

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS Y ANÁLISIS CORRELACIONAL DE LITOLOGÍAS DE
LAS PERFORACIONES REALIZADAS EN EL ÁREA URBANA DE LOS MUNICIPIOS DE
PEREIRA Y DOSQUEBRADAS

VALENTINA URIBE OSORIO

UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE GEOLOGÍA
MANIZALES, COLOMBIA

2022

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS Y ANÁLISIS CORRELACIONAL DE LITOLOGÍAS DE
LAS PERFORACIONES REALIZADAS EN EL ÁREA URBANA DE LOS MUNICIPIOS DE
PEREIRA Y DOSQUEBRADAS

VALENTINA URIBE OSORIO

Informe de práctica académica presentado como requisito parcial para optar al título de:

GEÓLOGA

ASESOR UNIVERSIDAD DE CALDAS:

DIEGO ALBERTO ARANGO ARCILA

UNIVERSIDAD DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

PROGRAMA DE GEOLOGÍA

2022

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a mis padres Margarita Lucía y Pastor y hermano Sebastián por brindarme el apoyo y motivarme durante toda la carrera.

Al profesor Diego Alberto Arango Arcila por su dedicación, esfuerzo y paciencia al instruirme durante toda mi práctica académica y trabajo de grado, a él infinitas GRACIAS.

A la empresa 2 Ríos Ingeniería S.A.S y al ingeniero Diego Alberto Ríos y todo el equipo de trabajo por la oportunidad brindada y acogida en el mundo laboral.

A todo el equipo de docentes de la Universal de Caldas, quienes me apoyaron y enseñaron sus conocimientos para poder alcanzar el título de profesional.

A mis amigos Sara Valencia, Daniel Estrada, Mateo Gómez, Michael Flórez, Juan Pablo Serna, Steven Botero, que hicieron parte de este proceso y que me acompañaron durante el paso por la universidad, de cada uno aprendí y les agradezco por todos los momentos compartidos.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Diego Alberto Arango Arcila

DIEGO ALBERTO ARANGO ARCILA

Director Académico

RESUMEN

La empresa 2 RÍOS INGENIERÍAS SAS, se encuentra ubicada en el municipio de Dosquebradas en el departamento de Risaralda, ésta fue fundada por el ingeniero Diego Alberto Ríos Arango desde el año 2016, es una empresa dedicada a la consultoría y construcción de todo tipo de obras civiles, con capacidad para planificar, diseñar, construir y administrar proyectos de obra civil. En los últimos años la empresa se ha fortalecido en la elaboración de estudios y planes de gestión del riesgo, además esta firma cuenta con servicio de perforación y laboratorio de suelos, ofreciendo un alto nivel de calidad, confiabilidad y puntualidad en la entrega de los resultados de los diferentes ensayos de laboratorio.

El ingeniero civil y geotecnista Diego Alberto Ríos Arango ha estado a cargo de múltiples perforaciones de suelos a nivel nacional; no obstante, para el trabajo en cuestión, tendremos en cuenta las perforaciones realizadas en el casco urbano de los municipios de Pereira y Dosquebradas que hacen parte del área metropolitana centro occidente (AMCO) del departamento de Risaralda.

La presente investigación tiene la finalidad de caracterizar y correlacionar las litologías que componen el subsuelo a partir de los parámetros geomecánicos hallados mediante los resultados de laboratorio que se realizaron a cada uno de las perforaciones de los proyectos estudiados con el fin de establecer un comportamiento sobre el área de estudio de dichos parámetros en cada estrato.

Palabras claves: Geomecánica, correlación, suelo, parámetros, perforación.

ABSTRACT

The company 2 RÍOS INGENIERÍAS SAS, is located in the municipality of Dosquebradas in the department of Risaralda, it was founded by the engineer Diego Alberto Ríos Arango since 2016, it is a company dedicated to consulting and construction of all kinds of works civil, with the ability to plan, design, build and manage civil works projects. In recent years the company has been strengthened in the preparation of studies and risk management plans, in addition this firm has a drilling service and soil laboratory, offering a high level of quality, reliability and punctuality in the delivery of results of the different laboratory tests.

Civil engineer and geotechnician Diego Alberto Ríos Arango has been in charge of multiple soil drilling nationwide; however, for the work in question, we will take into account the drilling carried out in the urban area of the municipalities of Pereira and Dosquebradas that are part of the central-western metropolitan area (AMCO) of the department of Risaralda.

The present investigation has the purpose of characterizing and correlating the lithologies that make up the subsoil from the geomechanical parameters found through the laboratory results that were carried out on each of the perforations of the projects studied in order to establish a behavior on the study area of these parameters in each stratum.

Keywords: Geomechanics, correlation, soil, parameters, drilling.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	12
2.	JUSTIFICACIÓN	13
3.	OBJETIVOS.....	15
3.1	OBJETIVO GENERAL	15
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4.	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	16
5.1	Geología Regional	18
5.1.1	Complejo Cajamarca (Pev).....	20
5.1.2	Complejo Quebradagrande (Kvc-Ksc)	20
5.1.3	Stock Gabrónico de Pereira (Kgp)	20
5.1.4	Complejo Arquía (Kiea- Kies).....	21
5.1.5	Grupo Cañasgordas (Kvb, Kch, Kaa, Kcl).....	21
5.1.6	Formación Cinta de Piedra (Toep).....	21
5.1.7	Rocas Hipoabisales porfídicas (Tadh, Tadi, Tadp, Tpv, Td).....	22
5.1.8	Formación Zarzal (Tplz)	22
5.1.9	Formación Armenia (TQgq)	22
5.1.10	Flujos de lodo volcánico (Qfl)	22
5.1.11	Depósitos Piroclásticos (Qto).....	23
5.1.12	Aluviones Recientes (Qar).....	23
5.2	Geología Local.....	24

5.2.1	Rocas del basamento Formación Barroso (kvb) y Grupo Arquía (Kiea- Kies).....	26
5.2.2	Formación Armenia (TQgq)	26
5.2.3	Depósitos aluviales (QAI0)	27
5.2.4	Depósitos de Ceniza Volcánica (Qcv).....	27
5.2.5	Rellenos Antrópicos	29
5.2.6	Suelo orgánico (Oh)	30
5.3	Geología Estructural.....	30
5.3.2	Tectónica Regional.....	30
5.3.3	Tectónica Local	33
5.4	Hidrografía del área de estudio	34
6	METODOLOGÍA	36
6.2	General.....	36
6.3	Recopilación y revisión de la información existente	36
6.4	Procesamiento de la información.....	37
6.5	Sistema de información Geográfica (SIG)	45
7	MARCO TEÓRICO	48
7.2	Ensayo de la resistencia cortante del suelo	50
7.3	Ensayo de la Compresión simple (qu).....	55
7.4	Límites de Atterberg.....	57
7.5	Análisis granulométrico (Porcentaje de material que pasa por el tamiz #200) y clasificación	61

7.6	Peso unitario de suelos.....	67
8	RESULTADOS	69
8.2	Interpretación de los Parámetros Físico-Mecánicos.....	69
8.2.2	Depósitos de ceniza volcánica (QcvI).....	69
8.2.3	Depósitos de ceniza volcánica (QcvII).....	77
8.3	Modelo 3D del área de estudio	86
9	CONCLUSIONES.....	87
10	RECOMENDACIONES.....	90
11	REFERENCIAS	91

FIGURAS

Figura 1 Localización de los municipios de Pereira y Dosquebradas del departamento de Risaralda,	17
Figura 2 Geología Regional de los municipios de Pereira y Dosquebradas.	19
Figura 3 Formaciones superficiales de los municipios de Pereira y Dosquebradas.	25
Figura 4 Mapa estructural del occidente de Colombia	31
Figura 5 Principales fallas y lineamientos de los municipios de Pereira y Dosquebradas	32
Figura 6 Hidrografía de los municipios de Pereira Y Dosquebradas.....	35
Figura 7 Nombre y numeración de los proyectos	38
Figura 8 Localización y distribución de los proyectos realizados sobre los municipios de Pereira y Dosquebradas.....	39
Figura 9 Localización de las perforaciones.	40
Figura 10 Columna estratigráfica del suelo idealizada	44
Figura 11 Esquemmatización general del Sondeo de Penetración Estándar (SPT)	49
Figura 12 Muestra extraída por medio de un tubo shelby.....	50
Figura 13 Envolvente de falla de Mohr y criterio de rotura de Mohr-Coulomb.....	51
Figura 14 Muestras circulares para el ensayo de corte directo No consolidado-No drenado (UU).	53
Figura 15 Equipo de corte directo.....	53
Figura 16 Valores estimados de la cohesión medidos en libra-fuerza por pulgada cuadrada y de la fricción medida en grados	55
Figura 17 Equipo de laboratorio del ensayo de Compresión Simple.....	56

Figura 18 Valores estimados de la cohesión medida en KN/m^2 a través del ensayo de la Compresión Simple.....	56
Figura 19 Estados y límites de consistencia del suelo	57
Figura 20 Copa de Casagrande	59
Figura 21 Enrollado del suelo para lograr cilindros de 3 mm de diámetro.....	60
Figura 22 Clasificación de los suelos basada en los límites de Atterberg	61
Figura 23 Tamices a utilizar en el ensayo de análisis granulométrico.....	62
Figura 24 Granulometría de partículas	62
Figura 25 Carta de plasticidad de Casagrande.....	63
Figura 26 Clasificación SUCS (separación en componente fina y gruesa)	64
Figura 27 Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS)- En Lambe y Whitman. 1981	65
Figura 28 Clasificación del suelo AASHTO	66
Figura 29 Rango representativo de peso unitario seco y húmedo.....	68
Figura 30 Comportamiento de la cohesión medido en KN/m^2 por medio del ensayo de corte directo No consolidado-No drenado (UU) de los depósitos de ceniza volcánica (QcvI)	70
Figura 31 Comportamiento del parámetro de la fricción medido en grados, por medio del ensayo de corte directo No consolidado- No drenado (UU) de los depósitos de ceniza volcánica (QcvI)	71
Figura 32 Comportamiento del parámetro de la cohesión medido en KN/m^2 , por medio del ensayo de la compresión simple (qu).....	72
Figura 33 Comportamiento del parámetro del límite líquido medido en porcentaje por medio del ensayo de la cuchara de Casagrande de los depósitos de ceniza volcánica (QcvI).....	73
Figura 34 Comportamiento del parámetro del límite plástico medido en porcentaje por medio del método de rollos de los depósitos de ceniza volcánica (QcvI)	74
Figura 35 Comportamiento del parámetro índice de plasticidad medido en porcentaje de los depósitos de ceniza volcánica (QcvI)	75

Figura 36 Comportamiento del material que pasa por el tamiz #200 medido en porcentaje, por medio de un análisis granulométrico de los depósitos de ceniza volcánica (QcvI)	76
Figura 37 Comportamiento del parámetro peso unitario húmedo medido en gr/cm ³ de los depósitos de ceniza volcánica (QcvI)	77
Figura 38 Comportamiento de la cohesión medido en KN/m ² por medio del ensayo de corte directo No consolidado-No drenado (UU) de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)	78
Figura 39 Comportamiento del parámetro de la fricción medido en grados, por medio del ensayo de corte directo No consolidado- No drenado (UU) de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)	79
Figura 40 Comportamiento del parámetro de la cohesión medido en KN/m ² , por medio del ensayo de la compresión simple (qu) de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)	80
Figura 41 Comportamiento del parámetro del límite líquido medido en porcentaje por medio del ensayo de la cuchara de Casagrande de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)	81
Figura 42 Comportamiento del parámetro del límite plástico medido en porcentaje por medio del método de rollos de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)	82
Figura 43 Comportamiento del parámetro índice de plasticidad medido en porcentaje de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)	83
Figura 44 Comportamiento del material que pasa por el tamiz #200 medido en porcentaje, por medio de un análisis granulométrico de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII).....	84
Figura 45 Comportamiento del parámetro peso unitario húmedo medido en gr/cm ³ de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)	85
Figura 46 Aproximación de la distribución en la vertical de las unidades de suelo en el área de estudio	86

TABLAS

Tabla 1 Principales fallas geológicas de Pereira	33
Tabla 2 Principales fallas y lineamientos de Dosquebradas	34
Tabla 3 Formato para hallar el valor característico de los diferentes estratos	41
Tabla 4 Formato para el ensayo No consolidado -No drenado (UU).....	54
Tabla 5 Formato de los ensayos Límites de Atterberg y Clasificación de suelos	67

1. INTRODUCCIÓN

Geotécnicamente hablando, conocer un terreno significa: clasificar su naturaleza, conocer su origen, dibujar su topografía, establecer los materiales que lo componen en profundidad, definir su composición, estimar el grado de resistencia, comprobar aguas subterráneas, calcular la estabilidad y determinar las debilidades y riesgos sobre el terreno estudiado. Es por esto, que el estudio y mecánica de los suelos son aspectos muy importantes ante cualquier obra de ingeniería o construcción, ya que por medio de ellos se conocen las características físicas, químicas y mecánicas del terreno garantizándonos los diferentes estratos que conforman el sub suelo a la profundidad explorada en cada proyecto, esto con el fin de conocer el comportamiento de cada una de las capas para así implantar los parámetros de diseño de cimentación a utilizar y establecer hasta que profundidad se debe cimentar, los cuales son el sustento de cualquier obra, igualmente dependiendo del tipo de suelos se determina la capacidad de soporte del mismo (resistencia del suelo).

Con base en lo anterior, toda la información obtenida de la exploración de campo y sumado a los resultados de los ensayos de laboratorio, se procede a realizar un informe geotécnico, el cual es un documento técnico indispensable para todo proyecto constructivo, que propone y recomienda la solución de cimentación que garantice la estabilidad de la edificación proyectada en consonancia con el tipo de terreno reconocido y estudiado, dichas recomendaciones están basadas en datos relevantes como la estratigrafía de los materiales en profundidad y su resistencia, la existencia o no de aguas subterráneas, la topografía, entre otros.

2. JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que Colombia es un país que se encuentra ubicado en una zona de alto riesgo sísmico, los estudios de suelos están regidos por el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NRS-10, esta normatividad pretende evitar que los movimientos sísmicos ocasionen derrumbes o daños a las edificaciones e igualmente preservar la integridad física y los bienes de las personas, regulando así, las condiciones con las que se deben contar las construcciones para que la respuesta estructural a un sismo sea favorable la cual se debe cumplir y es imprescindible antes de proyectar cualquier construcción, para ello se debe contar con un estudio previo del suelo.

