datos obtenidos de la exploración geológica, la exploración directa del suelo y las pruebas en laboratorio (Humedad Natural, Límites de Atterberg, Granulometría, Compresión Inconfinada, Corte directo)

5.1 EXPLORACIÓN DE CAMPO

Mediante la realización de visitas a campo y la implementación de sondeos (métodos directos de exploración) fue posible determinar las características geomecánicas del subsuelo.

5.2 EXPLORACIÓN DIRECTA DEL SUBSUELO

La exploración directa del subsuelo consiste en la realización de sondeos (30) alcanzando una profundidad máxima de exploración entre 0m a 3,00 metros con sus respectivas coordenadas; se efectuaron con el equipo SPT y el penetrómetro. De estos se tomaron muestras alteradas e inalteradas para realizar los ensayos pertinentes para la caracterización de los materiales presentes en la zona.

Se concluye que el material del substrato está conformado por suelos arcillosos y limosos, y esporádicos lentes granulares de tipo coluvial. Los suelos arcillosos son compactos de mediana resistencia y de origen fluvio-glacial.

El área en su totalidad tiene una superficie de pendiente variable, encontrándose sectores de pendiente baja y sectores de pendiente alta o abrupta.

No se encontró nivel freático sin embargo por correlación con los perfiles de suelos se aprecia que los niveles freáticos se localizan únicamente en las capas granulares del perfil de suelos a manera de acuíferos confinados.

5.2.1 Caracterización del suelo y subsuelo

5.2.1.1 Trabajos de laboratorio

Se realizó muestreo en cada uno de los sondeos catalogando las muestras: Sondeo 1 S1, Muestra 1 M1 = S1M1.

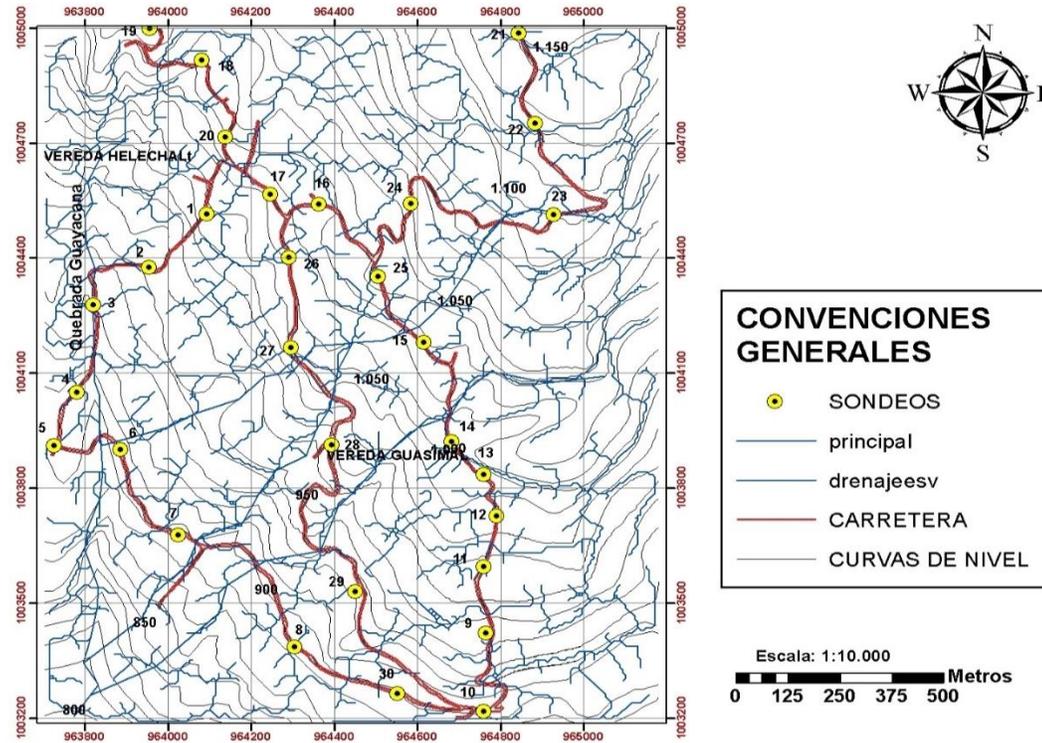
Las muestras fueron llevadas a laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la UPTC sede Sogamoso para realizar los ensayos correspondientes como (Límites de Atterberg, Granulometría, Humedad Natural, Compresión Inconfinada y Corte directo) para conocer las propiedades físico – mecánicas del suelo.

Tabla 9. Coordenadas de los sondeos

TENA		
Sondeo N°	Coordenadas	
	Norte	Este
1	1,004,541	964,095
2	1,004,375	963,956
3	1,004,278	963,821
4	1,004,050	963,781
5	1,003,913	963,726
6	1,003,903	963,885
7	1,003,678	964,025
8	1,003,385	964,305
9	1,003,422	964,766
10	1,003,217	964,762
11	1,003,594	964,762
12	1,003,726	964,793
13	1,003,835	964,762
14	1,003,919	964,681
15	1,004,178	964,618
16	1,004,541	964,365
17	1,004,568	964,245
18	1,004,915	964,081
19	1,005,004	963,954
20	1,004,716	964,136
21	1,004,991	964,834
22	1,004,754	964,882
23	1,004,519	964,924
24	1,004,539	964,587
25	1,004,355	964,506
26	1,004,403	964,292
27	1,004,166	964,296
28	1,003,906	964,393
29	1,003,530	964,450
30	1,003,263	964,552

Fuente. Los autores

Figura 10. Localización de los Sondeos



Fuente. Los autores

Fotografía 3. Sondeo realizado con el equipo SPT



Fuente. Los autores

Fotografía 4. Ensayo en campo con el penetrómetro.



Fuente. Los autores

5.2.2 Propiedades índices de los suelos

Humedad Natural: Es una relación gravimétrica definida como la relación existente entre el peso del agua y el peso de los sólidos en un volumen dado de suelo. La humedad natural es una propiedad física del suelo es de gran utilidad en la construcción civil y se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están regidos, por la cantidad de agua que contienen.

Fotografía 5. Ensayo de humedad Natural

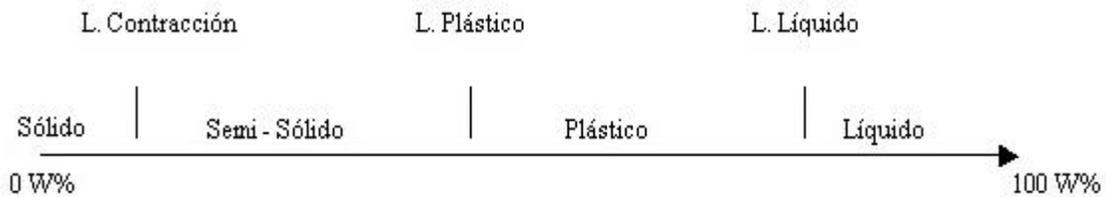


Fuente. Los autores

Límites de Atterberg: El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

Atterberg definió tres límites para la clasificación del suelo; el de retracción o consistencia que separa el estado de sólido seco y el semisólido, el límite plástico, que separa el estado semisólido del plástico y el límite líquido, WL, que separa el estado plástico del semilíquido; estos dos últimos límites (los más usados en la práctica) se determinan con la fracción de suelo que pasa por el tamiz n.º 40 A.S.T.M (0,1 mm)

Figura 11. Límites de Atterberg



Fuente. Juárez Badillo y Rico Rodríguez

Fotografía 6. Ensayo de Límites de Atterberg



Fuente. Los autores

Granulometría: Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Fotografía 7. Ensayo de Granulometría



Fuente. Los autores

5.2.3 Propiedades mecánicas de los suelos

Compresión Inconfinada: El objetivo primario del ensayo de compresión inconfinada es obtener rápidamente un valor aproximado de la resistencia a la compresión de los suelos que tienen suficiente cohesión para ser sometidos a dicho ensayo.

Fotografía 8. Muestra fallada en el ensayo de compresión inconfinada



Fuente. Los autores

Corte directo: Con el ánimo de establecer la resistencia al corte de algunos de los materiales más débiles dentro del área de estudio, se llevaron a cabo pruebas de corte directo en los suelos presentes para establecer las condiciones de resistencia disponible en la zona y llegar a realizar el análisis con respecto a las fuerzas actuantes.

Fotografía 9. Muestras falladas en el ensayo de corte directo



Fuente. Los autores

5.2.4 Resumen de resultados

En general los ensayos realizados reflejan la particularidad de materiales finos en el subsuelo. Según la Carta de Clasificación de Casagrande, los suelos fueron clasificados dentro del grupo CL (arcilla inorgánica de baja a media plasticidad) y ML (material limoso de baja plasticidad), con peso unitario de 1.65 – 2.03 gr/cm³, con límite líquido < 50% e IP entre 1,12% y 21%.

Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 1.01– 3.9 kg/cm², cohesión de 0.4 – 1.3 Kgf/cm², ángulos de fricción entre 5° y 45°. Con estos datos se puede comprobar que los suelos presentes necesitan un manejo adecuado a la hora de realizar cualquier obra de infraestructura puesto que algunos sectores cuenta con características desfavorables que pudieran influir sobre la estabilidad de las estructuras proyectadas.

Se presentan los formatos correspondientes a los ensayos de laboratorio, de los cuales se muestra una tabla de resumen (Tabla 10,11,12,13), en la Figura 13, se muestra la memoria del sondeo 2 donde están plasmadas todas las propiedades físicas y mecánicas del terreno de la zona de estudio.