Este proyecto se ubica en las áreas urbanas de los municipios de Pereira y Dosquebradas del departamento de Risaralda lo cual, resulta de especial interés, conocer los materiales del sub suelo, su origen, sus características físicas y su comportamiento mecánico, para así adoptar buenos diseños de cimentación para cualquier obra civil que se desee proyectar sobre estos municipios.

La presente investigación surge de la necesidad de conocer, a manera general, las características del sub suelo, tanto mecánica como físicas, con el propósito de tener un conocimiento previo durante la exploración de campo de cada proyecto que se quiera realizar a futuro o de hacer un análisis rápido de qué tipo de cimentación utilizar dependiendo de la estructura a edificar y la topografía en la que se encuentre, sin embargo, esto no reemplaza un estudio de suelos detallado para dicho proyecto, ya que esto es obligatorio presentar en cada obra civil.

Con esto, se busca que la investigación sea útil para la comunidad ingenieril y demás personas que estén interesadas en el tema de la geotecnia, puesto que se establecerá por medio de

los proyectos y las múltiples perforaciones de los últimos años que estuvieron a cargo del ingeniero Diego Alberto Ríos Arango (gerente de la empresa 2RÍOS INGENIERÍAS S.A.S), una estratigrafía general de los diferentes estratos encontrados a una profundidad no mayor a 30 metros, cada una de estas capas con sus respectivas características físicas y mecánicas que fueron obtenidas por medios de los resultados de los ensayos de laboratorio, que se encuentran regidos bajo la normatividad ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales), que tiene su comparativo con la NTC (Norma Técnica Colombiana) que a su vez están descritos en las Normas INVIAS 2013.

Por otra parte, la investigación contribuye a ampliar información sobre cómo se extraen las muestras de suelo, cuáles son los ensayos de laboratorio que se les realizan a las muestras y cuál es la finalidad de dichos resultados.

El trabajo tiene una utilidad metodológica, ya que podrían realizarse futuras investigaciones que utilizarán metodologías compatibles de manera que se posibilitarán análisis conjuntos y comparaciones.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Apoyo técnico como estudiante de Geología en las diferentes labores de la empresa 2 RÍOS INGENIERIAS S.A.S como auxiliar en el laboratorio de suelos, visitas de campo en varios municipios del departamento de Risaralda y redacción de informes geotécnicos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar de la base de datos de la empresa 2 RÍOS INGENIERÍAS S.A.S, toda la información referente a proyectos de estudios de suelos realizados en los municipios de Pereira y Dosquebradas.
- Efectuar un análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio y conocer la estratigrafía del sub suelo para cada uno de los proyectos estudiados.
- Realizar una caracterización y correlación estratigráfica general con una descripción detallada de las litologías teniendo en cuenta tanto sus características mecánicas como físicas.
- Proponer un modelo 3D mostrando la litología del subsuelo

4. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto abarca dos municipios del departamento de Risaralda que hacen parte del área metropolitana centro occidente (AMCO) los cuales son Pereira y Dosquebradas, siendo el primer municipio nombrado la capital del departamento.

El municipio de Pereira cuenta con una extensión de 702 Kilómetros cuadrados (Km^2) y está localizado a $4^\circ 49'$ de latitud norte, $75^\circ 42'$ de longitud y 1.411 metros de altura sobre el nivel del mar, en el centro de la región occidental del territorio colombiano. Limita al sur con los municipios de Ulloa (Departamento del valle), Filandia y Salento (Departamento del Quindío); al oriente, con el departamento del Tolima y zona de los nevados; al occidente con los municipios de Cartago, Anserma Nuevo (Departamento del valle), Balboa, la Virginia (Departamento de Risaralda) (Vásquez, 2018).

El municipio de Dosquebradas hace parte del Centro Occidente de la región Andina; se encuentra al este del departamento y es limitada al norte con los municipios de Marsella y Santa Rosa de Cabal; por el occidente y sur con el municipio de Pereira y por el oriente con el municipio de Santa Rosa de Cabal; localizada entre $4^\circ 45'$ latitud norte y $75^\circ 30'$ de longitud. (Véase **Figura 1**)

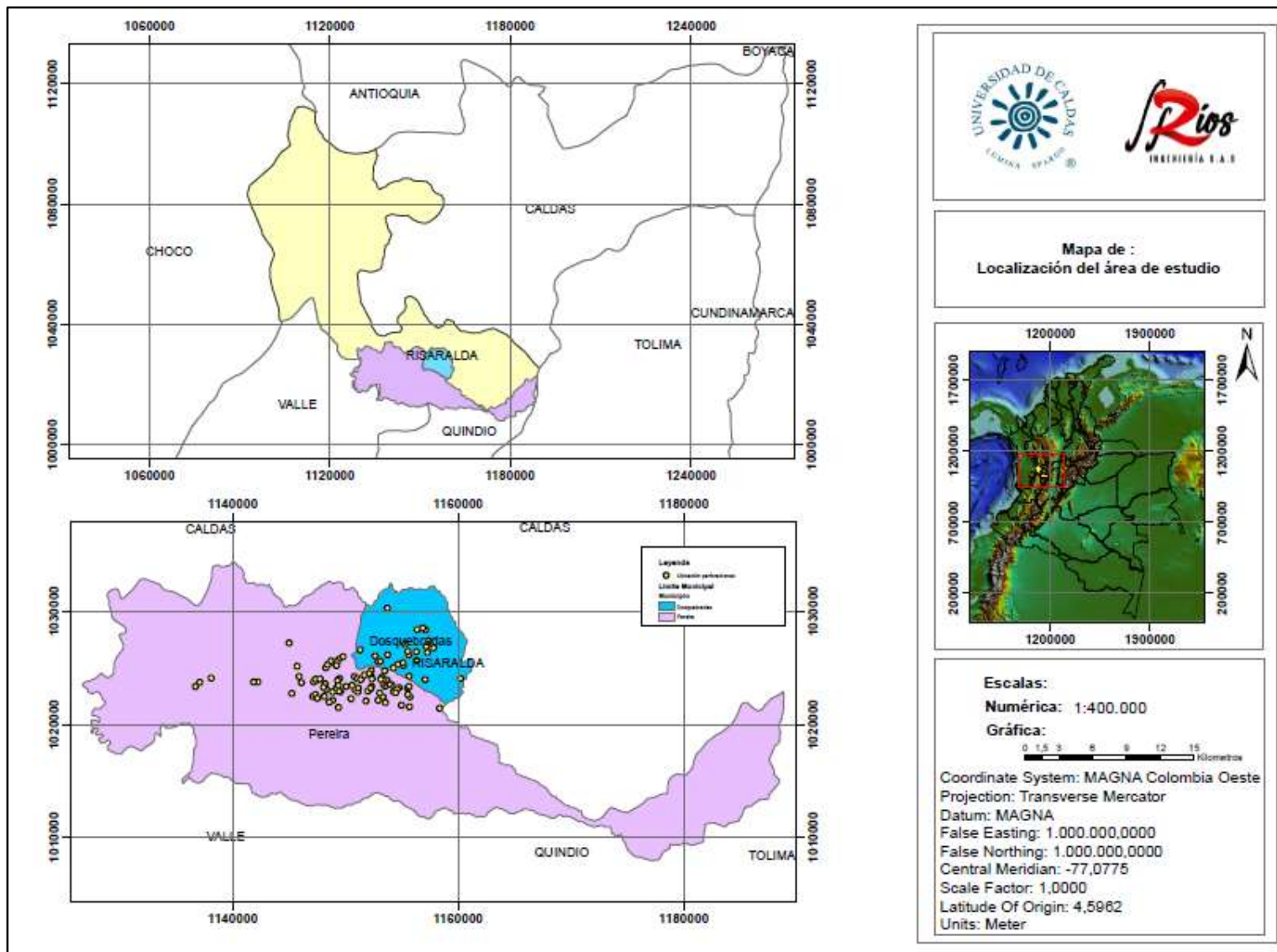


Figura 1 Localización de los municipios de Pereira y Dosquebradas del departamento de Risaralda, Nótese que en el mapa los puntos de color amarillo hacen referencia a los proyectos realizados a cargo del ingeniero Diego Alberto Ríos Arango
Fuente: Información cartográfica suministrada por la Corporación Autónoma Regional De Risaralda (CARDER)

5. MARCO GEOLÓGICO

El Departamento de Risaralda se encuentra ubicado sobre la vertiente occidental de la Cordillera Central y la vertiente oriental de la Cordillera Occidental, ambas con diferentes unidades geológicas; en la zona de estudio afloran unidades geológicas de origen ígneo, metamórfico y sedimentaria desde la edad Paleozoica hasta el reciente (González, 1993)

5.1 Geología Regional

En este trabajo nombraremos las unidades geológicas que cubren los municipios de Pereira y Dosquebradas, haciendo uso de la información en formato Shp suministrada por la CARDER y de la memoria explicativa del mapa en escala 1:200000 del departamento de Risaralda de INGEOMINAS 1993. (Véase **Figura 2**)

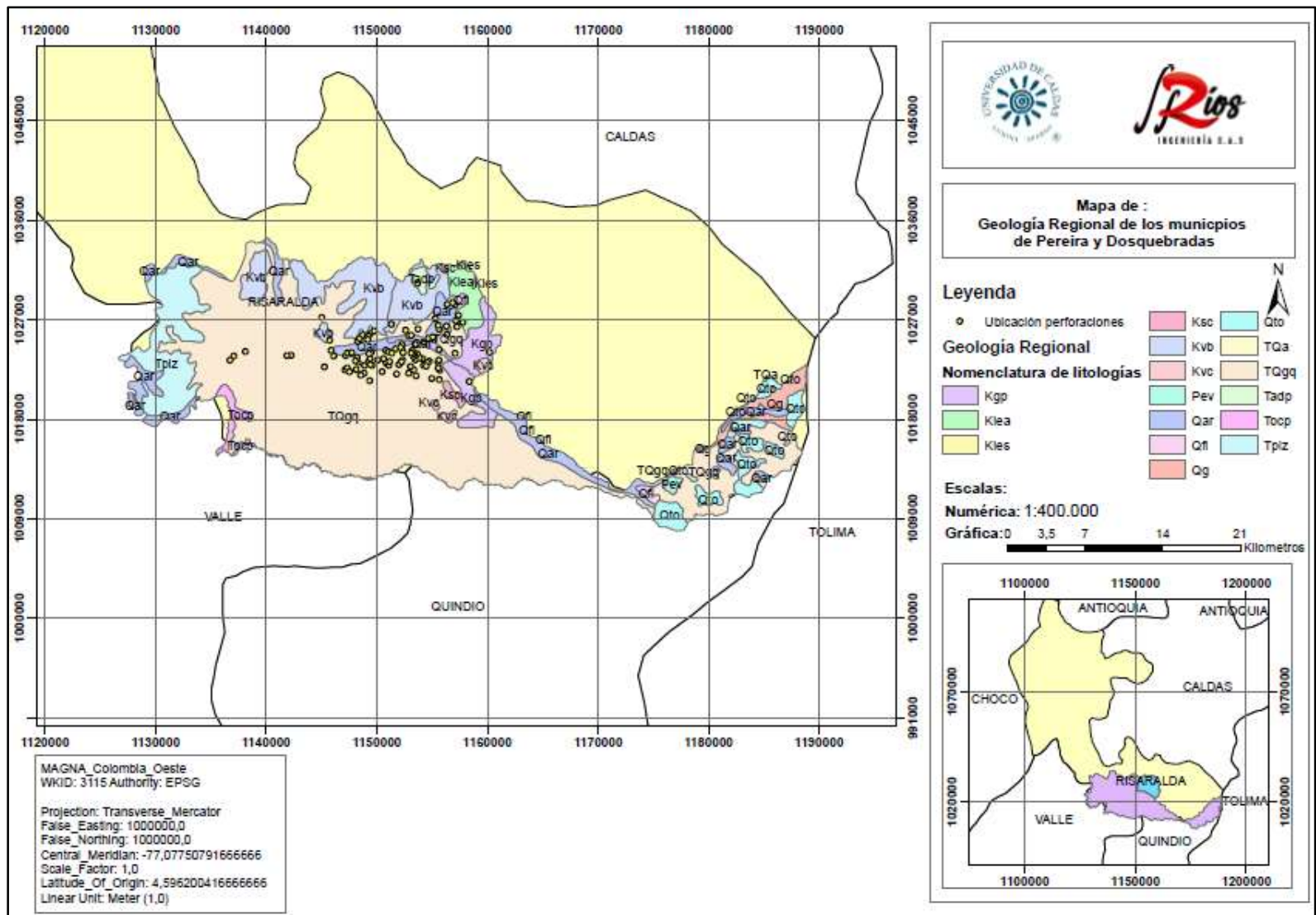


Figura 2 Geología Regional de los municipios de Pereira y Dosquebradas.

Nótese que en la mayor parte de la zona de estudio se encuentra presente la unidad geológica denominada como Abanico del Quindío (TQgq), hoy en día llamado Formación Armenia.

Fuente: Información cartográfica suministrada por la Corporación Autónoma Regional De Risaralda (CARDER)

5.1.1 Complejo Cajamarca (Pev)

Esta unidad hace parte de la Cordillera Central y se encuentra constituida principalmente por esquistos cloríticos y anfibolíticos con tonalidades verdosas, los cuales se encuentran cubiertos por secuencias piroclásticas recientes (González, 1993).

5.1.2 Complejo Quebradagrande (Kvc-Ksc)

El Complejo Quebradagrande se caracteriza por intercalaciones de rocas volcánicas y sedimentarias, con amplias variaciones litológicas tanto en la secuencia sedimentaria como en las relaciones entre flujos volcánicos y capas piroclásticas, el miembro volcánico presenta características masivas, de color verde en diferentes tonalidades, de composición espilitica, compuesta por plagioclasas y piroxeno, presenta minerales de alteración como actinolita, clorita, epidota, además presenta cantidades menores de andesitas, brechas y tobas, en general predominan las texturas porfídicas con fenocristales de plagioclasa y piroxeno y subordinadas texturas amigdalares y fragmentales para tobas y aglomerados (González, 2001; Rodríguez y Zapata, 2013).

5.1.3 Stock Gabrónico de Pereira (Kgp)

Este cuerpo aflora al sur de Santa Rosa y al oriente de la ciudad de Pereira, fue definido por como un conjunto de rocas masivas de grano grueso y color verdoso, con presencia de plagioclasa, minerales ferromagnesianos y localmente cuarzo accesorio; esta unidad presenta una meteorización avanzada y escasos afloramientos, donde la composición predominante es diorita-

gabroide con variaciones locales a tonalita, además se encuentra cubierto por sedimentos terciarios y por flujos cuaternarios (Caballero y Zapata, 1984).