Tabla 10. Tabla de Resumen ensayos de suelos

MEMORIA DE SONDEOS																
PROYECTO:		ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION GEOTECNICA EN EL SECTOR RURAL DE LAS VEREDAS HELECHAL Y GUASIMAL DEL MUNICIPIO DE TENA - DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA														
APIQUES/MUESTREO		S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8-S9														
LOCALIZACION:		SECTOR RURAL, VEREDAS GUASIMAL-HELECHAL MUNICIPIO DE TENA, CUNDINAMARCA														
	FECHA:	JULIO DE 2015														
	inalterada															
	alterada															
RESISTENCIA AL CORTE SUELOS																
SONDEO / APIQUE N°	MUESTR A N°	PROF. (m)	PROPIEDADES FISICAS SUELOS						CORTE DIRECTO		λ HUMEDO	λ SECO		COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO
			Wn (%)	LL	LP	IP	CLASIF (U.S.C.)	P.T. # 200	C	φ	Peso Unitario	Peso Unitario	qu(kg/cm²)	C(kg/cm²)	BOLSILLO Kg/cm²	
S1	M1	1,00	27,51													4
	M2	1,50	21,99	32,28	25,26	7,01	ML	0,622	1,01	10,40	1,97	1,74	1,37	0,685	4	
S2	M1	1,35	20,43												4	
	M2	1,80	13,82	20,32	15,0	5,32	CL-ML	2,24	1,97	33,20	1,65	1,43	1,06	0,53	4	
S3	M1	1,00	20,33												3,5	
	M2	1,74	19,10	44,09	30,36	13,74	ML	4,65	1,53	9,31	1,96	1,67	2,175	1,0875	4	
S4	M1	1,50	12,07												4	
	M2	1,70	17,82	45,37	31,48	13,88	ML	0,46	1,27	26,5	1,94	1,6600	1,72	0,86	4	
S5	M1	1,50	12,20												3,5	
	M2	1,65	12,58	28,92	22,50	6,42	CL-ML	0,035	1,89	6,39	1,96	1,66	1,5	0,75	3,5	
S6	M1	1,70	13,84												3,5	
	M2	1,90	2,92	29,58	19,32	10,26	CL	0,063	0,7	10,8	2,03	1,74	2,30	1,15	3,5	
S7	M1	1,25	20,75												4	
	M2	1,80	11,78	36,27	22,99	13,29	CL	1,47	0,76	10,42	2,02	1,87	1,47	0,735	4	
S8	M1	1,60	17,70												4	
	M2	1,65	10,02	44,47	23,81	20,66	CL	0,146	0,68	16,06	2,0	1,71	1,20	0,6	4	
S9	M1	1,60	26,72												4	
	M2	1,80	10,74	48,14	31,58	16,56	ML	0,518	1,24	5,93	1,84	1,55	1,05	0,525	4	

Fuente. Resultados del estudio

Tabla 11. Tabla de Resumen ensayos de suelos

MEMORIA DE SONDEOS																	
PROYECTO:		ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION GEOTECNICA EN EL SECTOR RURAL DE LAS VEREDAS HELECHAL Y GUASIMAL DEL MUNICIPIO DE TENA - DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA															
APIQUES/MUESTREO LOCALIZACION:		S10-S11-S12-S13-S14-S15-S16-S17-S18-S19 SECTOR RURAL, VEREDAS GUASIMAL-HELECHAL MUNICIPIO DE TENA, CUNDINAMARCA															
FECHA:		JULIO DE 2015															
inalterada																	
alterada																	
		PROPIEDADES FISICAS SUELOS							CORTE DIRECTO		λ HUMEDO		λ SECO		COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO
SONDEO / APIQUE N°	MUESTR A N°	PROF. (m)	Wn (%)	LL	LP	IP	CLASIF (U.S.C.)	P.T. # 200	C	φ	Peso Unitario	Peso Unitario	qu(kg/cm²)	C(kg/cm²)	BOLSILLO Kg/cm²		
S10	M1	1,50	14,79												3,5		
	M2	1,80	16,94	38,12	36,73	1,38	ML	1,117	1,05	21,8	2,02	1,84	1,06	0,53	4		
S11	M1	1,40	13,27												4		
	M2	2,00	14,37	30,71	21,95	8,76	ML	0,81	1,24	7,29	1,82	1,67	1,56	0,78	4		
S12	M1	1,70	5,32												4		
	M2	1,75	14,67	29,72	24,32	5,40	CL-ML	1,32	1,28	5,48	1,83	1,52	1,28	0,64	4		
S13	M1	1,70	18,45												4		
	M2	2,00	31,37	24,7	20,45	4,25	CL-ML	0,74	1,12	21,8	2,03	1,82	2,09	1,045	4		
S14	M1	1,60	23,24												3,5		
	M2	1,85	14,09	23,89	22,50	1,39	ML	7,69	0,96	7,74	1,97	1,66	1,61	0,805	3,5		
S15	M1	1,55	12,25												3,5		
	M2	1,90	40,92	21,77	20,00	1,77	ML	8,27	0,72	8,19	1,98	1,66	1,65	0,825	3,5		
S16	M1	1,70	20,10												4		
	M2	1,95	23,87	23,77	22,58	1,19	ML	6,71	1,0	10,24	2,0	1,68	1,68	0,84	4		
S17	M1	1,38	25,38												3,5		
	M2	1,80	22,59	28,50	20,22	8,28	CL	3,40	1,93	20,6	2,14	1,8400	1,01	0,505	4		
S18	M1	1,40	13,79												4		
	M2	1,70	25,60	28,66	22,22	6,44	CL-ML	3,43	1,52	9,31	2,18	1,88	1,10	0,55	4		

Fuente. Resultados del estudio

Tabla 12. Tabla de Resumen ensayos de suelos

MEMORIA DE SONDEOS																	
PROYECTO:		ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION GEOTECNICA EN EL SECTOR RURAL DE LAS VEREDAS HELECHAL Y GUASIMAL DEL MUNICIPIO DE TENA - DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA															
APIQUES/MUESTREO		S19-S20-S21-S22-S23-S24-S25-S26-S27															
LOCALIZACION:		SECTOR RURAL, VEREDAS GUASIMAL-HELECHAL MUNICIPIO DE TENA, CUNDINAMARCA															
	FECHA:	JULIO DE 2015															
	inalterada																
	alterada																
PROPIEDADES FISICAS SUELOS									CORTE DIRECTO		λ HUMEDO		λ SECO		COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO
SONDEO / APIQUE N°	MUESTR A N°	PROF. (m)	Wn (%)	LL	LP	IP	CLASIF (U.S.C.)	P.T. # 200	C	φ	Peso Unitario	Peso Unitario	qu(kg/cm²)	C(kg/cm²)	BOLSILLO Kg/cm²		
S19	M1	1,40	20,02												4		
	M2	1,60	52,69	37,17	33,80	3,37	ML	1,15	1,86	45,40	2,03	1,68	1,28	0,64	4		
S20	M1	1,65	21,05												3,5		
	M2	1,90	16,66	17,78	16,67	1,12	ML	1,37	0,97	13,06	1,98	1,64	1,38	0,69	4		
S21	M1	1,35	37,39												3,5		
	M2	1,80	39,11	23,17	17,89	5,29	CL-ML	2,24	1,88	6,39	2,11	1,81	2,53	1,265	4		
S22	M1	1,60	18,43												3,5		
	M2	1,90	12,13	20,68	17,89	2,79	ML	1,9	1,03	8,19	2,02	1,65	1,33	0,665	4		
S23	M1	1,55	14,31												4		
	M2	1,78	33,23	37,23	25,00	12,23	CL	0,57	0,68	36,9	1,98	1,67	1,42	0,71	4		
S24	M1	1,35	20,85												4		
	M2	1,50	6,38	25,6	19,35	6,24	ML-CL	0,41	1,49	23,7	1,98	1,67	1,5	0,75	4		
S25	M1	1,70	21,05												4		
	M2	1,80	12,14	35,14	21,79	13,35	CL	4,14	1,54	8,86	1,85	1,49	0,92	0,46	4		
S26	M1	1,35	11,70												4		
	M2	1,68	8,09	36,38	25,00	11,38	ML	5,30	1,13	8,19	1,85	1,4900	0,97	0,485	4		
S27	M1	1,55	18,14												4		
	M2	1,90	12,60	43,82	26,97	16,85	ML	6,88	0,65	16,90	1,97	1,61	2,33	1,165	4		