5.1.4 Complejo Arquía (Kiea- Kies)

Este complejo se encuentra constituido principalmente por esquistos cloríticos y anfibolíticos (Kiea) y por esquistos sericíticos, aflora en el flanco occidental de la Cordillera Central; dentro del departamento de Risaralda, los afloramientos son escasos debido a que se encuentran cubiertos por espesas capas de cenizas (González, 1993).

5.1.5 Grupo Cañasgordas (Kvb, Kch, Kaa, Kcl)

Esta unidad aflora entre el flanco oriental de la Cordillera Occidental y el Occidental de la Cordillera Central, constituido por una secuencia de rocas volcánicas básicas denominada Formación Barroso (Kvb) y por la Formación Penderisco que es una unidad netamente sedimentaria (Kaa, Kcl); la formación Barroso (Kvb) corresponde a un complejo volcánico lávico y volcánico-clástico de composición básica, esencialmente diabasas (microgabro) y basaltos con intercalaciones de lavas almohadilladas, tobas y brechas (Álvarez y Gonzáles, 1978).

5.1.6 Formación Cinta de Piedra (Tocp)

Esta unidad aflora al Occidente del municipio de Pereira, la cual está compuesta por materiales detríticos de pobre selección, de areniscas líticas a conglomerados polimícticos presentando clastos imbricados de rocas ígneas granitoides y basálticos. Se le asigna una edad del Oligoceno superior (Van Der Hammen, 1958).

5.1.7 Rocas Hipoabisales porfídicas (Tadh, Tadi, Tadp, Tpv, Td)

Estas rocas afloran entre las Cordilleras Central y Occidental, correspondientes a intrusivos sub-volcánicos de edad Mioceno; al norte del municipio de Dosquebradas son designados como pórfidos andesíticos de Pereira (Tadp) compuestos por fenocristales de plagioclasa, horblenda y biotita en matriz holocristalina feldespática (González, 1993).

5.1.8 Formación Zarzal (Tplz)

Según Van Der Hammen (1958) esta unidad aflora al occidente del municipio de Pereira y está constituida por una secuencia sedimentaria de diatomitas, arcillolitas y areniscas tobáceas, la cual se encuentra cubierta por capas de ceniza volcánicas y aluviones recientes.

5.1.9 Formación Armenia (TQgq)

Según lo planteado por McCourt *et al.* (1984), “es la unidad geológica de mayor presencia ocupando entre 40% y 50% del área de estudio; son depósitos no consolidados de materiales de caídas de cenizas volcánicas y flujos de lodos volcano-genéticos; se le asigna una edad Plio-Pleistocena y está representando el producto del ciclo magmático Mio-Plioceno del Complejo Volcánico Ruiz- Tolima.”

5.1.10 Flujos de lodo volcánico (Qfl)

Estos flujos de lodo o lahares están constituidos por rocas piroclásticas, lapilli, ceniza y fragmentos de roca volcánicas embebidos en una matriz piroclástica de lapilli, ceniza y arena. Estos depósitos son productos de la actividad volcánica explosiva del Complejo Volcánico Ruiz-

Tolima. La edad de estos flujos está comprendida entre el Pleistoceno y el Holoceno (González, 1993).

5.1.11 Depósitos Piroclásticos (Qto)

En el departamento de Risaralda la actividad volcánica para estos depósitos está representada por capas de ceniza volcánica cubriendo las formaciones antiguas; la secuencia de ceniza está constituida por capas de lapilli, intercaladas con lahares de composición andesítica (González, 1993).

5.1.12 Aluviones Recientes (Qar)

El Cuaternario más reciente está constituido por los sedimentos que rellenan los valles del Río Cauca y Risaralda, los aluviones están compuestos por bloques, gravas, arenas y limos embebidos en una matriz areno- arcillosa o limo- arenosa de diferente composición (González, 1993).

5.2 Geología Local

En este capítulo se describe la estratigrafía del área urbana y sub urbana de los municipios de Pereira y Dosquebradas. Las principales litologías que afloran a nivel local, caracterizan las llamadas formaciones superficiales, como los depósitos encontrados inmediatamente debajo de la capa vegetal, así como las rocas del basamento y sus respectivos saprolitos, los depósitos de origen coluvial, aluvial, volcano-sedimentarios, de caída piroclástica y de vertiente, además los depósitos de rellenos antrópicos y botados de escombros. Es de gran importancia conocer el comportamiento físico-mecánico de estas litologías puesto que para proyectos futuros se puede establecer el comportamiento general de las ondas sísmicas, grados de severidad de daños en estructuras durante un sismo, establecer un análisis de estabilidad de taludes y otros aspectos geotectónicos. (Véase **Figura 3**)

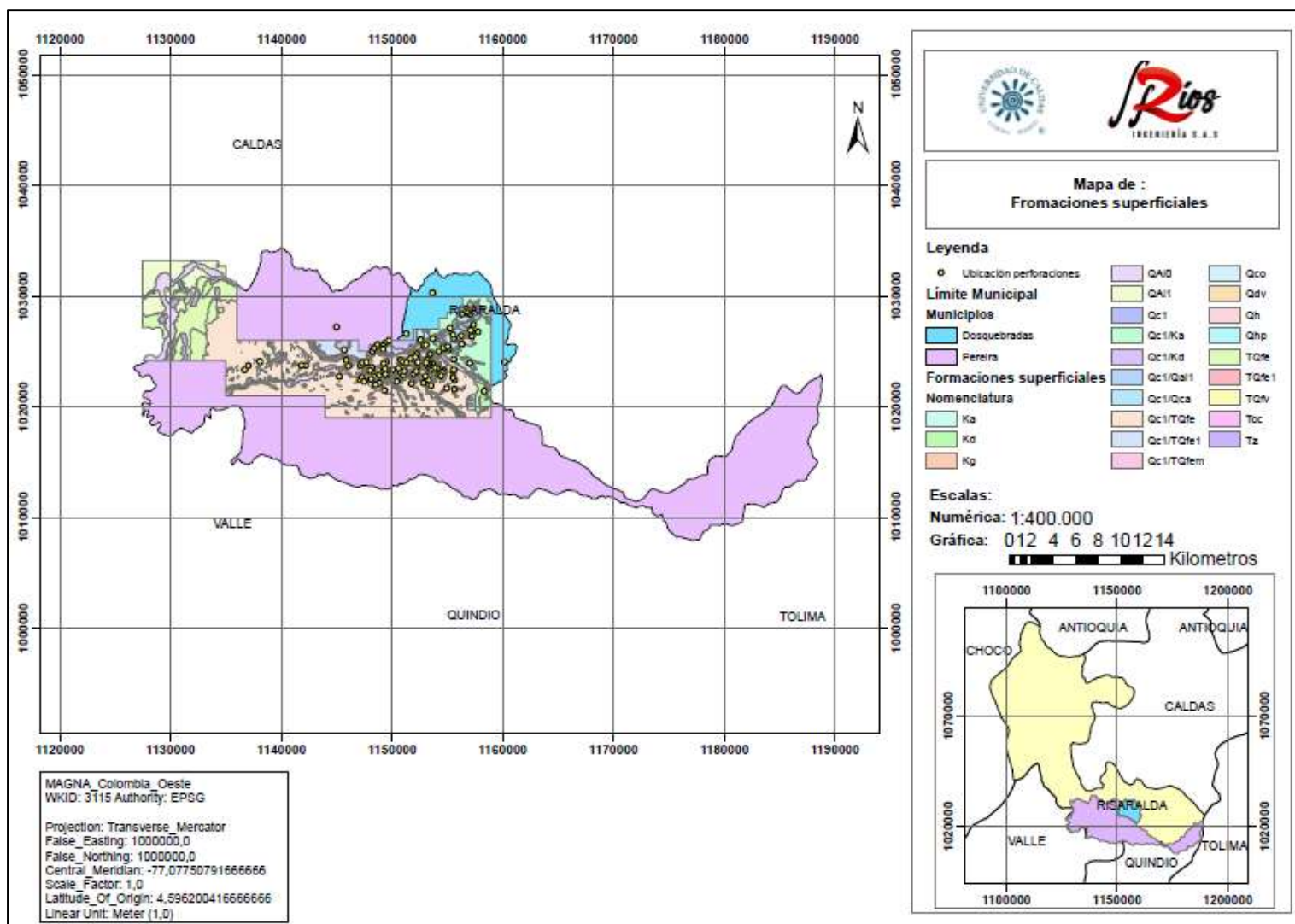


Figura 3 Formaciones superficiales de los municipios de Pereira y Dosquebradas.

Nótese las diferentes formaciones que cubren el área de estudio, cabe mencionar, que para este trabajo sólo tendremos en cuenta: el saprolito del microgabro, la Formación Armenia, los depósitos aluviales, los depósitos de ceniza volcánica y los rellenos antrópicos.

Fuente: Información cartográfica suministrada por la Corporación Autónoma Regional De Risaralda (CARDER)

5.2.1 Rocas del basamento Formación Barroso (kvb) y Grupo Arquía (Kiea- Kies)

El basamento geológico de mayor densidad y rigidez está conformado por las rocas basálticas y gabróicas pertenecientes a la Formación Barroso, caracterizando el sector más Occidental de Pereira y Dosquebradas.

- *Complejo Diabásico de la Formación Barroso (Kvb):*

Corresponde a un conjunto de basaltos y diabasas (micrograbros) con forma de lavas almohadilladas, intercaladas con metasedimentos pertenecientes a la corteza oceánica como areniscas, chert y niveles calcáreos. La edad propuesta para esta unidad es Jurásico-Cretácico Temprano (Pardo y Moreno, 2001). En este trabajo esta litología es nombrada como Kdv-sr.

5.2.2 Formación Armenia (TQgq)

Aproximadamente el 40%-50% del municipio de Pereira está cubierto por ese depósito volcano-sedimentario de origen múltiple y edad Plioceno-Pleistoceno; este depósito se originó en la cima de la Cordillera Central en los volcanes nevados del Quindío, Santa Isabel y Cerro Santa Rosa y en los glaciares que en el Plioceno- Pleistoceno los cubrían (González, 1993). Las erupciones volcánicas ocasionaron deshielo y formaron lahares que descendieron por los ríos Quindío y Consota, al occidente de Pereira, principalmente, además de esto, los glaciares, avenidas torrenciales y depósitos de caída piroclástica contribuyeron al origen de esta secuencia y que tiene un espesor de aproximadamente 100 metros (González, 1993). Se considera que los Abanicos del Quindío y de Pereira pueden ser estimados como una sola unidad, ya que las primeras fases formaban un mismo abanico y el mecanismo de desarrollo de los dos abanicos han sido el mismo a lo largo de la historia geológica (Espinosa, 2010).

5.2.3 Depósitos aluviales (QAI0)

Los principales depósitos aluviales son aquellos relacionados con las cuencas de los ríos Otún, Consota y San Eugenio y las quebradas El Oso y Dosquebradas; la información de refracción sísmica sugiere espesores de hasta 25 metros. El municipio de Dosquebradas cuenta con varias cuencas hidrográficas entre ellas tenemos: La cuenca Frailes, la víbora, los Molinos Agua azul, Tomineja- El Barrizal, Manizales- Soledad y la Fría, las cuales aportan gran contenido de material aluvial al municipio (Arias-Dávila, 2002). En este trabajo estos depósitos son nombrados como (Qal).

5.2.4 Depósitos de Ceniza Volcánica (Qcv)

La base de las cenizas volcánicas de caída en la región, son arcillas rojizas, biotíticas, oxidadas esencialmente volcánicas, no datables por el método de radiocarbono y por lo tanto de edad superior posiblemente a los 40.000 años; estas arcillas rojizas están recubiertas por más de 22 horizontes de cenizas volcánicas con intercalaciones de paleosuelos de composición variable, pero con un predominio de los niveles anfibólicos en la parte superior la parte intermedia y piroxénicos en la parte superior (Toro-Villegas, 2001).

Pulgarin *et al.* (2018) propone la formación Potreros- Porvenir – El Roble para asociar los depósitos de caída piroclástica que están relacionados con fuentes de los diferentes volcanes de la Provincia Vulcano-Tectónica San Diego- Cerro Machín (PVTSC, que corresponde al antiguamente denominado Complejo Ruiz-Tolima) es un conjunto de depósitos cenizas finas en capas paralelas muy gruesas a finas, de geometría tabular con colores habano medio a oscuro, ocre y gris. Esta unidad tiene un espesor desde 1.0 metro a 20 metros; y está ampliamente

distribuida en los sectores W, SW y S de las zonas media y distal del Complejo Volcánico del Paramillo Santa Rosa (CVPSR) caracterizándose por un alto grado de edafización, lo que impide la identificación de las superficies de contacto. (Pulgarin et al., 2018) lo divide en conjuntos de capas de cenizas Pre-Holocénicas del sector W de CVPSR (donde se localiza Pereira) y Conjunto de capas Pre-Holocénicas del sector SW del CVPSR, este último también denominado Cenizas del Abanico del Quindío- Risaralda.

Es importante resaltar que lo que se ha llamado cenizas volcánicas en el área de Pereira, no todas las capas corresponderían a depósitos de caída piroclástica, ya que se presentan capas de “cenizas” muy potentes para ser depósitos de caída piroclástica, debido a la distancia de los volcanes relacionados con estos depósitos, p.e. Volcán del Paramillo de Santa Rosa, pero lo más importante es que estos depósitos de “cenizas” tienen intercalados depósitos lenticulares de flujos de escombros que se describen como “dos niveles de bloques de roca sub-redondeada” ligado a un lahar; estos lahares, son depósitos de flujos de escombros que usualmente están asociados a depósitos piroclásticos formados a partir de los existentes. Por lo tanto, la base de la secuencia de los depósitos de ceniza de la ciudad de Pereira, incluirían depósitos de flujos piroclásticos, intercalados con lentes de depósitos de flujos de escombros (relacionados con eventos de lahares); por todo lo anterior, esta unidad de depósitos de ceniza volcánica (Qcv) es dividido en dos secuencias: la superior Qcv-I integrada exclusivamente de depósitos de caída piroclástica y la inferior Qcv-II que incluye depósitos de flujo piroclásticos con lentes de flujos de escombros (Lahares) (Cano, 2019).

Para algunos proyectos realizados en este trabajo se menciona las cenizas volcánicas QcvIII-QcvIV, ya que en las perforaciones y en los ensayos de laboratorio se determinó que son estratos con diferentes propiedades físico-mecánicas y además presentan un color diferente. Cabe

mencionar que para la clasificación de estos estratos se tiene en cuenta el color y la textura del depósito y no la composición mineralógica.