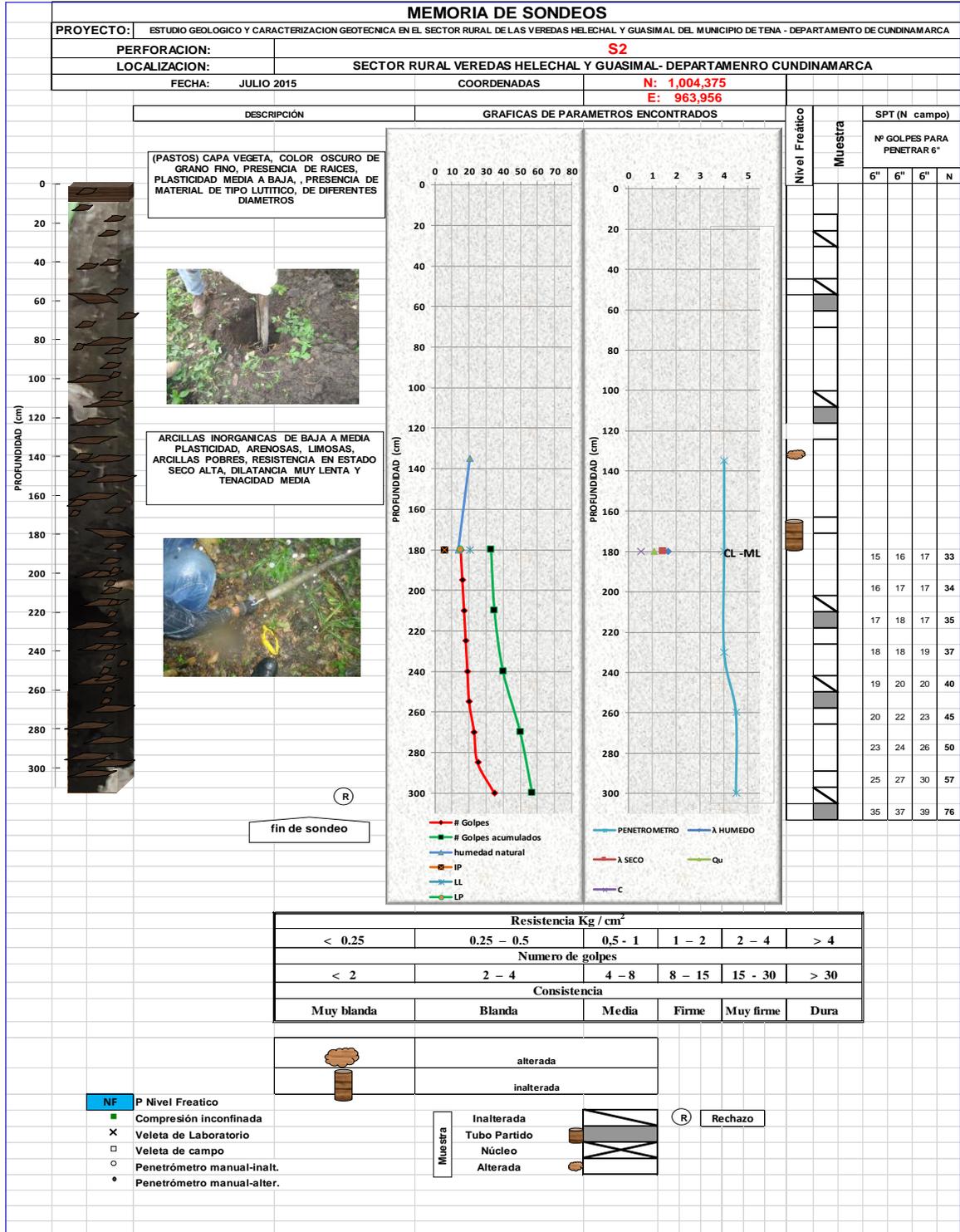
Fuente. Resultados del estudio

Tabla 13. Tabla de Resumen ensayos de suelos

MEMORIA DE SONDEOS																
PROYECTO:		ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION GEOTECNICA EN EL SECTOR RURAL DE LAS VEREDAS HELECHAL Y GUASIMAL DEL MUNICIPIO DE TENA - DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA														
APIQUES/MUESTREO LOCALIZACION:		S28-S29-S30 SECTOR RURAL, VEREDAS GUASIMAL-HELECHAL MUNICIPIO DE TENA, CUNDINAMARCA														
	FECHA:	MARZO DE 2015														
	inalterada															
	alterada															
										RESISTENCIA AL CORTE SUELOS						
PROPIEDADES FISICAS SUELOS										CORTE DIRECTO		λ HUMEDO	λ SECO	COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO
SONDEO / APIQUE N°	MUESTR A N°	PROF. (m)	Wn (%)	LL	LP	IP	CLASIF (U.S.C.)	P.T. # 200	C	φ	Peso Unitario	Peso Unitario	qu(kg/cm²)	C(kg/cm²)	BOLSILLO Kg/cm²	
S28	M1	1,25	29,53												3,5	
	M2	1,58	28,11	21,67	17,42	4,25	ML	7,89	0,85	9,09	1,98	1,64	3,91	1,955	4	
S29	M1	1,30	26,77												3,5	
	M2	1,70	18,33	34,73	21,88	12,86	CL	4,14	0,89	7,06	2,12	1,76	2,15	1,075	3,5	
S30	M1	1,20	24,76												3,5	
	M2	2,20	17,94	34,55	22,67	11,88	ML	1,02	1,25	5,71	1,96	1,67	2,61	1,305	3,5	

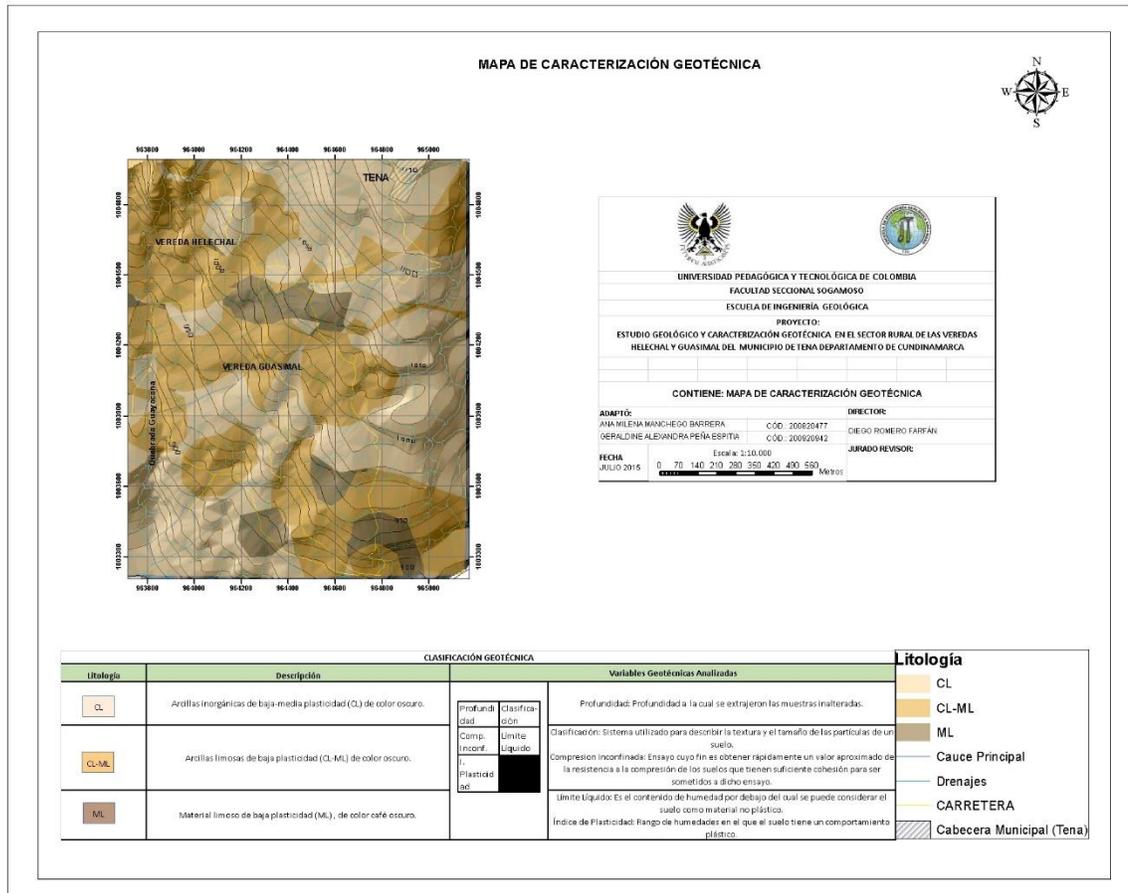
Fuente. Resultados del estudio

Figura 12. Memoria de sondeos



Fuente. Resultados del estudio

Figura 13. Imagen Mapa de caracterización geotécnica



Fuente. Resultados del estudio

5.3 PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE CAPACIDAD PORTANTE PARA CIMIENTOS SUPERFICIALES

Conociendo los perfiles de suelo, las propiedades geomecánicas de las capas y las características del proyecto; se procedió a calcular la capacidad portante del suelo, utilizando cimentaciones superficiales. La Capacidad Portante del suelo se calculó inicialmente a diferentes niveles de desplante, medidos desde la superficie actual del terreno. Esta se calculó aplicando las propiedades geomecánicas del suelo a la profundidad analizada según las teorías expuestas por Brinch Hansen, Vesic y Meyerhof (1975) de tal manera que:

$$q_0 = N_c C_s C_d C_g C_b C_c + N_q \cdot q \cdot S_q D_q G_q B_q + \gamma B / 2NSDGB$$

q_0 = es la presión promedio sobre el área de contacto (A) de la zapata.

ϕ = Angulo de fricción interna del suelo.

γ = Peso específico del suelo.

ω = Angulo de inclinación externa
del terreno.

C = Cohesión interna del suelo

Nc, Nq, Ny = factores de capacidad de carga función de la cohesión del suelo, la carga en la superficie, y el peso unitario del suelo. Todos a su vez función del ángulo de fricción.

S = Factor de forma de las zapatas

Df = Profundidad de desplante de las zapatas

G = Factor de inclinación del terreno

w = factor de inclinación de la base de la zapata

S = $1 + B/L (Nq/Nc)$

Sq = $S_y = 1.0$ Cuando $\phi = 0$

Sq = $S_y = 1 + 0.1N (B/L) .4 > 10^\circ$

5.3.1 Capacidad portante

De acuerdo con el valor de la resistencia para un $q_u = 1.17433 \text{ Kgf / cm}^2$ donde $C = 0.5873168 \text{ Kgf / cm}^2$; se determina **QUE ES EL CASO MÁS DESFAVORABLE.**

Capacidad Portante Neta Última q_{EU6}

Para cimientos rectangulares continuos.

$q_{EU} = C * N_c * S_c * + a * N_a * S_a$

$S_c = (1 + 0.2 B/L)$

$S_a = 1.0 + B/L * \tan \phi$

$q_{EU} = 3,0189771 (1 + 0.2 B/L)$

Valores de q_{EU} para diferentes valores de B y L

B = Ancho del cimiento (m)

L = longitud del cimiento (m)

Diferentes valores de B y L

Tabla 14. Valores de B y L

0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00
0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
6,642	7,849	8,453	9,057	10,265	12,076	15,095
66,417	78,493	84,531	90,569	102,645	120,759	150,949
0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00
0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
5,434	6,239	6,642	7,044	7,849	9,057	11,070
54,342	62,392	66,417	70,443	78,493	90,569	110,696
0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4,830	5,434	5,736	6,038	6,642	7,547	9,057
48,304	54,342	57,361	60,380	66,417	75,474	90,569
0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00
1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
4,468	4,951	5,193	5,434	5,917	6,642	7,849
44,681	49,511	51,926	54,342	59,172	66,417	78,493
0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00
1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
4,227	4,629	4,830	5,032	5,434	6,038	7,044
42,266	46,291	48,304	50,316	54,342	60,380	70,443

Fuente. Resultados del estudio

CAPACIDAD PORTANTE DE SEGURIDAD

Factor de seguridad (F_s) = 3.0

Con la siguiente expresión se puede calcular el valor de la capacidad portante de acuerdo al diseño estructural del cemento.

$$B_{eus} = 1.006325 (1 + 0.2 B/L)$$

Tabla 15. Valores de B y L

B(m)	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00
L(m)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
σ_{eu} Kg/cm²	2,013	2,214	2,214	2,616	2,818	3,019	3,422	4,025	5,032
σ_{eu} TN/m²	20,127	22,139	22,139	26,164	28,177	30,190	34,215	40,253	50,316
B(m)	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00
L(m)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
σ_{eu} Kg/cm²	1,677	1,811	1,811	2,080	2,214	2,348	2,616	3,019	3,690
σ_{eu} TN/m²	16,772	18,114	18,114	20,797	22,139	23,481	26,164	30,190	36,899
B(m)	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00
L(m)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
σ_{eu} Kg/cm²	1,509	1,610	1,610	1,811	1,912	2,013	2,214	2,516	3,019
σ_{eu} TN/m²	15,095	16,101	16,101	18,114	19,120	20,127	22,139	25,158	30,190
B(m)	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00
L(m)	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
σ_{eu} Kg/cm²	1,409	1,489	1,489	1,650	1,731	1,811	1,972	2,214	2,616
σ_{eu} TN/m²	14,089	14,894	14,894	16,504	17,309	18,114	19,724	22,139	26,164
B(m)	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00
L(m)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
σ_{eu} Kg/cm²	1,342	1,409	1,409	1,543	1,610	1,677	1,811	2,013	2,348
σ_{eu} TN/m²	13,418	14,089	14,089	15,430	16,101	16,772	18,114	20,127	23,481

Fuente. Resultados del estudio

Figura 14. Valores del coeficiente F_a
Tabla A.2.4-3
Valores del coeficiente F_a , para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Fuente. Vesic y Meyerhof

Figura 15. Valores del coeficiente F_v
Tabla A.2.4-4
Valores del coeficiente F_v , para la zona de períodos intermedios del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Fuente. Vesic y Meyerhof

5.4 PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

De acuerdo con el código de construcciones sismo resistentes NSR – 10.

A_a = coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño.

A_v = coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño.

$$A_a = 0.15$$

$$A_v = 0.20$$

$$A_e = 0.12 A_d = 0.06$$

Tabla 16. Valores de sismicidad

Departamento de Cundinamarca						
Municipio	Código Municipal	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_c	A_d
Tena	25797	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06

Fuente. NSR -10 título A, capítulo a.2-Zonas de Amenaza Sísmica y Movimientos Sísmicos de diseño.

PERFIL DEL SUELO: C

Figura 16. Clasificación de perfiles de suelo

Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w \geq 40% $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Fuente. NSR-10, título A, capítulo a.2-Zonas de Amenaza Sísmica y Movimientos Sísmicos de diseño.

COEFICIENTE DE IMPORTANCIA: GRUPO I

COEFICIENTE DE IMPORTANCIA: 1.0

Se debe tener en cuenta los parámetros hallados en laboratorio.

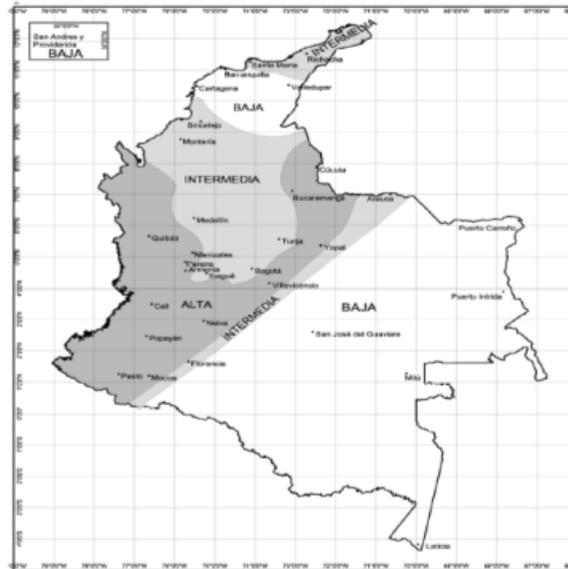
Grupo I — Estructuras de ocupación normal

Tabla 17. Valores del coeficiente de importancia para la zona de estudio.

Valores del coeficiente de importancia, I	
Grupo de Uso	Coficiente de Importancia, I
IV	1,50
III	1,25
II	1,10
I	1,00

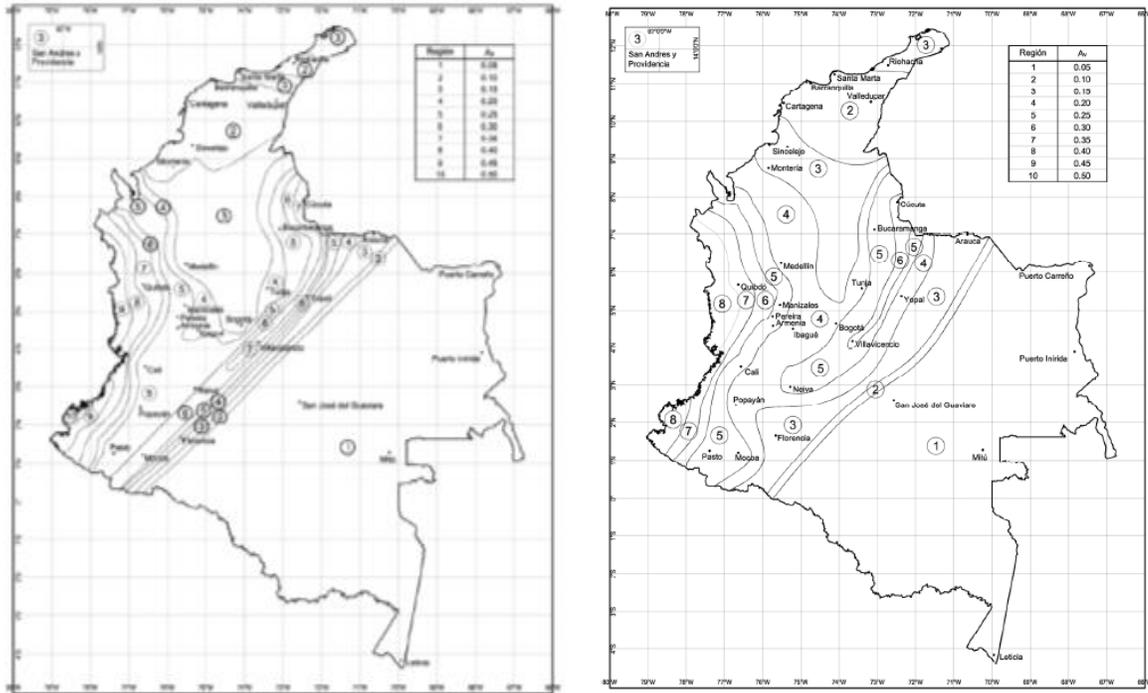
Fuente. NSR -10, título A, capítulo a.2-Zonas de Amenaza Sísmica y Movimientos Sísmicos de Diseño.

Figura 17. Zona de amenaza sísmica aplicable a edificaciones



Fuente. NSR-10, título A, capítulo a.2-Zonas de Amenaza Sísmica y Movimientos Sísmicos de Diseño.

Figura 18. Mapa de valores de Aa y Av



Fuente. NSR-10, título A, capítulo 2-Zonas de Amenaza Sísmica y Movimientos Sísmicos de Diseño.

5.5 MÉTODO CAPACIDAD PORTANTE

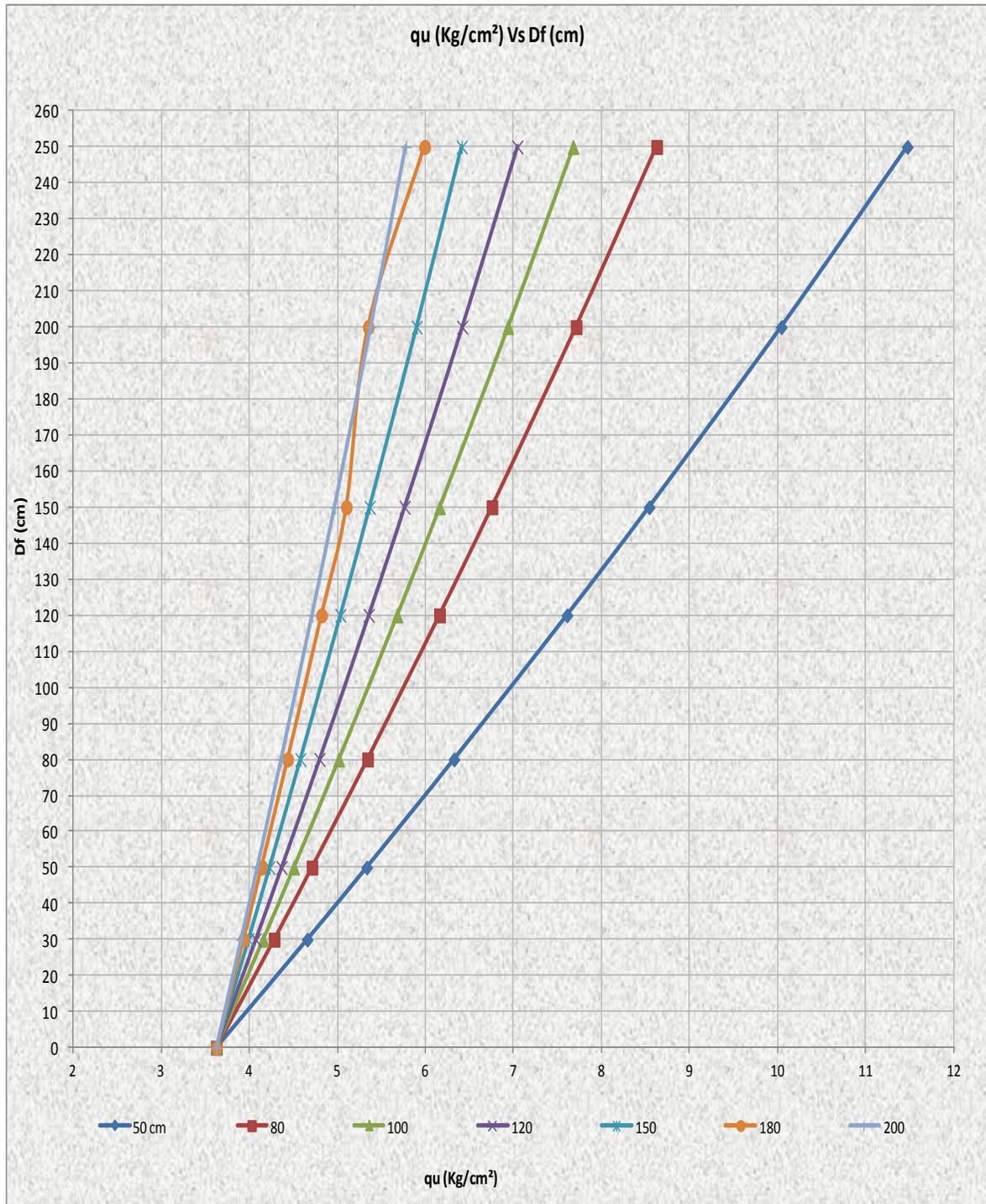
De acuerdo con el valor de la resistencia para un $q_u = 1.17433 \text{ Kgf / cm}^2$ donde $C = 0.58732 \text{ Kgf / cm}^2$ se tiene los valores para desarrollar la tabla N° 18