5.2.5 Rellenos Antrópicos

Se denominan con este nombre todos aquellos materiales que han sido arrojados por la actividad del hombre, sobre laderas naturales de cortes de vías, cuyo resultado final ha sido el relleno de depresiones naturales o la ampliación de las zonas semiplanas para su utilización en desarrollos urbanísticos.

Desde la década comprendida entre los años 1930 y 1940, varias clases de rellenos antrópicos han sido desarrollados en particular en la ciudad de Pereira (Arias-Dávila, 2002). En concordancia con las geoformas del relieve donde han sido desarrollados y la geometría resultante de los rellenos, en este trabajo se clasifican de la siguiente manera:

- *Rellenos heterogéneos tipo botaderos (Obo)*: Estos depósitos son los realizados con productos de desecho: escombros, material de construcción y residuos sólidos urbanos fundamentalmente. Su heterogeneidad los hace poco aconsejables para realizar alguna estructura. Estos depósitos pueden causar algunos problemas como: contaminación física, química y biológica del entorno, importantes cambios de volumen por fenómenos de expansividad de determinados materiales y deformabilidad excesiva, ya que el vertido se realiza sin control en la compactación.
- *Rellenos antrópicos consolidados (Oll)*: Estos depósitos presentan material con propiedades físico-mecánicas y composición homogénea, lo que los hace aptos para la

construcción, puesto que son rellenos creados por el hombre con las técnicas adecuadas de compactación y consolidación.

5.2.6 Suelo orgánico (Oh)

Los suelos orgánicos generalmente se encuentran cerca del nivel freático, los cuales son altamente compresibles con humedades variables.

5.3 Geología Estructural

5.3.2 Tectónica Regional

Como se había mencionado anteriormente el departamento de Risaralda está ubicado sobre los flancos occidental y oriental de las cordilleras central y occidental respectivamente y en la depresión del Cauca que las limita estructuralmente a lo largo de sistemas de fallas paralelas a los bordes y que convergen hacia la zona del valle de ambas cordilleras (González, 1993), la región occidental agrupa estructuras de tipo inverso y de bajo ángulo de buzamiento con rumbos predominantes SSE – NNW, y la región oriental donde predominan las fallas inversas de alto ángulo con componente en rumbo, limitadas estas dos por la falla Cauca – Almaguer. De manera general hacia el piedemonte Occidental de la Cordillera Central este tipo de estructuras se encuentran cubiertas por espesas capas de materiales volcánicos recientes, que dificultan su identificación. (Véase **Figura 4** y **Figura 5**)

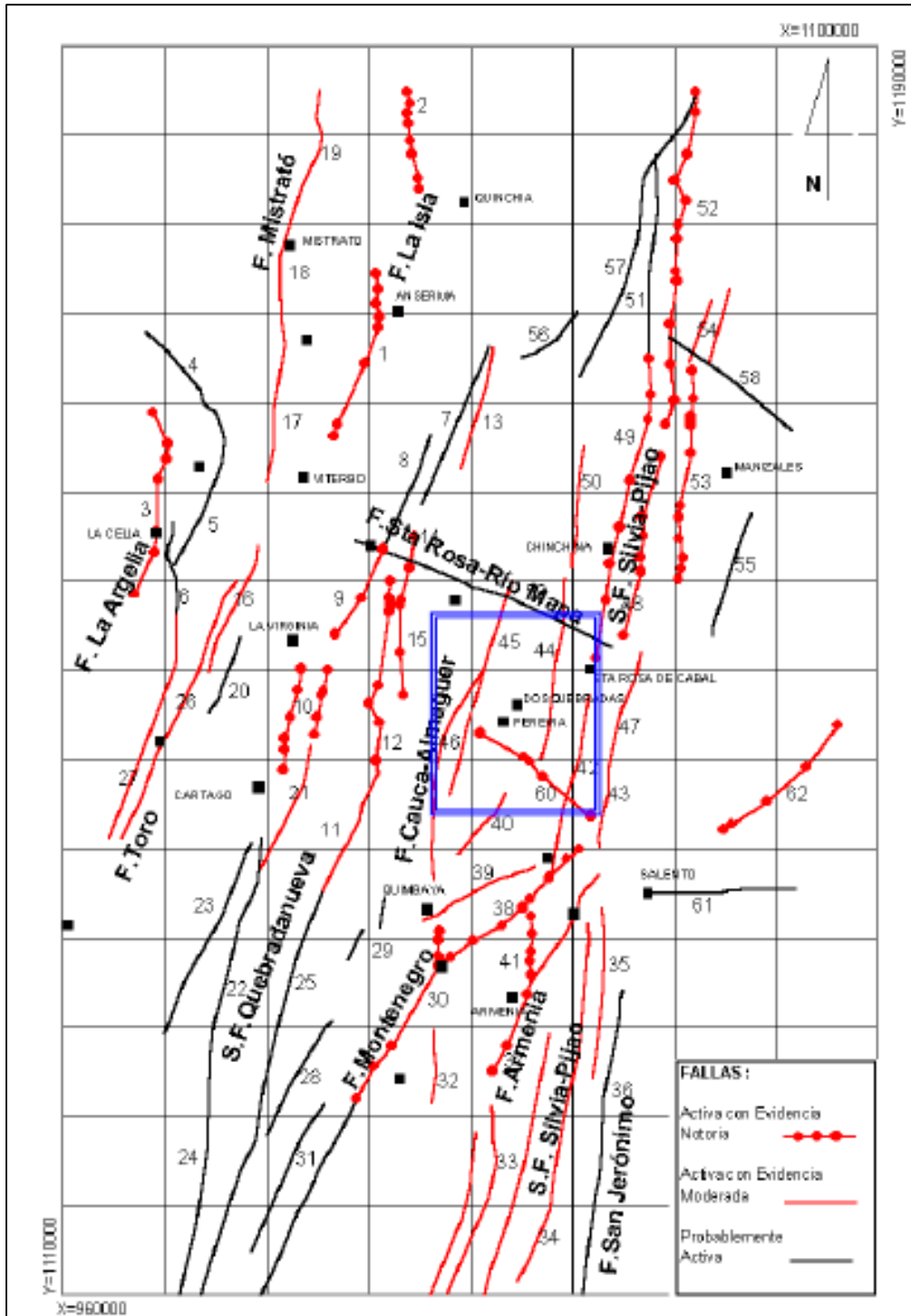


Figura 4 Mapa estructural del occidente de Colombia

Nótese como el área de estudio se encuentra influenciada por las fallas regionales denominadas Cauca- Almaguer y Silvia Pijao

Fuente: Tomado de la CARDER, proyecto para la mitigación del riesgo sísmico. Evaluación neotectónica, 1997

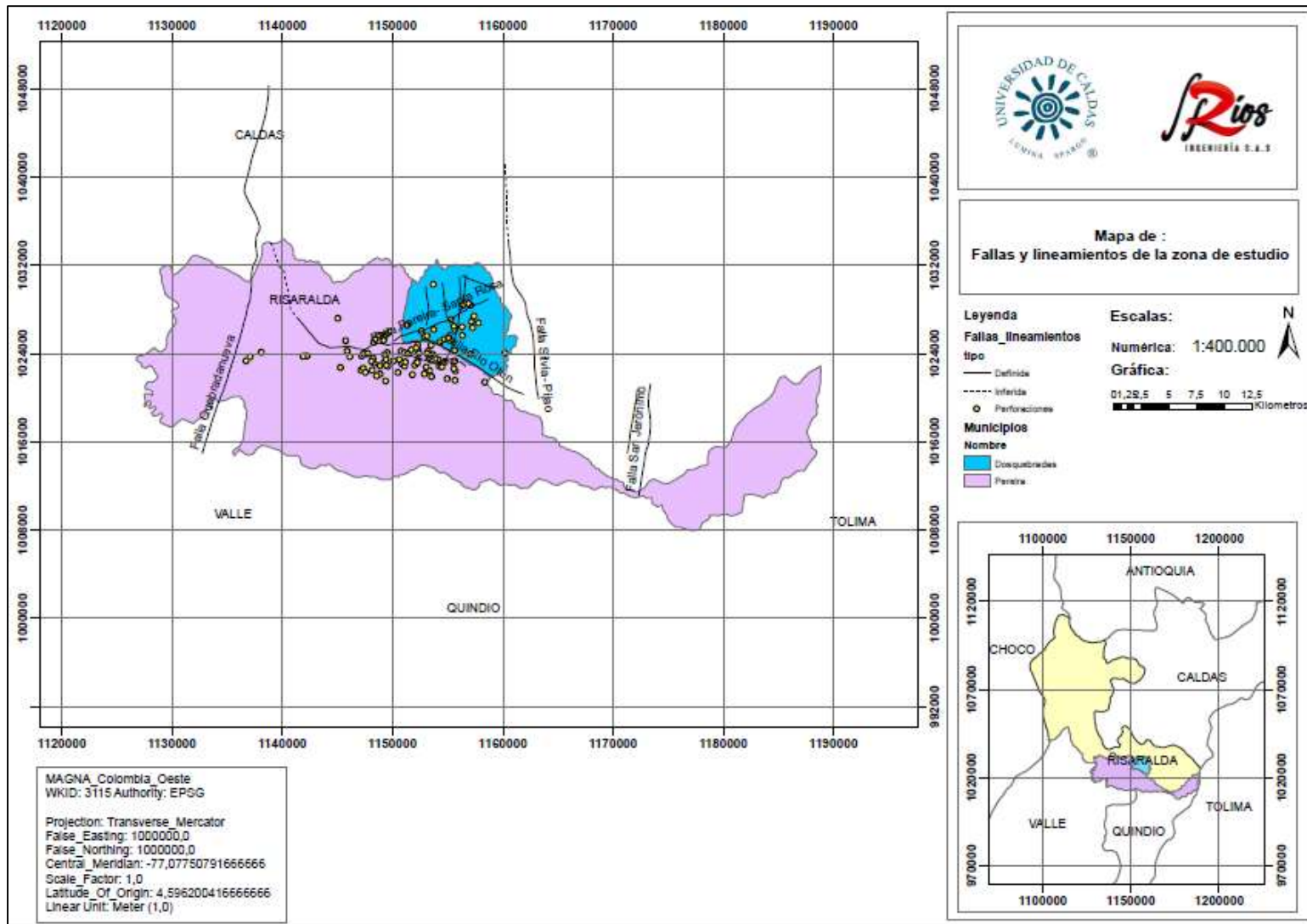


Figura 5 Principales fallas y lineamientos de los municipios de Pereira y Dosquebradas
 Nótese las diferentes fallas locales en las que se encuentra influenciada el área de estudio
Fuente: Información cartográfica suministrada por la Corporación Autónoma Regional De Risaralda (CARDER)

5.3.3 Tectónica Local

En las **Tabla 1** y **Tabla 2** se describen brevemente las principales fallas y lineamientos presentes en los municipios de Pereira y Dosquebradas respectivamente.

Tabla 1 Principales fallas geológicas de Pereira

FALLAS GEOLÓGICAS	DESCRIPCIÓN
Falla San Jerónimo	Cruza en el sector oriental de Pereira, Santa Rosa, Manizales y Neira.
Falla Santa Rosa	Fallamiento de dirección NE-SW que morfológicamente se define en una longitud de 24km. Puede identificarse en la vía Dosquebradas-Santa Rosa a la altura de Boquerón.
Falla Río Otún	Afecta litologías de la Formación Quindío-Risaralda evidenciado en la cuenca del Río Otún, ya que existe una diferencia de nivel entre el bloque norte (bloque levantado-municipio de Dosquebradas) y sur (bloque hundido- casco urbano de Pereira), delimitados por la falla.
Falla Consota	Fallamiento con dirección NW, paralelo a la falla Otún, presenta sus mismas características, en el sentido de estar limitando bloques con diferencia de nivel, levantando al del norte (Av. Las Americas) y hundido el del sur (Barrio Poblado).

Fuente: Tomado de la CARDER- Diagnóstico de riesgos ambientales municipio de Pereira

Tabla 2 Principales fallas y lineamientos de Dosquebradas

FALLAS GEOLÓGICAS Y LINEAMIENTOS	DESCRIPCIÓN
La Negra	Cruza al SE de Dosquebradas, se evidencia por un alineamiento en la cabecera de la Quebrada Frailes, se presentan silletas y sobre el Alto el Oso la roca se encuentra brechada, está asociada al sistema de fallas Romeral.
Santa Rosa	Esta falla atraviesa la zona de Oeste a Norte, pasando por Santa Rosa e Cabal, la cual se evidencia por la presencia de colinas disectadas y quiebres anómalos de las quebradas. Está asociada con estructuras de Sistema de Fallas Romeral, con actividad volcánica geotérmica y presenta bajo nivel de sismicidad.
El Rodeo	Pasa por el oriente de municipio en dirección NE, delimitando el contacto entre la unidad de gabbro horblendico y la unidad de esquistos cloríticos. Asociada al Sistema de Falla Romeral.
Boquerón	Cruza en dirección NE en medio de la zona, alinea el cauce de la quebrada Dosquebradas.
Agua Azul	Se encuentra en sentido NW atravesando el municipio, presenta una alta inestabilidad en la quebrada Agua Azul.
Gutierrez	Atraviesa la zona en sentido NW, presentando fuerte cizallamiento en la roca del alto El Chaquiro.
La Fría	Cruza la zona al SW, delimitando el contacto occidental entre la unidad del Pórfido y la unidad de Basaltos y Diabasa, se encuentra afectada por las Falla Santa Rosa.
Frailes	Atraviesa la zona al SE en dirección NE, expresando morfológicamente un lineamiento en la quebrada Frailes y roca brechada en el Alto el Toro.
San Roque	Cruza al Este en dirección N-NW, deflectando algunos drenajes
Filo Bonito	Cruza la zona al N en sentido NW, presentando roca cizallada en la vertiente alta de la quebrada Amoladora.
Falla San Jerónimo	Cruza en el sector oriental de Pereira, Santa Rosa, Manizales y Neira.
Falla Río Otún	Existe una diferencia de nivel entre el norte (bloque levantado- municipio de Dosquebradas) y sur (bloque hundido- casco urbano de Pereira).

Fuente: Tomado de la CARDER- Diagnóstico de riesgos ambientales municipio de Dosquebradas

5.4 Hidrografía del área de estudio

Las fuentes hídricas superficiales más importantes en el municipio de Pereira las constituyen el río Otún y Consota, donde el primero se localiza sobre la vertiente occidental de la Cordillera Central, originándose en la Laguna del Otún y desembocando en el río Cauca, por otro lado, el río Consota nace en la vereda el Manzano (municipio de Pereira) y desembocando en el

río La Vieja atravesando gran parte del municipio. Para el municipio de Dosquebradas la cuenca principal es la quebrada Dosquebradas la cual es formada por la unión de las quebradas Manizales y Aguazul, desembocando en el río Otún. La red hidrográfica principal está conformada por las quebradas: La Fría, Tominejo, La Amoladora, Gutiérrez, Aguazul, Frailes, Manizales, La Víbora, La soledad y Molinos, entre otras. (Véase **Figura 6**)

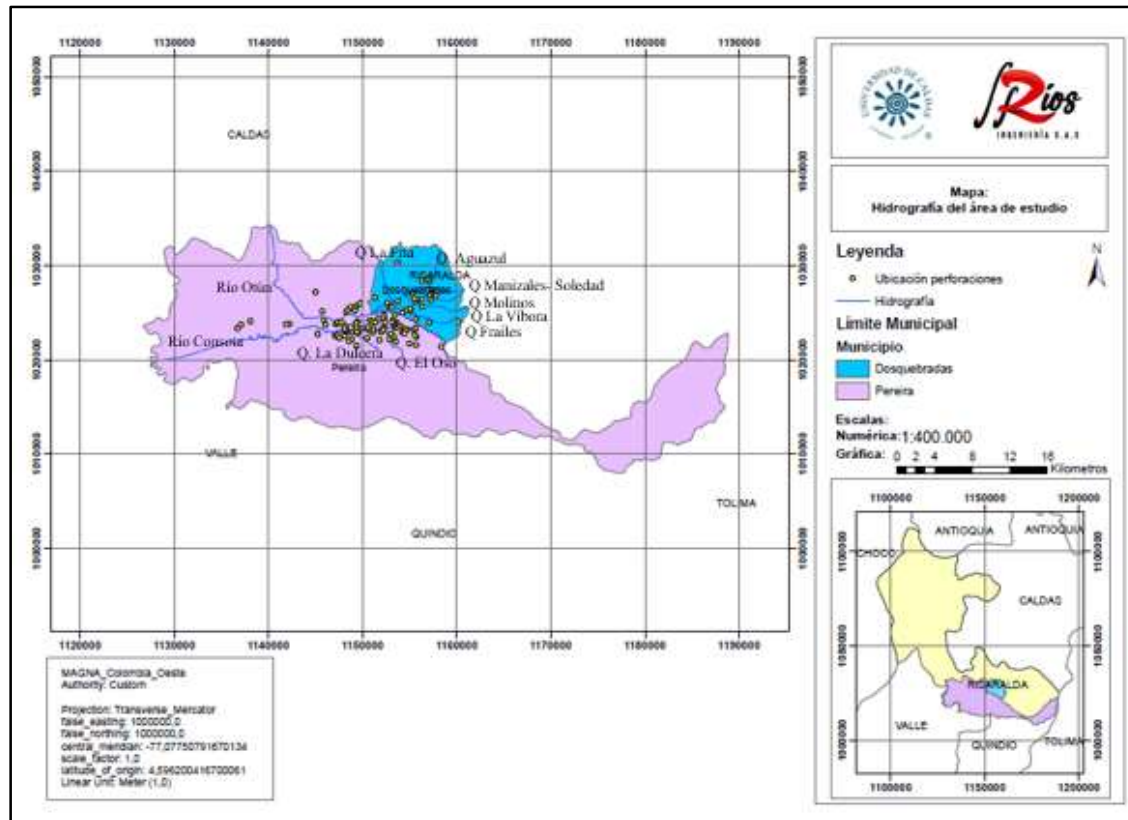


Figura 6 Hidrografía de los municipios de Pereira Y Dosquebradas

Nótese que las principales corrientes hídricas corresponden a los ríos Consota y Otún en el municipio de Pereira y la quebrada Dosquebradas en el municipio del mismo nombre.

Fuente Información cartográfica suministrada por la Corporación Autónoma Regional De Risaralda (CARDER)

6 METODOLOGÍA

6.2 General

En la presente práctica se realizaron múltiples actividades relacionadas con el área de la geología, geotecnia e ingeniería, las cuales aportaron gran conocimiento para el desarrollo de la práctica académica. Inicialmente se realizaron una serie de salidas de campo en diferentes áreas del municipio de Pereira y Dosquebradas, con el fin de hacer un reconocimiento de campo y así adquirir información base que permitiera entender los procesos y eventos geológicos que se desarrollaron a través de la historia. A continuación, se mencionan las actividades que se llevaron a cabo para cumplir con los objetivos de la práctica.

6.3 Recopilación y revisión de la información existente

Este ítem se basó en la recopilación de la información de los proyectos de estudios de suelos realizados a cargo del ingeniero Diego Alberto Ríos Arango, los cuales están sujetos a un informe geotécnico completo y detallado, cabe mencionar, que no todos los proyectos cuentan con dicho informe, puesto que esta información no se encontraba disponible en la base de datos de la empresa.

Además, la Corporación Autónoma Regional de Risaralda-CARDER, la Dirección de Gestión del Riesgo del municipio de Dosquebradas- DIGER y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi- IGAC, suministraron información cartográfica y archivos digitales que permitieron la realización de los mapas en el software ArcGis; por otra parte, se tuvo en cuenta bibliografía suministrada por INGEOMINAS, hoy Servicio Geológico Colombiano (SGC).

6.4 Procesamiento de la información

El trabajo cuenta con 109 proyectos sobre estudio de suelos (Véase **Figura 7**), la mayoría distribuidos sobre el casco urbano de los municipios de Pereira y Dosquebradas (Véase **Figura 8** y **Figura 9**), 70 de ellos cuentan con su informe geotécnico detallado, los cuales consideran su nombre, localización, exploración de campo y geotécnica, número y profundidad de perforaciones, geología, espesor y profundidad de estratos, nivel de aguas freáticas, resultados de ensayos de laboratorio, columnas estratigráficas, perfiles estratigráficos, diseño y recomendaciones de cimentación y algunos de los proyectos cuentan con estudios de gestión del riesgo.

Orden	NOMBRE	Orden	NOMBRE	Orden	NOMBRE
1	Airavata	40	Colegio Sur Oriental Boston	79	Portal de Llano Grande
2	Análisis de estabilidad red de acueducto - sector Guadalcanal	41	Colinas del Bosque- Bodegas Incontrans	80	Portal de Milán
3	Antiguo San Andresito- Cuba	42	Condominio campestre Maturin	81	Pradera Verde
4	Arco iris de la Colina	43	Condominio Caña Verde	82	Primer Tax
5	Balcones de Segovia	44	Condominio las Alejandras	83	Protección quebrada El Erazo
6	Barrio el Edén	45	Consorcio Dulcera Agua XXI	84	Puente - Barrio La Aurora Baja
7	Barrio la Dulcera	46	Consorcio Dulcera Agua XXI -II	85	Quintas de Cafelia lote 18
8	Bocatoma y desarenador Alto el Toro	47	Construcción casas barrio Boston	86	Salida Túnel Punta de Piedra- Barrio Corales
9	Bosques de Cantabria	48	Construcción de gradas- Barrio La Isla	87	Santa Mónica
10	Calle 21 No. 8 - 60	49	Edificio Montecanelo	88	Sector barrio El Jardín-Lote B1-C
11	Calle 38	50	El Chaquiro	89	Talud avenida La Independencia
12	Calle 73B, N° 22B - 31-Barrio Cuba	51	El Poblado Lote Hamburgo	90	Talud barrio La Unidad
13	Campañas de Combia- Casa 49	52	El Poblado manzana 2 Lote 19	91	Talud Camilo Torres
14	Canal Belmonte No 1	53	El Remanso	92	Talud Canceles
15	Canal Belmonte No 2	54	Estabilización talud barrio Tokio	93	Talud La Macarena - El Limonar
16	Canal Nuevo Libare-Carbonero	55	Estación de servicio La Alquería	94	Talud Mallorca
17	Cantera el Bosque	56	Estanquillo - La Esperanza	95	Talud Matecaña
18	Cardisel	57	Finca la Playa	96	Talud Perla del sur
19	Carrera 15 N° 10B - 55	58	Hospital de Cuba	97	Talud PTAP
20	Carrera 15 No 13-16	59	Iglesia católica Santa Cruz- Barrio Samaria	98	Talud Tanambi
21	Carrera 16 D N° 99 A 26-Barrio Belmonte alto	60	Iglesia Pentecostal de Frailes	99	Tanque barrio Bella Sardi
22	Carrera 16N° 15-38 Avenida Simón Bolívar	61	Interceptor Consota-Cachipay	100	Tanque Cloración PTAP
23	Carrera 17 N° 17 - 46	62	Interceptor Consota-Poblado	101	Tanque desarenador en la planta Suzuki
24	Carrera 8bis N° 31B-13	63	Interceptor Consota- Universidad Católica	102	Tanque descargue plastificación- La Rosa
25	Casa Carrera 2 Bis N° 19B - 37	64	Intersección ACUASEO - Intersección Urbanización Milenio	103	Tanque El Mirador
26	Casa Carrera 4 No 32-10	65	La Dulcera - San Mateo - Megabús	104	Tanque Los Juncos
27	Centro comercial Carrera 14 entre calle 20 Y 19	66	La Raquelita	105	Tramo 3 Ciudadela del café
28	Centro logístico y distribución Pereira -Vía Cerritos	67	Lote avenida 30 de Agosto calle 30	106	Urbanización La Hacienda
29	Ceramigrés	68	Lote avenida Los Molinos	107	Urbanización Panorama Country III
30	Cerritos Campestres cuarta etapa	69	Lote Cannan	108	Urbanización Primavera Azul
31	Ciudadela Confamiliar Boquia -Manzanas 6 y 7	70	Lote frente al colegio Calazans	109	Villa Alexandra
32	Club house La Quinta	71	Mercedes manzana 5 casa 201		
33	Club residencial El Nogal	72	Palmas de Maracay Lote 15		
34	Colector Egoyá- Sector No 1	73	Panorama I- Barrio Cuba		
35	Colector Egoyá -Sector No 2	74	Parque Industrial la Badea - Bodegas 1 y 2- Manzana 2		
36	Colector Egoyá - Sector No 3	75	Pinares Campestre		
37	Colector Egoyá - Fin Sector No 3	76	Portal de La Villa - Caisson		
38	Colegio Hands Drewns Arango	77	Portal de La Villa UNGRD		
39	Colegio Málaga	78	Portal de las Mercedes		
109	Villa Alexandra				

Figura 7 Nombre y numeración de los proyectos
Nótese que la numeración que se le asigna a cada proyecto es por orden alfabético
Fuente: Propia

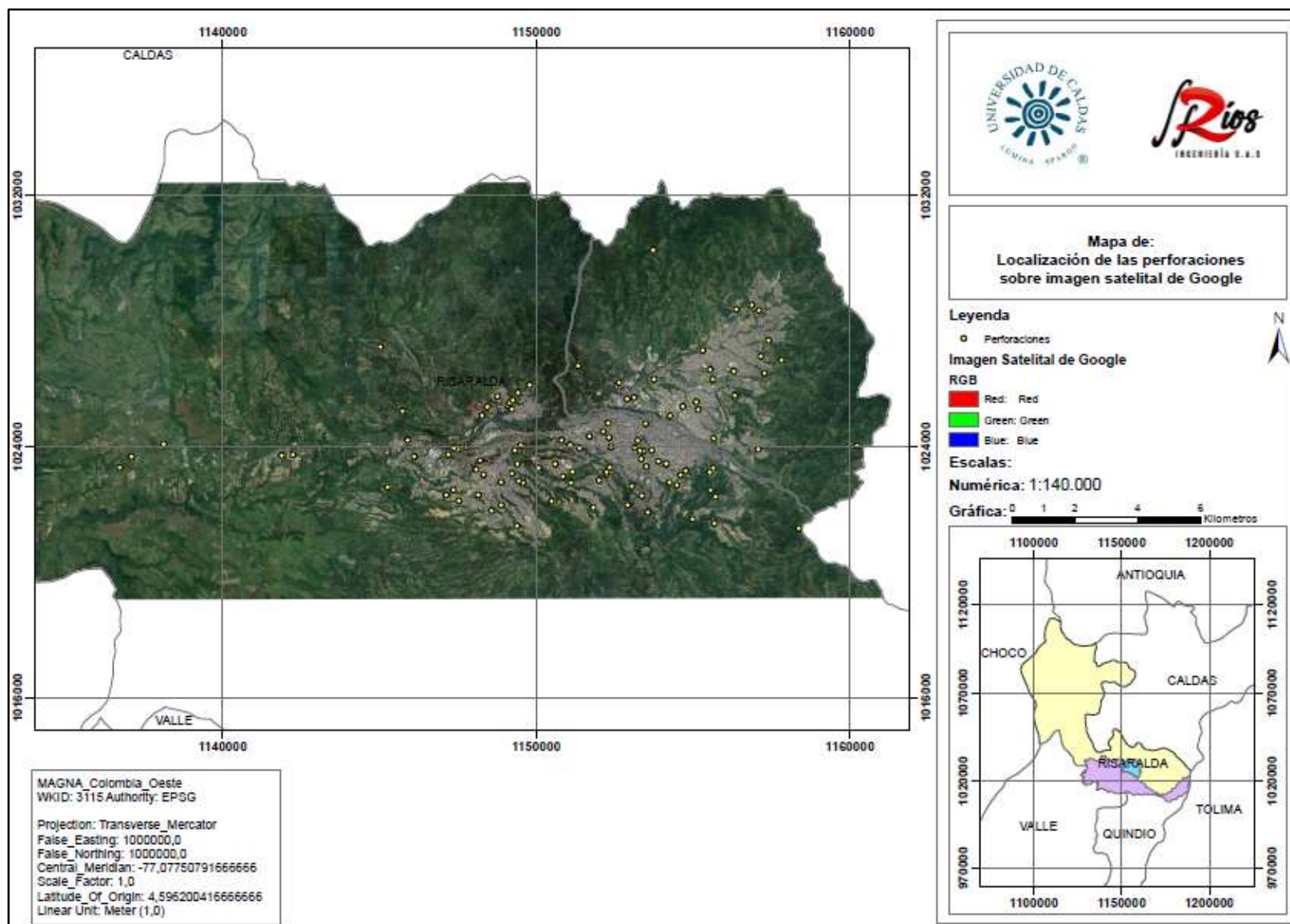


Figura 8 Localización y distribución de los proyectos realizados sobre los municipios de Pereira y Dosquebradas
Fuente: Imagen satelital de Google, complementada con información georreferenciada por la empresa 2 Ríos Ingeniería S.A.S