Tabla 18. Valores de capacidad portante

CAPACIDAD PORTANTE - CASO MAS FAVORABLE					
Cu(Kg/cm ²)	0,58732	$q_u = 6,17C_u F_{cd} + \bar{q}$	prof.nivel freatico asumido		350
γ_{H_2O} (Kg/cm ³)	0,001				
γ_{seco} (Kg/cm ³)	0,00171982	$F_{cd} = 1 + 0,4 D_f/B$	$\bar{q} = D_f (\gamma_{z'} + d/B (\gamma_z - \gamma_z'))$		
$\gamma_{saturado}$ (Kg/cm ³)	0,002028				
$\gamma_{sumergido}$ (Kg/cm ³)	0,001028				
B(cm)	Df(cm)	d(cm)	\bar{Q} (kg/cm ²)	Fcd	qu(Kg/cm ²)
50	0	350	0,000000	1,00000	3,623764
	30	320	0,163669	1,24000	4,657137
	50	300	0,258946	1,40000	5,332216
	80	270	0,381106	1,64000	6,324080
	120	230	0,505245	1,96000	7,607823
	150	200	0,569292	2,20000	8,541574
	200	150	0,620692	2,60000	10,042479
80	250	100	0,602910	3,00000	11,474203
	0	350	0,000000	1,00000	3,623764
	30	320	0,113858	1,15000	4,281187
	50	300	0,181116	1,25000	4,710822
	80	270	0,269031	1,40000	5,342302
	120	230	0,362038	1,60000	6,160061
	150	200	0,413633	1,75000	6,755220
100	200	150	0,465033	2,00000	7,712561
	250	100	0,473194	2,25000	8,626664
	0	350	0,000000	1,00000	3,623764
	30	320	0,097255	1,12000	4,155871
	50	300	0,155173	1,20000	4,503690
	80	270	0,231673	1,32000	5,015042
	120	230	0,314302	1,48000	5,677474
120	150	200	0,361746	1,60000	6,159769
	200	150	0,413146	1,80000	6,935922
	250	100	0,429955	2,00000	7,677484
	0	350	0,000000	1,00000	3,623764
	30	320	0,086186	1,10000	4,072326
	50	300	0,137878	1,16667	4,365603
	80	270	0,206768	1,26667	4,796869
150	120	230	0,282479	1,40000	5,355749
	150	200	0,327155	1,50000	5,762802
	200	150	0,378555	1,66667	6,418162
	250	100	0,401129	1,83333	7,044697
	0	350	0,000000	1,00000	3,623764
	30	320	0,075116	1,08000	3,988782
	50	300	0,120582	1,13333	4,227515
180	80	270	0,181862	1,21333	4,578696
	120	230	0,250655	1,32000	5,034024
	150	200	0,292564	1,40000	5,365834
	200	150	0,343964	1,53333	5,900403
	250	100	0,372303	1,66667	6,411911
	0	350	0,000000	1,00000	3,623764
	30	320	0,067737	1,06667	3,933086
200	50	300	0,109052	1,11111	4,135457
	80	270	0,165258	1,17778	4,433248
	120	230	0,229439	1,26667	4,819541
	150	200	0,269503	1,33333	5,101189
	200	150	0,315303	1,44444	5,349630
	250	100	0,353086	1,55556	5,990053
	0	350	0,000000	1,00000	3,623764
200	30	320	0,064047	1,06000	3,905238
	50	300	0,103287	1,10000	4,089427
	80	270	0,156957	1,16000	4,360523
	120	230	0,218831	1,24000	4,712299
	150	200	0,257973	1,30000	4,968867
	200	150	0,309373	1,40000	5,382643
	250	100	0,343478	1,50000	5,779124

Fuente. Resultados del estudio

Figura 19. Grafica qu Vs Df



Fuente. Resultados del estudio

5.6 EXPLORACIÓN INDIRECTA DEL SUB SUELO

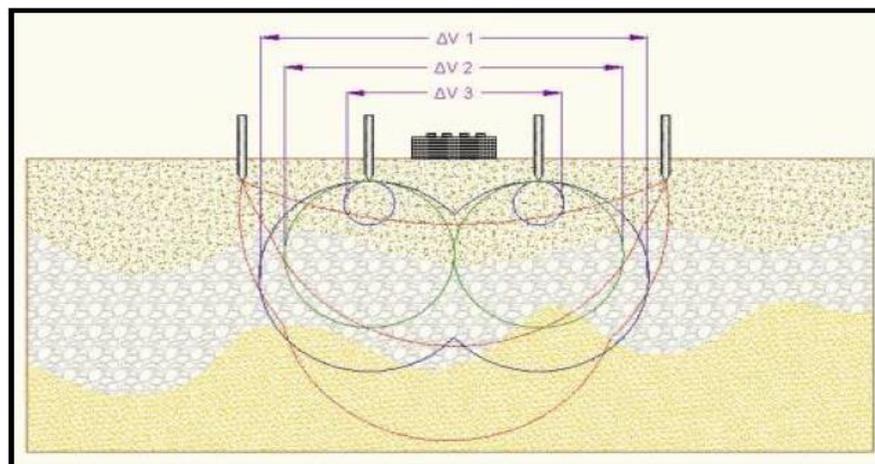
La exploración indirecta del sub suelo se realizó por medio de tomografías geoeléctricas, las cuales se llevaron a cabo después de determinar que el método geoeléctrico convencional SEV, no aporta ningún tipo de información importante cuando se aplica al estudio de deslizamientos por tratarse de un medio muy fracturado con altas pendientes además de ser un material removido y saturado.

5.7 GEOELÉCTRICA

Las tomografías eléctricas resistivas (TER), son métodos geofísicos de exploración geofísica que consisten en medir variaciones de algunas propiedades físicas de los materiales que se encuentran en la corteza terrestre como: densidad, susceptibilidad magnética, velocidad de propagación de las ondas elásticas, resistividad eléctrica o radioactividad de las rocas, permitiendo relacionar estas propiedades y las diferentes composiciones litológicas con diferentes estructuras que se encuentran en el subsuelo, además de hacer una correlación con zonas anómalas.

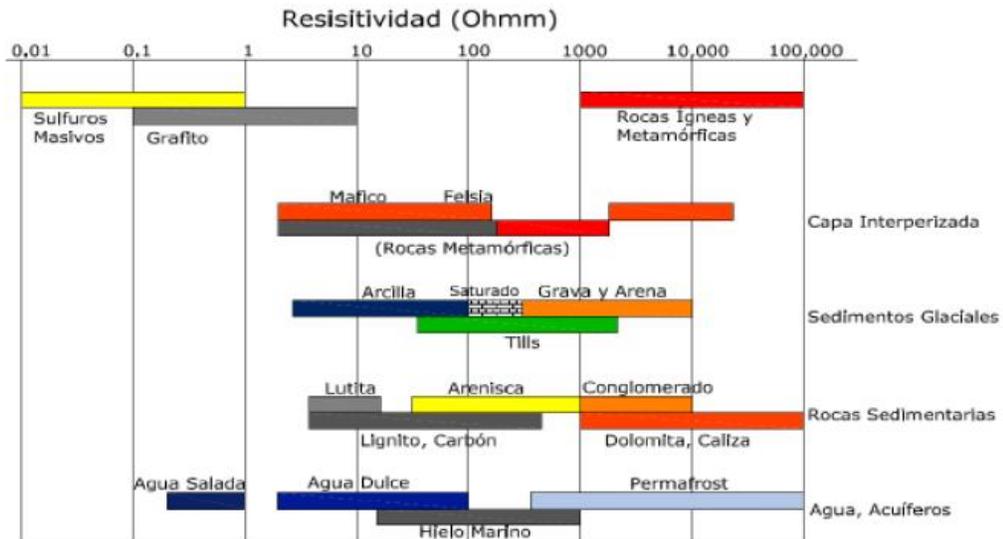
Este método geofísico consiste en introducir una corriente eléctrica continua en la superficie del terreno a través de dos electrodos de corriente el cual mide el voltaje mediante otro juego de electrodos. A partir del valor de la corriente inyectada y del voltaje medido, se obtiene la resistividad aparente del subsuelo, cada tipo de material presenta un rango de resistividad real más o menos característico. Las cavidades vacías (llenas de aire), presentan una resistividad aparente que tiende al infinito; los terrenos saturados son altamente conductores y por tanto presentan baja resistividad.

Figura 20. Principio teórico de operación de las TER's.



Fuente: aplicación de la tomografía eléctrica para la caracterización de un deslizamiento de ladera en un vertedero, Aracil Avila, José Ángel.

Figura 21. Rangos de resistividad para diferentes materiales.



Fuente: aplicación de la tomografía eléctrica para la caracterización de un deslizamiento de ladera en un vertedero, Aracil Avila, José Ángel.

5.8 PRINCIPALES MÉTODOS GEOFÍSICOS

5.8.1 Resistividad Aparente.

El principio del método geofísico es el de la resistividad aparente, el cual, está regido por la ley de ohm, la cual postula que la intensidad de corriente eléctrica que circula por un conductor eléctrico es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo.

La intensidad de corriente que circula por un circuito dado es directamente proporcional a la tensión aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo.

La ecuación matemática que describe esta relación es:

$$I = GV = \frac{V}{R}^{16}$$

Donde, I es la corriente que pasa a través del objeto en amperios, V es la diferencia de potencial de las terminales del objeto en voltios, G es la conductancia en siemens

¹⁶ SINERIZ, José G. Los métodos geofísicos de prospección y sus aplicaciones a la resolución de varios problemas geológicos tectónicos. Madrid. Tip y Lit Coullaut 1928.

y R es la resistencia en ohmios (Ω). Específicamente, la ley de Ohm dice que R en esta relación es constante, independientemente de la corriente.

La variable experimental que expresa los resultados de las mediciones en TGe y la que se toma como base para la inversión y posterior interpretación. Esta está definida por la ecuación:

$$\rho a = K = \frac{\Delta V}{I}^{17}$$

Donde K es la constante de normalización de cada dispositivo o factor geométrico, ΔV es la diferencia de potencial medido sobre el terreno, e I la corriente inyectada.

5.8.2 Su relación con los elementos del subsuelo.

En la Tabla, se observan los valores de resistividad de las rocas más comunes, materiales de suelo y algunas sustancias químicas (Keller y Frischknecht 1966, Daniels y Alberty 1966, Orellana 1982).

El suelo, es una mezcla de partículas sólidas, gases, agua y otros materiales orgánicos e inorgánicos. Esta mezcla hace que la resistividad del suelo aparte de depender de su composición intrínseca, dependa de otros factores externos como la temperatura, humedad, presión, etc. que pueden provocar que un mismo suelo presente diferentes resistividades con el tiempo. De entre todos los factores, la humedad es el más importante; además, es el que se puede alterar más fácilmente, mediante la lluvia o el riego del suelo.