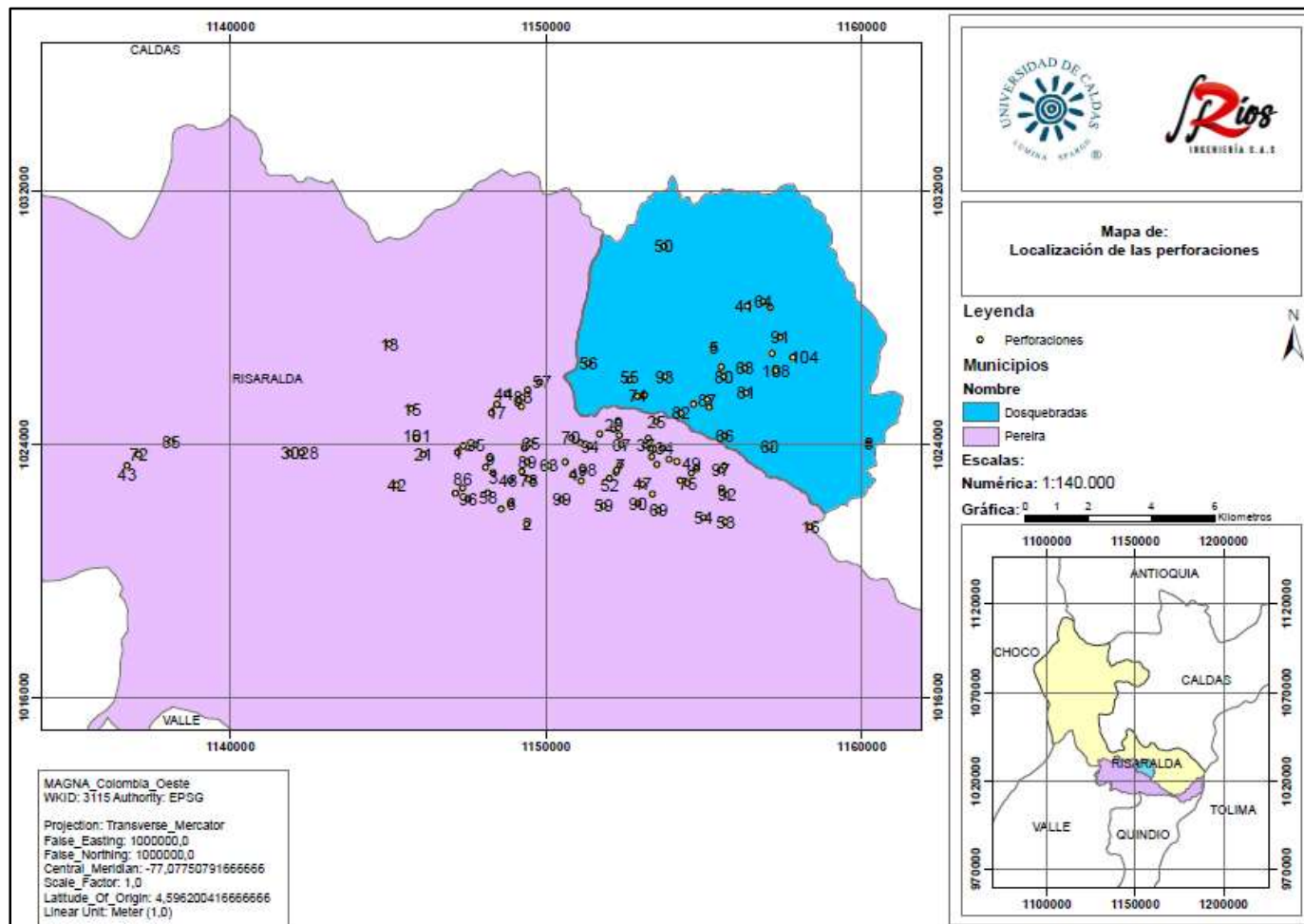


Figura 9 Localización de las perforaciones.

Nótese que los proyectos presentan un número característico con la finalidad de tener un orden, en este caso los proyectos están organizados en orden alfabético.

Fuente: Límites municipales tomados y modificados de la Corporación Autónoma Regional De Risaralda (CARDER)

Teniendo en cuenta el informe geotécnico, el análisis de los resultados de laboratorio y descripción de cada capa encontrada en los sondeos de los proyectos, se determinó que para este informe se trabajaría con diez estratos los cuales son: Relleno heterogéneos tipo botaderos (Qbo), rellenos antrópicos consolidados (Qll), materia orgánica (Oh), depósitos de ceniza volcánica (QcvI, QcvII, QcvIII y QcvIV), depósitos aluviales (Qal), Formación Armenia (Tqfv) y suelo residual del basamento (Kdv-sr). Después se realizó una tabla en Excel (Véase **Tabla 3**) con los diferentes parámetros de clasificación por cada uno de los estratos descritos anteriormente, para obtener un valor promedio, una desviación estándar, un límite máximo y mínimo que podría tomar cada parámetro, esto con la finalidad de tener un valor característico de las propiedades físico- mecánicas de cada uno de los estratos, para después analizar los proyectos que no cuentan con un informe geotécnico detallado pero si con los resultados de laboratorio, por lo tanto se hace una correlación de los resultados obtenidos de dichos ensayos de laboratorio con el valor característico encontrado para así establecer a que capa o estrato pertenecen (Ver Anexo I Valores característicos y gráficas de los parámetros).

Tabla 3 Formato para hallar el valor característico de los diferentes estratos

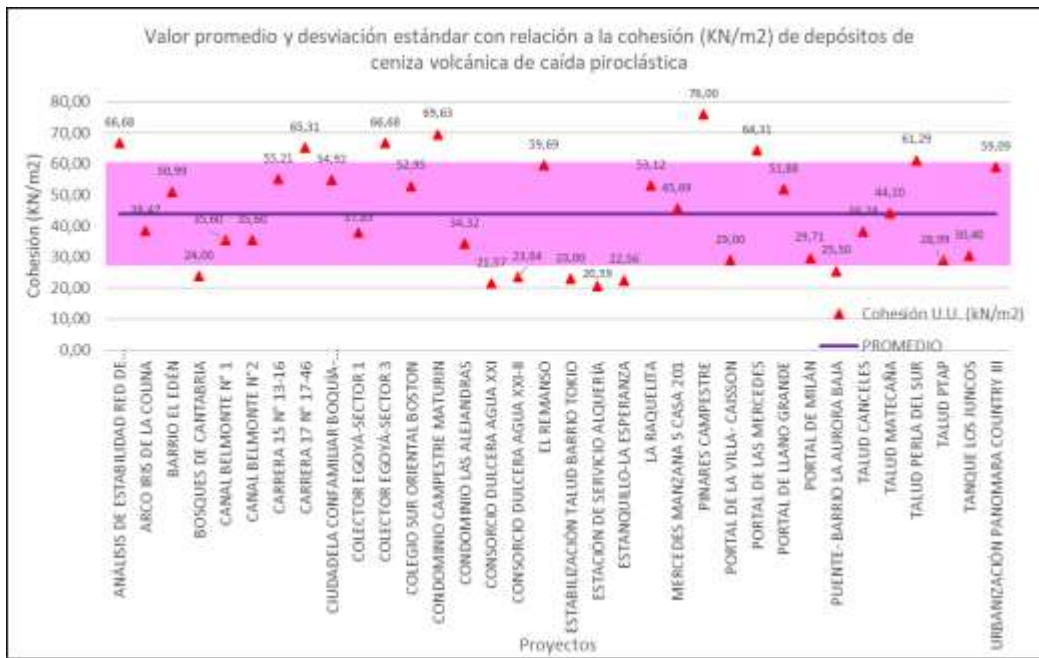
Orden	Proyecto	Cohesión U.U. (KN/m ²)	Ángulo Fricción U.U.	qu (kN/m ²)	LL %	LP %	IP %	Pasa #200 %	CLASIFICACIÓN (S.U.C.S.)	CLASIFICACIÓN ASSTHO	γ h gr/cm ³
PROMEDIO											
VARIANZA											
DESVIACIÓN ESTÁNDAR											
MEDIANA											
LÍMITE MÁXIMO											
LÍMITE MÍNIMO											
V/R CARACTERÍSTICO											

Fuente: 2 Ríos Ingenierías S.A.S

Nótese que la tabla anterior cuenta con las siguientes ítems y parámetros físico-mecánicos del suelos los cuales se tienen en cuenta para la caracterización del suelo de los Municipios de Pereira y Dosquebradas: La casilla Orden, sirve para la numeración en orden alfabético de los 109 proyectos que se van a analizar, la casilla de proyecto comprende el nombre que se le designó a cada uno de ellos, la cohesión medida en KN/m² y el ángulo de rozamiento interno entre partículas (Fricción) medido en grados por medio del ensayo de corte directo No consolidado-No drenado (UU), la cohesión medida en KN/m² por medio del ensayo de la compresión simple, los límites de Atterberg medido en porcentaje donde LL es el Límite líquido, LP es el límite plástico y el Ip es el índice de plasticidad, el porcentaje que pasa por el tamiz #200 medido en porcentaje a través de un análisis granulométrico, la clasificación del suelo por medio de Sistema Unificado de Clasificación

de Suelos (SUCS) y por American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) el peso unitario húmedo (yh) medido en gr/cm^3 .

Después de tener el valor característico de todas las propiedades físico- mecánicas del suelo de cada uno de los diferentes estratos, se hizo una representación gráfica para cada uno de los parámetros descritos en los proyectos que cuentan con su informe completo, en este caso se representa el valor de la cohesión a partir del ensayo corte directo No consolidado- No drenado (UU) sobre los depósitos de ceniza volcánica (QcvI).



Gráfica 1 Representación de la desviación estándar y valor promedio de la cohesión (KN/m2) de los depósitos de ceniza volcánica (QcvI)

Fuente: Propia

Nótese que en la gráfica anterior el color rosa representa el límite mínimo y máximo que puede tomar el valor de la cohesión (Triángulos rojos) medido a través del corte directo No consolidado-No drenado en KN/m2 de los depósitos de ceniza volcánica (QcvI) y la línea morada representa el valor característico hallado a través de los valores de la cohesión de los proyectos que aparecen en la abscisa horizontal. (Ver Anexo I Valores característicos y gráficas de los parámetros)

Continuando con el procesamiento de los datos, teniendo el valor característico de cada parámetro de los diferentes estratos, se procedió a correlacionar y analizar dichos valores con los resultados de los ensayos de laboratorio de los proyectos restantes, los cuales no se contó con el

informe geotécnico detallado. (Ver Anexo II Parámetros físico-mecánicos de las muestras de las perforaciones analizadas).

Al unísono, se realizó una tabla en excel con la información de los espesores que toman los diferentes estratos en cada una de las perforaciones de los proyectos en cuestión, haciendo un promedio de cada uno de ellos para establecer un espesor característico para cada proyecto. Así mismo, en la tabla se establecen las profundidades máximas a las que se encuentra cada estrato (Ver Anexo III Espesores y profundidades de las litologías presentes en cada proyecto).

Con los valores obtenidos anteriormente, se procedió a realizar un formato en el software AutoCAD que permitiera mostrar la estratigrafía característica de cada uno de los 109 proyectos. En primer lugar, se idealizó una columna estratigráfica a manera general, indicando los 10 estratos estudiados con sus respectivos valores característicos de cada parámetro del suelo y espesores promedios dibujados a una escala 1:1. (Véase **Figura 10**)

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA IDEALIZADA

Profundidad (m)	Espesor (m)	LITOLÓGIA	GRANULOMETRÍA	PROPIEDADES MECÁNICAS			PROPIEDADES FÍSICAS			CLASIFICACIÓN U.S.C.E.	CLASIFICACIÓN AASHTO		
				σ _v (kg/cm²)	σ _h (kg/cm²)	σ _v (kg/cm²)	LL (%)	LP (%)	IP (%)			PASA #200	
1,0 - 2,0	2,5	Clay: Sedimento heterogéneo (placas de conchales, tabicados)	[Pattern]	40,24	28,80	91,13	68,59	60,69	18,69	191	OH	A-7.5	
2,0 - 3,0	2,0	Clay: Sedimento homogéneo	[Pattern]	64,30	30,10	20,24	70,74	52,00	22,00	46,00	182	OH ML SH	A-1 A-2
3,0 - 5,0	1,0	Clay: Lamas orgánicas de color café oscuro	[Pattern]	18,18	17,00	67,85	52,00	60,69	18,69	70,30	188	OH	A-7.5
5,0 - 8,0	4,0	Clay: Material lino arenoso de color café amarillado	[Pattern]	44,20	37,31	19,08	61,38	60,69	18,69	70,30	188	OH ML SH	A-2 A-4
8,0 - 11,0	3,5	Clay: Material lino arenoso amarillado de color café claro a amarillado con fragmentos de mica tamaño grueso parcialmente macerado	[Pattern]	47,12	37,38	18,07	75,48	52,00	24,54	71,34	184	OH ML SH	A-2 A-4 A-2.2
11,0 - 15,0	2,0	Clay: Material lino arenoso café amarillado con restos de conchales	[Pattern]	60,91	18,00	19,40	64,40	60,69	18,69	70,30	188	OH	A-7.5
15,0 - 17,0	2,0	Clay: Material lino arenoso café claro con restos de conchales	[Pattern]	13,03	18,00	69,00	45,28	20,44	10,41	71,70	179	ML	A-2 A-4
17,0 - 19,0	3,5	Clay: Arena gruesa de color gris a café claro	[Pattern]	47,18	45,87	40,40	69,44	40,24	23,81	80,78	182	OH ML SH	A-2 A-4 A-2.2
19,0 - 22,0	1,5	Clay: Material lino arenoso café claro con restos de conchales	[Pattern]	43,44	28,87	60,15	66,74	23,38	22,38	11,17	189	OH SH	A-1 A-7.5
22,0 - 24,0	4,0	Clay: Material grueso de tamaño fino a grueso de composición limosa y arcillosa	[Pattern]	40,00	30,00	60,00	70,11	47,00	19,79	70,00	188	OH	A-7.5

▼ Nivel freático aproximadamente a 5m de profundidad
Escala: 1:1

Lodo	Limo	Fina	Medio	Gruesa
ARENA				

INFORMACIÓN DE LA FUENTE

Columna estratigráfica del suelo generalizada de los municipios de Pereira y Dosquebradas del departamento de Risaralda.