Diferentes contenidos de humedad en un mismo terreno darían lugar a resistividades diferentes que podrían llevarnos a interpretaciones erróneas de los materiales constituyentes del suelo. En la siguiente tabla se encuentra un conjunto de valores típicos de resistividad de geomateriales.

¹⁷ Dr Loke M H. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. Derechos reservados M H Loke 1999

Figura 22. Resistividades de algunos suelos y rocas.

Material	Resistividad (Ωm)
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000
Basamento. Roca fracturada	1500-5000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	1-100
Gruss no saturado	500-1000
Gruss saturado	40-60
Saprolito no saturado	200-500
Saprolito saturado	40-100
Gravas no saturadas	500-2000
Gravas saturadas	300-500
Arenas no saturadas	400-700
Arenas saturadas	100-200
Limos no saturados	100-200
Limos saturados	20-100
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcillas no saturadas	20-40
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas saturadas con agua salada	1-10
Andosoles secos	1000-2000
Andosoles no saturados	300-1000
Andosoles saturados	100-300

Fuente. Exploración Geotécnica-Relaciones Geoeléctricas- DANIEL EDUARDO ARIAS.

5.8.3 Dispositivos

Un dispositivo, es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia de potencial entre los electrodos P1P2 con un Milivoltímetro. Se tienen arreglos donde uno o dos electrodos se conectan a una distancia lo suficientemente grande, denominados remotos o infinitos, a la cual no producen perturbaciones en la zona de estudio.

En cualquier dispositivo electródico, si conocemos el factor geométrico k , la corriente eléctrica I inyectada por los electrodos A y B, y la diferencia de potencial

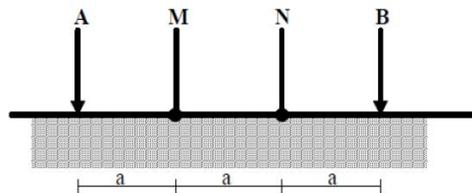
entre los electrodos M y N, podemos calcular la resistividad aparente mediante $\rho = k \frac{\Delta V}{I}$.¹⁸

El dispositivo utilizado en la tomografía realizada fue el siguiente:

5.8.4 Dispositivo Wenner.

Los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB

Figura 23. Dispositivo Wenner.



Fuente. Aplicaciones de la tomografía eléctrica 2-d al estudio del subsuelo Javier S. Salgado

El factor geométrico del dispositivo se deduce de $K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)$ (-1), donde $K = 2\pi a$

5.9 METODOLOGÍA

En su sentido más amplio la Tomografía es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución de un parámetro físico característico del mismo dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno o desde sondeos.

La Tomografía eléctrica tiene como objetivo específico, determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo en el ámbito comprendido entre dos sondeos o bien hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida, a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua. Un factor clave de esta técnica, es el número y distribución de las medidas de campo ya que de él depende tanto su resolución como la profundidad de investigación. Como regla general, un estudio mediante Tomografía eléctrica requiere la obtención de un número muy elevado de

¹⁸ aplicación de la tomografía eléctrica para la caracterización de un deslizamiento de ladera en un vertedero, Aracil Avila, José Ángel.

datos, con un pequeño espaciado entre medidas para conseguir la necesaria resolución lateral que viene dada por la siguiente formula:

$$d = \frac{X \text{ total}}{\# \text{ Electrodos}}^{19}$$

Dónde:

d= Distancia entre electrodos

X total= Distancia de la línea extendida

Electrodos= electrodos a utilizar

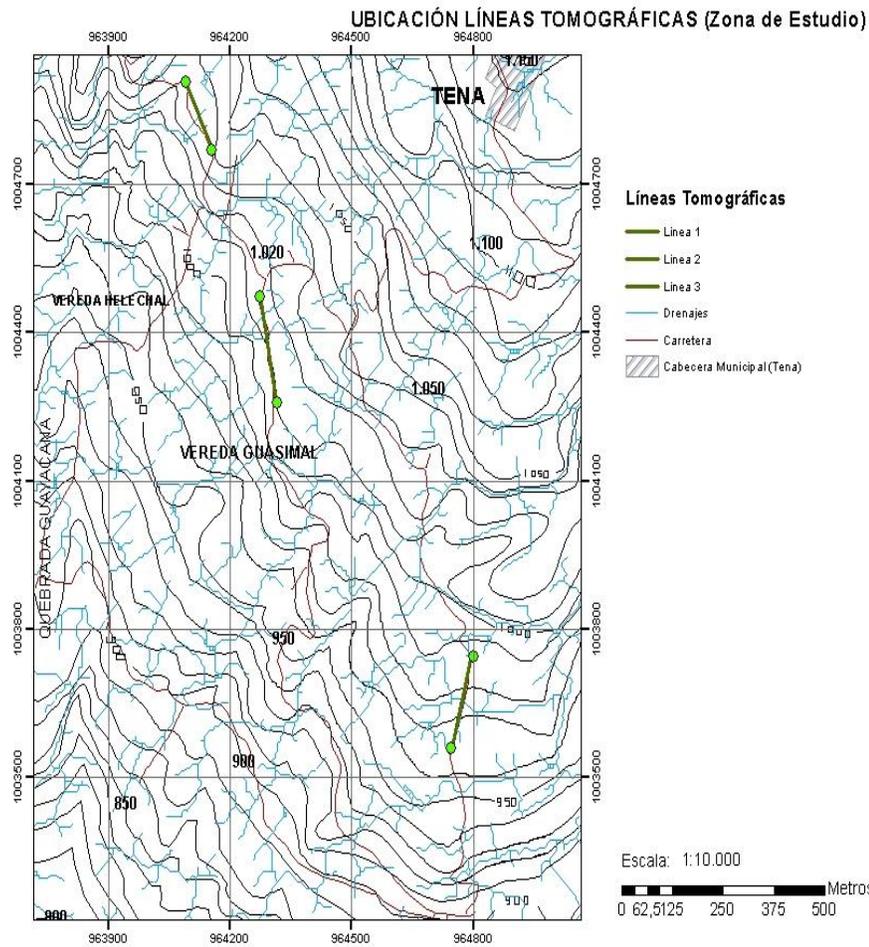
También que las medidas se realicen involucrando de forma progresiva varios rangos de profundidad.

El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Para obtener estos resultados se procede a insertar los parámetros para el cálculo y la medición de las resistividades en campo, utilizando el método o dispositivo de Wenner.

Para la realización de las tomografías en el área rural del municipio de Tena, se utilizó el equipo TERRAMETER LS 04-064-250 propiedad de la U.P.T.C., con 2 carretes de 210 m cada uno, 41 electrodos conectados cada uno respectivamente al equipo, para obtener así las siguientes líneas con su respectivo análisis.

¹⁹ SALGADO Pareja Javier S, CONTRERAS Gonzales Enrique, VIZCARRA Miguel de la O. aplicaciones de la tomografía eléctrica 2-d al estudio del subsuelo. Mayo-agosto de 2002

Figura 24. Ubicación de Líneas Tomográficas



Fuente. Los autores

5.9.1 Tomografía N°1

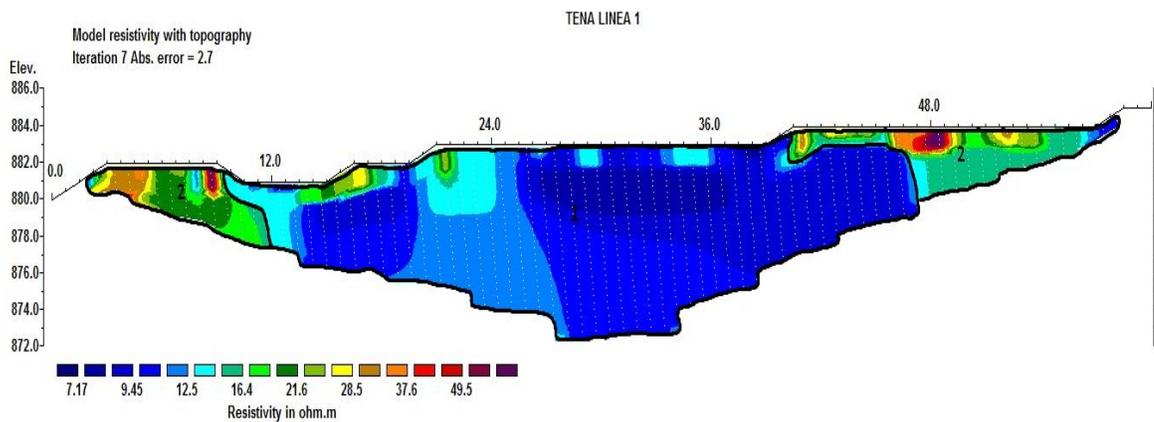
Localizada hacia la parte SE del área correspondiente, Coordenadas parte inicial X: 0964614, Y: 1003603, parte final X: 0964182, Y: 1003654, con una longitud de 60 m., profundidad obtenida de 11.2 m., y los electrodos conectados a una distancia de 1.5 m cada uno.

Fotografía 10. Instalación del equipo en campo



Fuente. Los autores

Figura 25. Perfil 1



MATERIAL	RESISTIVIDAD	PROFUNDIDAD (m)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	7-20	0-11	Arcillas Saturadas
2	21-50	0-5	Intercalación de arcillas y limos saturados

Fuente. Resultados en campo

5.9.2 Tomografía N°2

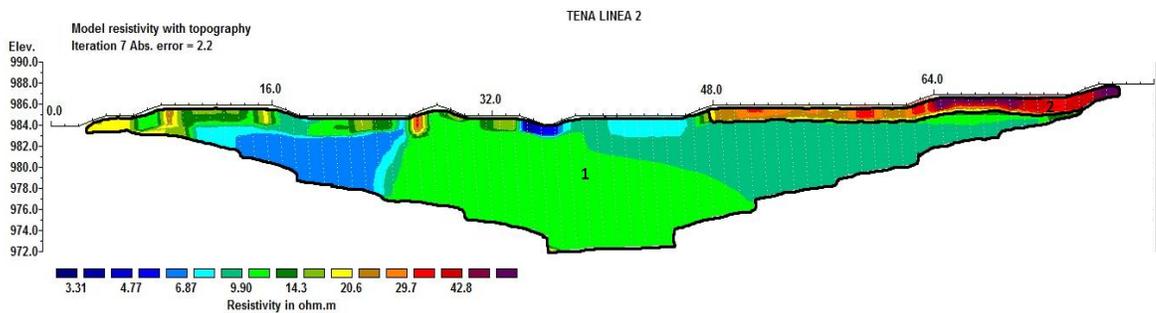
Localizada hacia la parte NE del área correspondiente, Coordenadas parte inicial X: 0964782, Y: 1003674, parte final X: 0964787, Y: 1003749, con una longitud de 80 m., profundidad obtenida de 13.00m., y los electrodos conectados a una distancia de 2.0 m cada uno.