CONVENCIONES

<ul style="list-style-type: none"> Clay: Sedimento heterogéneo (placas de conchales, tabicados) Clay: Sedimento homogéneo Clay: Lamas orgánicas de color café oscuro Clay: Material lino arenoso de color café amarillado Clay: Material lino arenoso café amarillado con restos de conchales 	<ul style="list-style-type: none"> Clay: Material lino arenoso café amarillado con restos de conchales Clay: Material lino arenoso de color gris a café claro con vetas oscuras Clay: Arena gruesa de color gris a café claro Clay: Material lino arenoso con todos los indicadores de color Clay: Material grueso de tamaño fino a grueso de composición limosa y arcillosa
---	--

1,2,3	Valor de las propiedades físicas mecánicas del estrato, a partir de los ensayos de laboratorio
1,2,3	Valor característico de las propiedades físicas mecánicas de estrato, a partir de los ensayos de laboratorio y el valor promedio determinado por los proyectos que tienen un sistema test.

Figura 10 Columna estratigráfica del suelo idealizada

Fuente: Propia

Nótese los diferentes estratos encontrados con sus respectivos valores característicos de cada parámetro en color rojo. Adicionalmente se puede observar que las perforaciones realizadas a cargo del ingeniero, para este trabajo en cuestión no superan los 30 metros de profundidad. Cabe mencionar que la escala de esta figura es ajustada al tamaño de la página.

En segundo lugar, se procedió a realizar la columna característica de cada proyecto con sus respectivos estratos y espesores promedio. (Ver Anexo IV Columnas Estratigráficas características e información recopilada de los proyectos)

6.5 Sistema de información Geográfica (SIG)

Un sistema de información geográfica (SIG) recoge, gestiona y estudia diferentes datos, permitiendo la lectura, edición, almacenamiento y ubicación espacial de los mismos, posibilitando la generación de informes, gráficos y mapas.

6.5.2 *Surfer*

Surfer es un software que a pesar de no gestionar base de datos con el mismo potencial que lo hacen los software SIG es un excelente apoyo para estos y permite el modelamiento en 3D del terreno, batimetría, análisis de superficies, cartografía de curvas de nivel, entre otros, con la creación de isolíneas, contornos y modelado de superficies.

En primera instancia, se realizó una tabla en Excel con las coordenadas geográficas de los 109 proyectos en WGS84 (*World Geodetic System 1984*) establecidos en Google Earth Pro, con el fin de pasar este sistema de coordenadas al sistema de coordenadas cartesianas Magna- Sirgas Colombia oeste.

Teniendo los proyectos con coordenadas Magna Sirgas Colombia oeste, y las tablas de los valores característicos de los parámetros del suelo, se procede a realizar las imágenes ráster, las cuales son imágenes conformadas por una cuadrícula donde cada celda tiene asignado un número de acuerdo a la condición o atributo de la superficie que representa, estas imágenes se ejecutan por medio de las interpolaciones que ofrece el software. Las que se utilizaron para este

trabajo fueron Inversa a la distancia ponderada (IDW) y Kriging, las cuales permiten transformar los datos X, Y, Z en mapas ráster.

El método de interpolación utilizado para los parámetros del suelo es inversa a la distancia ponderada, el cual permite determinar los valores de cada celda a través de una combinación ponderada lineal de un conjunto de datos conocidos. La superficie interpolada debe ser de una variable dependiente de la ubicación, por ende, los valores que toma las variables X y Y son las coordenadas cartesianas en Magna Sirgas Colombia oeste de cada proyecto y la variable Z es cada uno de las propiedades del suelo analizada individualmente.

En el caso de las imágenes ráster para las propiedades como el espesor y profundidad de cada capa se realizó por el método de interpolación de Kriging, el cual es un método geoestadístico de interpolación que ha probado ser útil en muchos campos (Burgess y Webster, 1980). Este método se utiliza en modelos de elevación digital especialmente (Mapas de curvas de nivel), dicho método, como el anterior, provee valores estimados a sitios donde no hay información, partiendo de puntos conocidos ya sean distribuidos regular o irregularmente en el espacio.

A partir de las imágenes ráster generadas en formato grd, se realiza los mapas de contornos en formato shp, los cuales son líneas que conectan puntos con el mismo valor, creando un mapa de superficie, en este caso se crea un mapa de contornos por cada parámetro del suelo de las capas estudiadas, para así, analizar el comportamiento de cada una de ellas sobre el área de estudio. El intervalo y continuidad de los contornos varía según el parámetro que se esté analizando.

6.5.3 *Global Mapper*

Global mapper es un SIG que permite el procesamiento de datos espaciales. Con esta aplicación se recortó el modelo de elevación digital del terreno (DEM) de la NASA con tamaño de pixel de 12.5 metros tomando como coordenadas límites las del área de estudio.

6.5.4 *ArcGIS*

ArcGIS es un software que permite recopilar, organizar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Por medio de este software se visualizan los proyectos en coordenadas Magna Sirgas Colombia oeste, con su correspondiente nombre, también se realizaron las interpretaciones de las imágenes ráster con sus respectivos contornos de cada propiedad, para analizar el comportamiento de ellas sobre el área de estudio. Además de esto se pudo procesar y modificar la información obtenida por el IGAC y la CARDER, para realizar los mapas de localización, geología, hidrografía, formaciones superficiales y los mapas de contornos de los parámetros físico mecánicos del suelo, entre otros.

7 MARCO TEÓRICO

Para la planificación, diseño y construcción de muros de contención, cimientos y otras estructuras, los ingenieros necesitan conocer el origen del depósito del suelo sobre el que pretende construir las estructuras propuestas, por lo que cada depósito presenta características geomecánicas únicas. Gran parte de los suelos que recubren la superficie de la tierra están conformados por la erosión de las rocas del basamento, por lo que las propiedades físicas del suelo se establecen principalmente por los minerales que constituyen dichos suelos y, por lo tanto, la roca de la cual se derivó.

Durante la ejecución de un sondeo geotécnico es posible la toma de muestras inalteradas mediante herramientas especiales y técnicas específicas. Por lo tanto, para la extracción de las muestras de suelo se utiliza el ensayo de penetración estándar (SPT), en el cual se recuperan muestras de suelos alterados por medio del tubo de pared partida, este ensayo de penetración estándar consiste en determinar el número de golpes necesarios para hincar la cuchara los primeros 15 cm, y esto se repite hasta alcanzar los 45 cm. La profundidad final hasta donde se puede realizar el ensayo es limitada por la consistencia del suelo, entre más duro más difícil es hincar la cuchara generando rechazo. Es importante indicar que este ensayo se realiza cada 1.5 m y en cada sondeo, y se finaliza cuando el avance supere los 50 golpes. (Véase **Figura 11**)

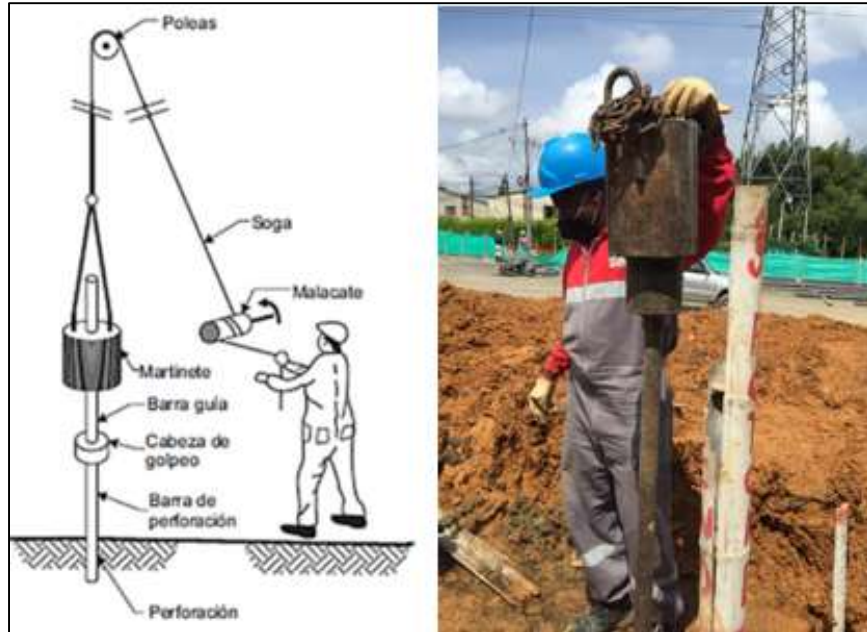


Figura 11 Esquematación general del Sondeo de Penetración Estándar (SPT)

Nótese el tamaño de la herramienta con la cual se realiza el ensayo en comparación con la estatura del operario

Fuente: Imagen izquierda tomada de <https://sismica.com.mx/procedimientos/sondeo-penetracion-estandar.php>

Por otro lado, se cuenta con la extracción de muestras por medio de los tubos shelby's el cual consiste en la hinca mediante presión y a baja velocidad de un tubo de acero con borde inferior cortante a una profundidad determinada en campo. Una vez recuperado el tubo en superficie, se sellan sus extremos con el fin de evitar la desecación de la muestra.

Una vez se haya terminado la extracción de las muestras en campo, estas deben ser bien rotuladas y llevadas al laboratorio de suelos para realizar los ensayos y obtener las propiedades físico-mecánicas del mismo. (Véase **Figura 12**)



Figura 12 Muestra extraída por medio de un tubo shelby
Nótese la geometría de la muestra tomada que corresponde a la forma del tubo con el cual se extrae
Fuente: Laboratorio 2 Ríos Ingenierías S.A.S

A continuación, se nombrarán los parámetros del suelo que se tuvieron en cuenta para la caracterización del suelo de los municipios de Pereira y Dosquebradas.

7.2 Ensayo de la resistencia cortante del suelo

La resistencia cortante de un suelo es la resistencia interna por unidad de área que la masa de suelo puede ofrecer a la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior; la resistencia al cizallamiento está en función de la cohesión entre partículas del suelo, la fricción entre las partículas sólidas y el contenido de humedad (Das, 2013).

Según lo planteado por Mohr (1990) “la teoría de ruptura en los materiales, que sostiene que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, expresándose de la siguiente manera”:

$$\tau_f: f(\sigma)$$

Donde: τ_f : Esfuerzo cortante en el plano de falla

$f(\sigma)$: Esfuerzo normal en el plano de falla

Coulomb (1776) plantea que “la envolvente de falla definida por la ecuación anterior es una curva, la cual es suficiente para aproximarse al esfuerzo cortante sobre el plano de falla con una función lineal del esfuerzo normal” expresando esta relación de la siguiente manera:

$$\tau_f: c + \sigma \tan \theta$$

Dónde: c: Cohesión

θ : Ángulo de fricción interna

El análisis de la ecuación de Coulomb requiere predefinir los parámetros del ángulo de fricción y cohesión, los cuales se consideran como propiedades intrínsecas del suelo. (Véase

Figura 13)

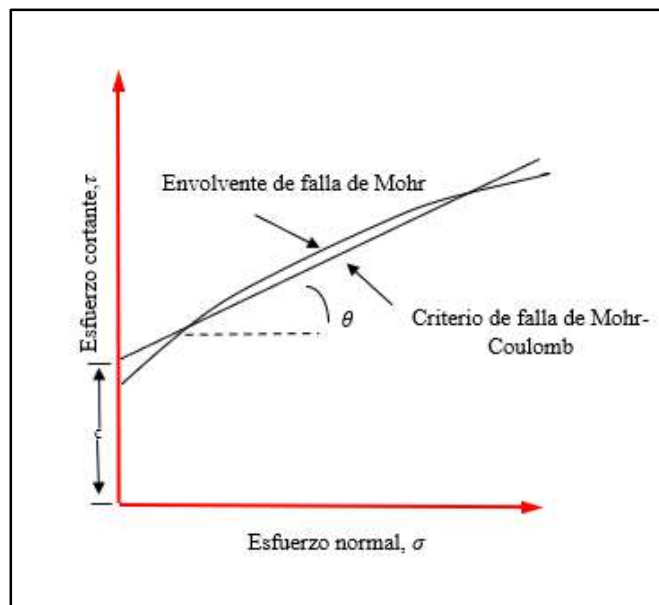


Figura 13 Envolvente de falla de Mohr y criterio de rotura de Mohr-Coulomb

Fuente: Tomado de Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica- cuarta edición

La cohesión corresponde a una característica que permite medir la cementación o adherencia entre las partículas que componen un suelo (Suárez-Díaz, 1998). En el escenario de la mecánica de suelos, la cohesión es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en el terreno de la física el mismo término se utiliza para representar la tensión, por consiguiente, la cohesión se puede definir como la adherencia entre las

partículas del suelo debido a la atracción entre ellas en virtud de las fuerzas moleculares internas (Campos-Rivera, *et al* en Olivos-Velásquez, 2015). El concepto de cohesión se encuentra estrechamente ligado a la permeabilidad de los suelos y al estado energético del agua, la cohesión del suelo para este trabajo es medida en KN/m^2 .

Según Suárez-Díaz (1998) “el ángulo de fricción interna es la representación matemática del coeficiente de rozamiento”. El ángulo de fricción depende de varios factores, de los cuales se cuentan entre los más importantes el tamaño, la forma y distribución de los granos la cual es medida en grados (Bilz en Suárez-Díaz, 1998).

La forma más común de obtener los parámetros de resistencia al corte son los ensayos de laboratorio, los cuales depende de la calidad de las muestras, del grado de saturación, su tamaño y el método de ensayo.

El ensayo de laboratorio para hallar la cohesión y la fricción que se tuvo en cuenta para la caracterización de los suelos de Pereira y Dosquebradas es el Corte directo No consolidado- No drenado (UU) que se debe realizar según el procedimiento de las Normas ASTM D-3080 comparativo con la I.N.V E154-13 de las normas INVIAS 2013.