Fotografía 11. Toma de datos en cada uno de los electrodos.



Fuente. Los autores

Figura 26. Perfil 2



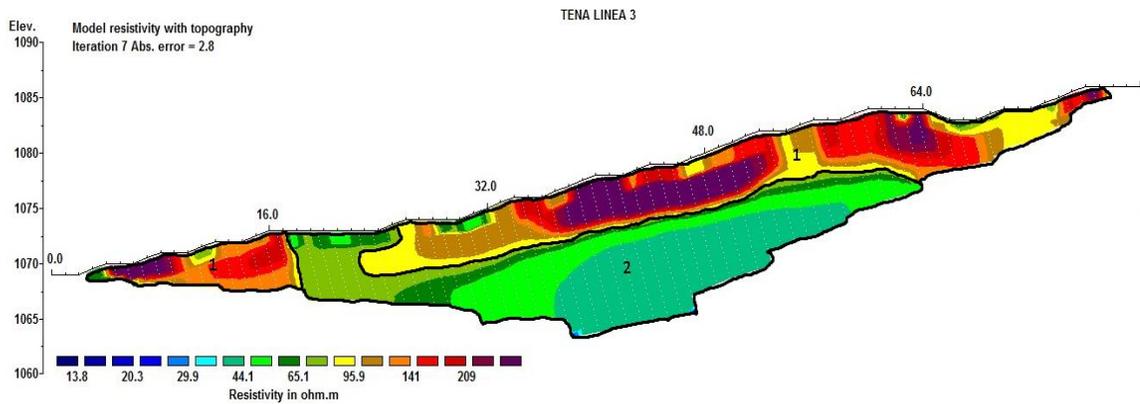
MATERIAL	RESISTIVIDAD	PROFUNDIDAD (m)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	7-20	0-11	Arcillas Saturadas
2	21-50	0-3	Intercalación de arcillas y limos saturados

Fuente. Los autores

5.9.3 Tomografía N°3

Localizada hacia la parte NW del área correspondiente, Coordenadas parte inicial X: 0963980, Y: 1004976, parte final X: 0963960, Y: 1005050, con una longitud de 80 m., profundidad obtenida de 13.00m., y los electrodos conectados a una distancia de 2.0 m cada uno.

Figura 27. Perfil 3

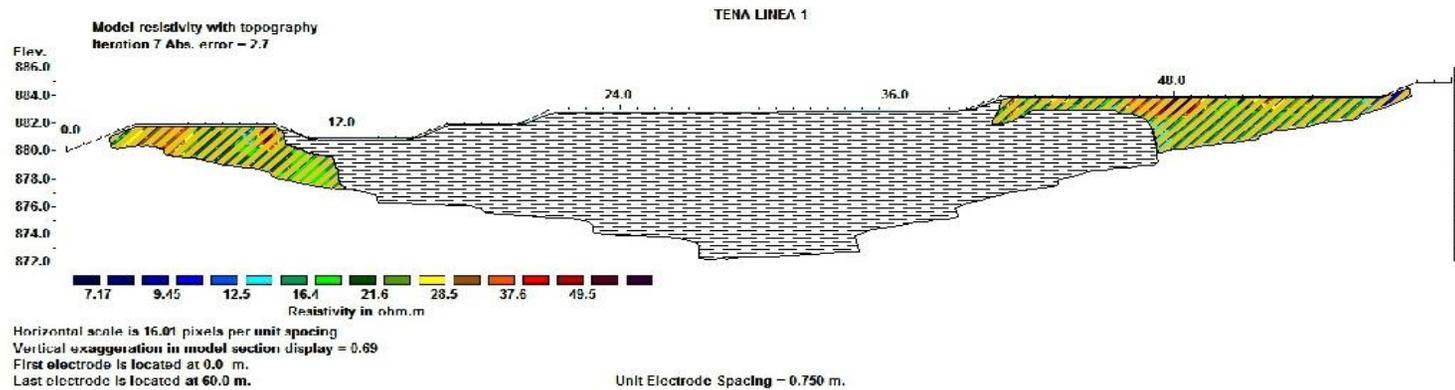


MATERIAL	RESISTIVIDAD	PROFUNDIDAD (m)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	7-20	0-11	Intercalación de arcillas y limos saturados
2	21-50	0-4	Arcillas Saturadas

Fuente. Resultados en campo

Figura 28. Perfil Litológico Línea 1

PERFIL LITOLÓGICO

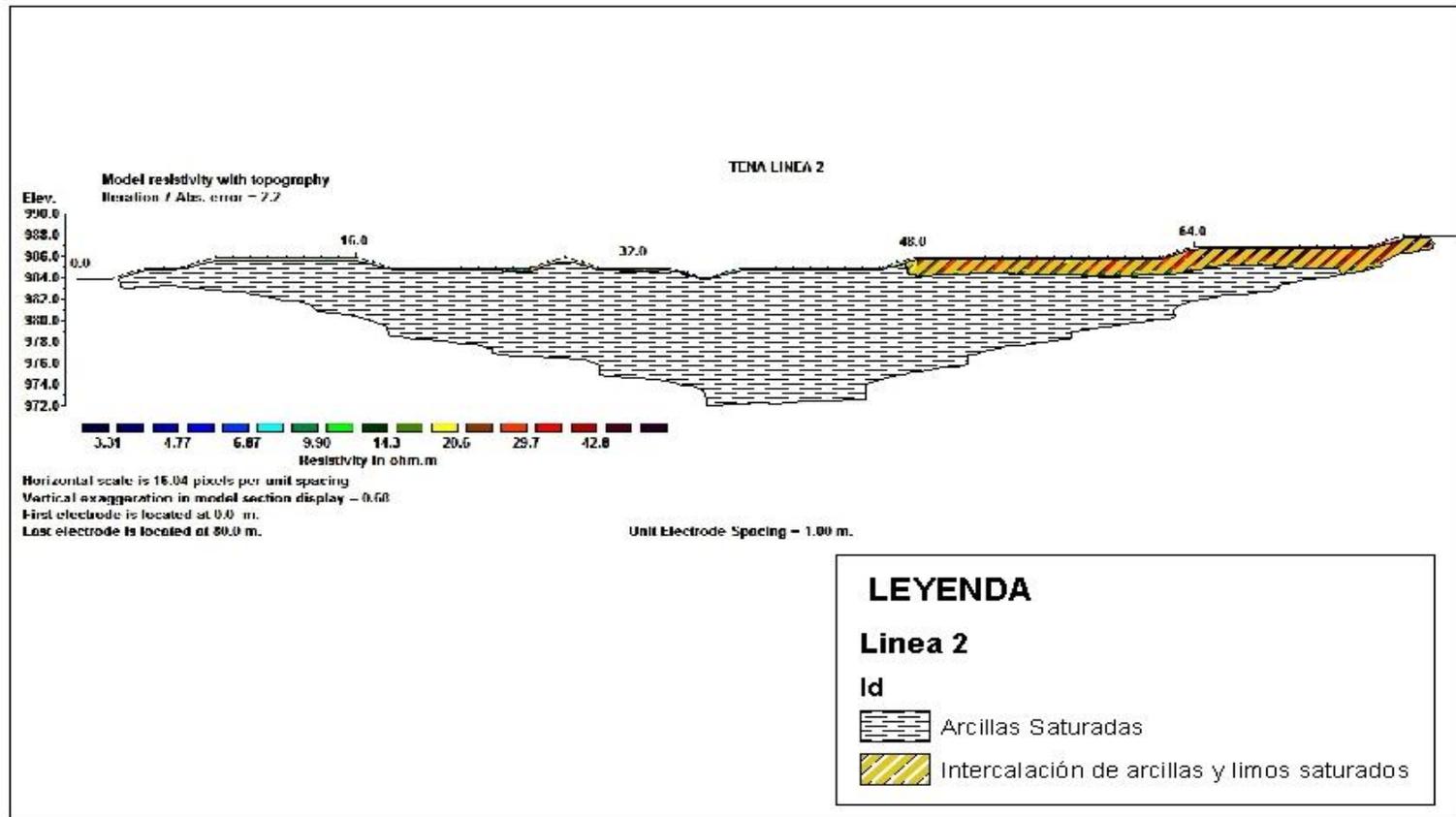


LEYENDA	
Línea 1	
	Arcillas Saturadas
	Intercalación de arcillas y limos saturados

Fuente. Resultados del estudio

Figura 29. Perfil Litológico Línea 2

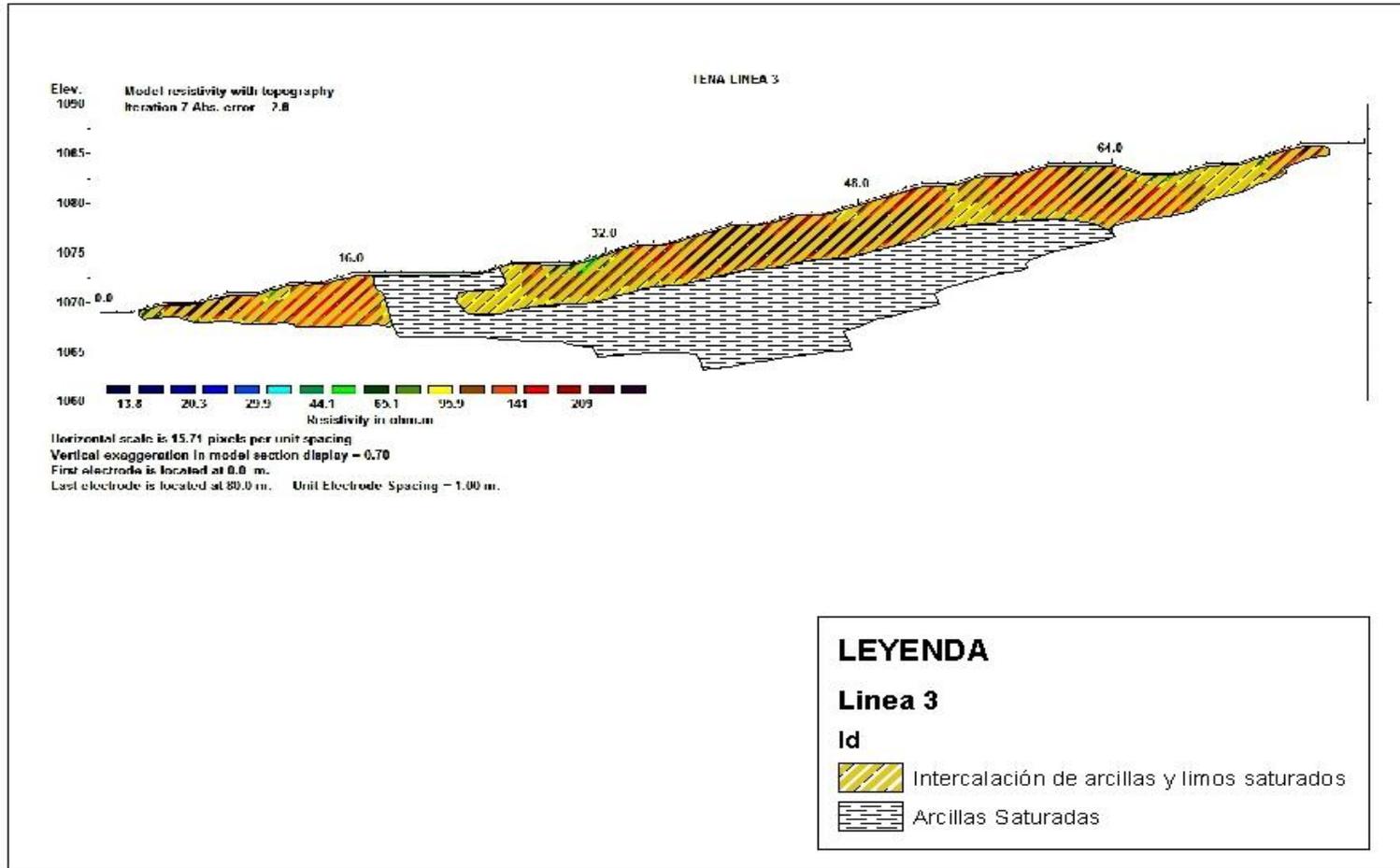
PERFIL LITOLÓGICO



Fuente. Resultados del estudio

Figura 30. Perfil Litológico Línea 3

PERFIL LITOLÓGICO



Fuente. Resultados del estudio

5.9.4 Resultado

Haciendo un análisis de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio y los perfiles del espectrómetro de resistividad obtenidos en las tomografías, es apreciable que existe una buena correlación entre estos dos elementos, puesto que los perfiles litológicos muestran dos tipos de materiales intercalaciones de arcillas y limos saturados, arcillas saturadas. De acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio se obtuvo CL (material de arcillas inorgánicas de baja-media plasticidad), ML (material de lomos de baja plasticidad), CL-ML (arcillas limosas de baja plasticidad). Teniendo en cuenta que las tomografías se realizaron con el fin de corroborar los datos obtenidos con los sondeos, es correcto afirmar que los resultados de los dos métodos (directo-indirecto) tienen correlación.

6 CONCLUSIONES

Geológicamente el municipio de Tena se encuentra sobre dos formaciones, la primera de ellas Formación Simijaca que está compuesta por arcillolitas y limolitas grises oscuras, con intercalaciones de arenitas cuarzosas, en parte arcillosas; y una segunda, de edad cuaternaria que corresponde al Depósito Fluvio-glaciar, compuestos por bloques de areniscas duras embebidos dentro de una matriz de composición variable (arenas, limos, arcillas)

El grado de pendientes evaluado para el municipio de Tena define un rango los 10° y 30°, correspondiendo a zonas inclinadas y abruptas.

De acuerdo al método de exploración mediante apique y posterior sondeo, fue posible obtener información de los materiales que constituyen el perfil de suelo de fundación del sitio el cual corresponde a los dos tipos de formaciones al Depósito Fluvio-glaciar y Formación Simijaca. Materiales constituidos por arcillas con matriz limo arcillosa de grano medio a grueso.

Geológicamente, el perfil del suelo de fundación explorado en las veredas de estudio (Guasimal-Helechal) presenta características homogéneas por el tipo de material con un comportamiento que tiene baja variabilidad y su composición, resistencia y clasificación según la U.S.C.S (sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

En general los ensayos realizados reflejan la particularidad de materiales finos en el subsuelo. Según la Carta de Clasificación de Casagrande, los suelos fueron clasificados dentro del grupo CL (arcilla inorgánica de baja a media plasticidad) y ML (material limoso de baja plasticidad), con peso unitario de 1.65 – 2.03 gr/cm³, con limite líquido < 50% e IP entre 1,12% y 21%.

Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 1.01– 3.9 kg/cm², cohesión de 0.4 – 1.3 Kgf/cm², ángulos de fricción entre 5° y 45°. Con estos datos, se considera que previo a la implementación de algún tipo de infraestructura, es necesario mejorar las condiciones físicas, Para esto se propone a nivel de la batea implementar el diseño de una capa de recebo de espesor entre 0,8 -1.0m para esto se compactaran capas de 15 cm, compactado al 98% del proctor modificado.

Las propiedades geotécnicas obtenidas en campo, nos dan un perfil sectorizado del suelo de fundación, del cual se pudo obtener los diferentes parámetros físico-mecánicos como resistencia al corte para determinar el comportamiento del suelo y a partir de este, obtener resultados que no presentan inconvenientes para cualquier tipo de obra en su cimentación.

De acuerdo con los mapas de uso actual y uso potencia del suelo, se aprecia que las áreas utilizadas como territorios agrícolas ocupan un 67.9% del área total del municipio, mientras que el mapa de uso potencial muestra un sistema silvo agrícola con una ocupación del 78.17%. Lo anterior, evidencia una subutilización del suelo.

Este estudio sirve como guía para establecer criterios básicos en la realización de obras basadas en la investigación del suelo y el subsuelo con el fin de proveer las herramientas necesarias a la hora de realizar el diseño de una construcción que se adapte al tipo de terreno en el que se va a edificar, con el objetivo de hacer un uso adecuado de los recursos disponibles y evitar que la población quede expuesta a riesgos provocados por agentes externos

Es importante que se realicen esta clase de estudios puesto que con ellos se pueden conocer las características geotécnicas y geológicas de un sector en particular, con el fin de realizar obras de infraestructura que permitan mejorar la calidad de vida de los habitantes y fortalezcan el desarrollo de la región.

7 RECOMENDACIONES

Durante el proceso constructivo y según el tipo de obra o estructura a realizar se podrán encontrar inconvenientes relacionados con el manejo y estabilidad de las excavaciones, por efecto de los gradientes hidráulicos nocivos que puedan generarse, los cuales, pueden ser obviamente controlados y manejados con buenas prácticas constructivas, para evitar cambios estructurales y caídas de material, se debe tener en cuenta más análisis puntuales según el tipo de obra que se desee diseñar para futuros, al igual, estudios más detallados según sea la obra para tal fin.

Teniendo en cuenta que en los sondeos no se encontró nivel de agua durante la exploración, el proceso de excavación para la construcción de los elementos de cimentación no reviste inconvenientes geotécnicos relevantes, específicamente si la construcción se planea en épocas de sequía, sin embargo, las excavaciones y en general todo el proceso constructivo, debe hacerse con la pericia adecuada y la clase de equipo técnicamente apto para evitar malos resultados o deterioro en el perfil de suelo.

Las cimentaciones para la construcción de cualquier tipo de infraestructura deben dimensionarse y diseñarse para las condiciones más críticas de carga de tal forma que transmitan presiones uniformes en lo posible al suelo de fundación o construcción.

Para el diseño de cualquier obra civil se referirá a la norma NRS-10, teniendo en cuenta el tipo de análisis y los diferentes procedimientos según normas INVIAS, según sea el caso.

Si durante la etapa constructiva y durante el diseño, se presentan variaciones en las características del subsuelo o del proyecto, se debe consultar sobre recomendaciones adicionales necesarias para tomar los diferentes correctivos y efectuar los estudios puntuales para la obra en el sitio planteado.

Para la realización de los diferentes elementos poblacionales para el ordenamiento territorial (P.O.T, E.O.T, P.B.O.T) es conveniente que profesionales en el área de Ingeniería Geológica hagan parte de los grupos de trabajo ya que aportan con información importante y necesaria que puede contribuir a la creación de los mismos.

8 BIBLIOGRAFÍA

Apuntes de Geotécnica básica. Oscar Ramírez, Ingeniero Civil 2008.

BRAJA M Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica. California State University, Sacramento. Edit Thomson.

Corporación de defensa de la meseta de Bucaramanga, Enero 1990 .Guía de Planificación de unidades familiares.

Diagnostico EOT, Tena-Cundinamarca.

FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE SUELOS, PROYECTO DE MUROS Y CIMENTACIONES TOMO 1 GEOTECNIA APLICADA, Editores técnicas asociados s.a Barcelona J.L de Justo Albanés.

Geología de la Plancha 227 La Mesa, memoria explicativa

Geotecnia Aplicada Notas de Clase. ING Nebardo Arturo Abril I.C.MIC EGV

Instituto de Hidrografía, meteorología y Medio Ambiente de Colombia

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC).

Laboratorio de suelos Ingeniería Civil, mecánica de suelos bowles

Manual de Laboratorio de mecánica de Suelos, Ingeniero Antonio Naranjo V. Universidad Nacional de Colombia.

Mecánica de Suelos Gonzalo Duque E y Carlos Escobar.

Mecánica De Suelos Juárez Badillo. Rico Rodríguez. Toma I 2006

Mecanica de Suelos y Cimentaciones.

Mecanica de Suelos. ING Nebardo Arturo Abril

Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia 2010

Normas sismo resistentes -2010 Titulo H

Plan de desarrollo turístico de Tena, Junio 2010

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, facultad seccional Sogamoso, Laboratorio de suelos y rocas.

ANEXO 1

MAPAS TEMÁTICOS

MAPA DE PENDIENTES

MAPA GEOLÓGICO

MAPA GEOMORFOLÓGICO

MAPA DE USO ACTUAL DEL SUELO

MAPA DE USO POTENCIAL DEL SUELO

MAPA DE CONFLICTO DE USO DEL SUELO

MAPA DE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

MAPA DE ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE MICROCUENCAS

MAPA TOPOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

ANEXO 2

MEMORIAS DE SONDEOS

ANEXO 3

RESULTADOS DE LABORATORIO