- Corte Directo No consolidado- No drenado (UU)

Es un ensayo con facilidad de ejecución que no permite el drenaje en la muestra del suelo, donde la resistencia al cortante puede medirse en un plano predeterminado, cortando la muestra con una orientación determinada (Das, 2013). El equipo consiste en una caja de corte de metal en la que se coloca la muestra del suelo, las cuales pueden ser cuadradas o circulares. (Véase **Figura 14**). Después de tener la muestra en la caja del corte es llevada cuidadosamente al equipo de corte directo donde una prueba completa sobre un determinado suelo consiste en ensayar tres muestras idénticas del mismo material bajo tres cargas verticales distintas (N , $N2$,

N3) o lo que es lo mismo, bajo tres tensiones normales diferentes, donde la fuerza normal sobre la muestra se aplica desde la parte superior de la caja de corte y la fuerza cortante se aplica horizontalmente moviendo una mitad de la caja con respecto a la otra para provocar una falla en la muestra del suelo (Das, 2013) .(Véase **Figura 15**)



Figura 14 Muestras circulares para el ensayo de corte directo No consolidado-No drenado (UU)
Nótese que las tres muestras del suelo son del mismo material y corresponden a la misma profundidad a la que se extrajo

Fuente: Laboratorio de suelos 2 Ríos Ingenierías S.A.S



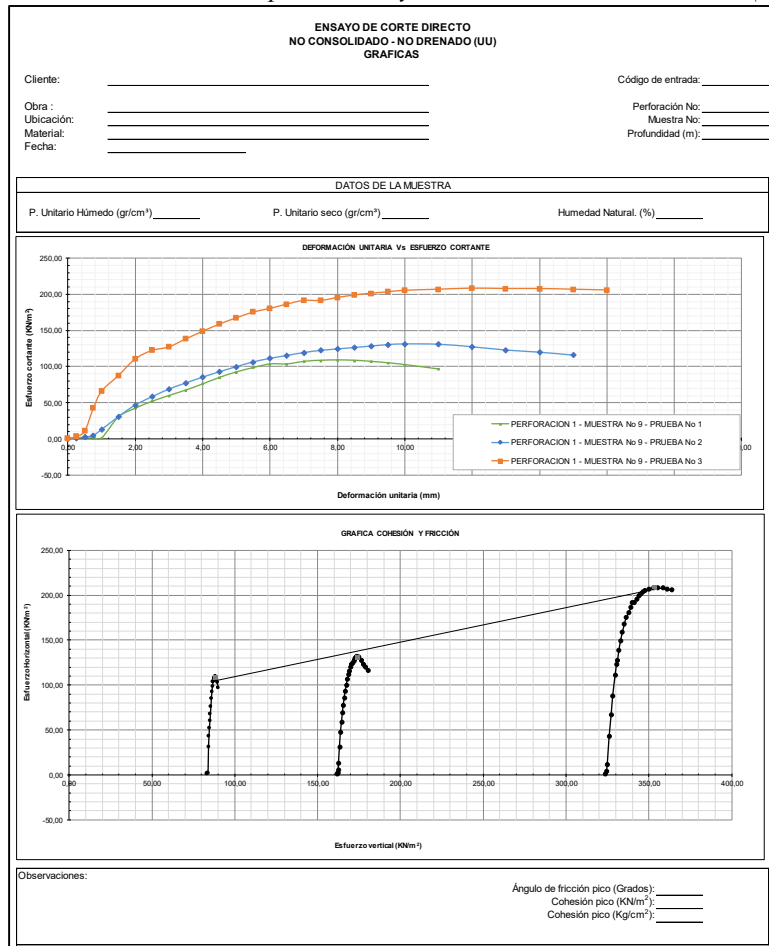
Figura 15 Equipo de corte directo

Se aprecia el monitor que muestra la deformación que alcanza la muestra a diferentes intervalos de tiempo, además se observa en la parte inferior del equipo el peso que se le adiciona para establecer las diferentes cargas del esfuerzo vertical

Fuente: Laboratorio de suelos 2 Ríos Ingenierías S.A.S

Después se dibuja una curva esfuerzo- deformación por cada ensayo (se deben realizar mínimo tres ensayos del mismo tipo de suelo y a la misma profundidad a la que se extrajo la muestra y con diferentes cargas aplicadas), obteniéndose la envolvente de falla para que gráficamente se tenga los valores de la cohesión y ángulo de fricción. (Véase **Tabla 4**)

Tabla 4 Formato para el ensayo No consolidado -No drenado (UU)



Fuente: Laboratorio 2Ríos Ingenierías S.A.S

Nótese los tres ensayos que se hacen por cada muestra, donde la pendiente de la línea recta indica el ángulo de fricción y el intercepto de dicha línea con el eje Y indican el valor de la cohesión

Los valores estándar de la cohesión que se utilizaron para este trabajo se encuentran comprendidos en la **Figura 16**, cabe mencionar que el valor de la cohesión se expresa en KN/m².

Soil Type and SPT Blow Counts	Undisturbed Soil	
	Cohesion (psf)	Friction Angle (°)
Cohesive soils		
Very soft (<2)	250	0
Soft (2-4)	250-500	0
Firm (4-8)	500-1,000	0
Stiff (8-15)	1,000-2,000	0
Very stiff (15-30)	2,000-4,000	0
Hard (>30)	4,000	0
Cohesionless soils		
Loose (<10)	0	28
Medium (10-30)	0	28-30
Dense (>30)	0	32
Intermediate soils		
Loose (<10)	100	8
Medium (10-30)	100-1,000	8-12
Dense (>30)	1,000	12

Figura 16 Valores estimados de la cohesión medidos en libra-fuerza por pulgada cuadrada y de la fricción medida en grados

Fuente: Karol, 1960. *Soils and Soil Engineering*

7.3 Ensayo de la Compresión simple (q_u)

El ensayo de compresión simple está regido por la norma ASTM D 2166 que es comparativo con la norma INV E-152-13, el cual se realiza sobre una muestra cilíndrica con una relación de diámetro-longitud 1:2. La muestra es comprimida axialmente hasta que ocurre la falla. La resistencia al cortante se asume que es igual a la mitad de la resistencia a la compresión (Suárez-Díaz, 1998). Es uno de los ensayos más utilizados con frecuencia para conocer la resistencia no drenada de suelos cohesivos como lo son los suelos arcillosos (Véase **Figura 17**). Debe tenerse en cuenta que este ensayo en limos o arenas o materiales fisurados no tienen ninguna validez, lo que solo lo hace aplicable para suelos cohesivos; generalmente el valor de la resistencia no drenada se supone igual a la mitad del valor de la resistencia inconfínada (Suárez-Díaz, 1998).

$$S_u = 1/2 q_u$$

En todos los casos, debido a las incertidumbres asociadas con el ensayo, el muestreo y su preparación, esta prueba de laboratorio solamente puede utilizarse como un estimado aproximado de la resistencia del sitio (Suárez- Díaz, 1998).

El valor de la cohesión obtenida por este ensayo para este trabajo es medido en KN/m^2 .
(Véase **Figura 18**)



Figura 17 Equipo de laboratorio del ensayo de Compresión Simple
Se aprecia la muestra que se va a someter a compresión, y en la parte superior la pantalla donde se controlan los valores de la presión.

Fuente: Laboratorio de 2 Ríos Ingenierías S.A.S

Consistencia	q_u (kN/m^2)
Muy blanda	0–25
Blanda	25–50
Media	50–100
Firme	100–200
Muy firme	200–400
Dura	>400

Figura 18 Valores estimados de la cohesión medida en KN/m^2 a través del ensayo de la Compresión Simple

Fuente: BRAJA M. DAS – Fundamentos de ingeniería geotécnica- Cuarta edición

7.4 Límites de Atterberg

Das (2013) planeta que” los minerales de arcilla están presentes en el suelo de grano fino, el suelo se puede remover en presencia de algo de humedad sin que se desmorone. Esta naturaleza cohesiva se debe al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. En 1900, un científico sueco Albert Mauritz Atterberg desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con diferentes contenidos de humedad. Con un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como un sólido quebradizo y cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. Por lo tanto, dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo puede ser dividido en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido, los cuales son medidos en porcentaje”. (Véase **Figura 19**)

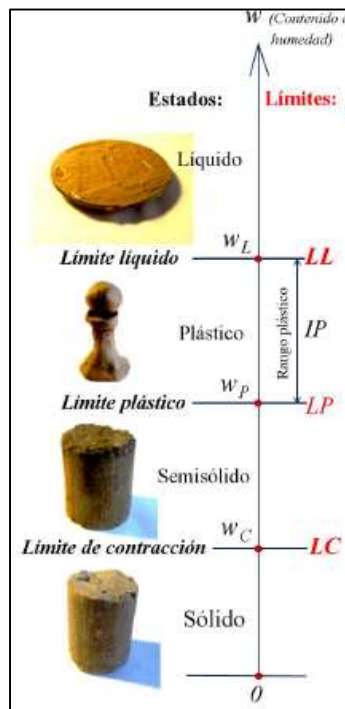


Figura 19 Estados y límites de consistencia del suelo

Nótese como la muestra a lado izquierdo pudiera moldearse de acuerdo al grado de humedad, hasta llegar a un estado líquido con el mayor grado de humedad posible

Fuente: William Rodríguez Serquen. Fundamentos de ingeniería geotécnica - Suelos y cimentaciones 2019

El límite de retracción o consistencia es el encargado de separar el estado sólido y el semisólido, el límite plástico (LP) que separa el estado semisólido del plástico y el límite líquido (LL) que separa el estado plástico del líquido; estos dos últimos límites se determinan con la fracción que pasa por el tamiz N° 40 (0,1mm). Este ensayo está regido bajo la normatividad ASTM D 4318.

- **Límite Líquido (LL):**

El ensayo del límite líquido tiene su comparativo con la norma INV E-125-13. Es el contenido de humedad que tiene el suelo, por debajo del cual, tiene un comportamiento plástico, se obtiene por medio de la Copa de Casagrande; la copa consta de un recipiente de bronce con manivela y una base dura de hule; en la copa se coloca una muestra de suelo húmeda, a la cual se le hace una ranura, con un ranurador patrón (Serquén, 2019) (Véase **Figura 20**). Se ha establecido arbitrariamente que, cuando la muestra ranurada, se cierra $\frac{1}{2}$ '' en 25 golpes de la copa, el contenido de humedad del suelo en ese momento, corresponde al límite líquido; Casagrande determinó, que cada caída o golpe de la copa, corresponde a aplicar un esfuerzo cortante al suelo de 1 gr/cm². Por tanto, el límite líquido corresponde a una resistencia del suelo de 25 gr/cm² (0.025 kg/cm²) (Serquén, 2019).

Serquén (2019) propone que “ la velocidad de rotación de la manivela debe ser de 2 revoluciones por segundo, debido a que es un poco difícil lograr que la masa de suelo húmeda, se cierre justo a los 25 golpes, lo que se hace es establecer una correlación, entre el número de golpes de cerramiento de la ranura y, el contenido de humedad correspondiente, para así confeccionar un gráfico, en papel semilogarítmico relacionando el número de golpes vs. el porcentaje de humedad de la muestra, y establecer la línea de tendencia. Luego de la

gráfica lograda (llamada *Curva de fluidez*), se obtiene el contenido de humedad correspondiente a $N = 25$ golpes y el contenido de humedad así determinado, corresponde al límite líquido *LL*”



Figura 20 Copa de Casagrande

Al lado izquierdo de la figura se aprecia el instrumento donde se deposita la muestra, y al lado derecho se observa las ranuras que se hacen a la muestra previo al sometimiento a los impactos del análisis.

Fuente: Duarte y Rojas. 2017. Obtención del límite líquido y límite plástico usando el penetrómetro de cono de caída, considerando los diferentes conos existentes en la literatura para un suelo bentonítico. Universidad Católica. Bogotá

- **Límite plástico (LP):**

Este ensayo está regido bajo la normatividad de INV E 126-13. Es el contenido de humedad, por debajo del cual el suelo deja de tener un comportamiento plástico, el suelo empieza a endurecerse y pasa al estado semisólido. Se determina tomando 20 a 30 gramos de suelo seco, humedecerlo, hacer una bola en estado plástico y enrollarlo con los dedos, hasta formar cilindros de 3.2 mm (1/8”) de diámetro; para formar los cilindros se debe hacer un movimiento de mano (llamado golpe), hacia adelante y hacia atrás, presionando con los dedos el cilindro de suelo; una vez que se llega a los 3.2 mm de diámetro, se deshace el cilindro, se hace la bola de nuevo y se vuelve a realizar el cilindro de suelo. Durante el proceso la masa de suelo va perdiendo humedad (Serquén, 2019).

Se detiene el enrollado cuando el cilindro se parte en pedazos, si se rompe antes de llegar a los 3.2 mm, se considera satisfactoria el estado del suelo, para obtener el límite plástico. Los pedacitos formados, se acumulan en un recipiente previamente pesado, y se determina su contenido de humedad (Véase **Figura 21**), el contenido de humedad del suelo, corresponde al límite plástico **LP** (Serquén, 2019).



Figura 21 Enrollado del suelo para lograr cilindros de 3 mm de diámetro
Se aprecian los cilindros de 3 mm elaborados de manera manual

Fuente: Leoni, Jose Augusto. *Propiedades físicas de los suelos*. Recuperado de <http://ingenieroleoni.com/wp-content/uploads/2015/09/Capitulo-1-Propiedades-Fisicas-de-los-suelos.pdf>

- **Índice de plasticidad (IP):**

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, el cual indica el rango de humedades en el que el suelo se mantiene plástico; un índice de plasticidad alto señala que las variaciones importantes de humedad no implican cambio de estado y poca permeabilidad (Durán, 2007).

Suelo	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
Arena	10 a 25	ninguno	ninguno
Limo	20 a 35	10 a 30	5 a 15
Arcilla	40 a 150	15 a 50	20 a 100
Coloides	> 150	> 50	> 100

Figura 22 Clasificación de los suelos basada en los límites de Atterberg
Fuente: Duran, José Ignacio (2007). *El terreno y el estudio geotécnico*

7.5 Análisis granulométrico (Porcentaje de material que pasa por el tamiz #200) y clasificación

Para conocer la proporción de cada material que tiene un suelo se realizan análisis granulométricos, utilizando la vía seca para partículas de tamaños superiores a 0,075 mm, y la granulometría por sedimentación mediante el hidrómetro (vía húmeda) para tamaños iguales o inferiores a 0,075 mm (Vallejo, 2002).

Los primeros se llevan a cabo tomando una muestra representativa del suelo, secándola y disgregando en seco el conjunto de partículas, a esta muestra se la hace pasar por un conjunto de tamices (cuyos tamaños suelen ir disminuyendo en progresión geométrica de razón 2) agitando el conjunto (Véase **Figura 23**); después se pesa lo retenido en cada tamiz, con lo que, conocido el peso inicial de la muestra, se determina el porcentaje de material que pasa por cada tamiz, con el fin de realizar la curva granulométrica característica de cada material (Vallejo, 2002) (Véase **Figura 24**).



Figura 23 Tamices a utilizar en el ensayo de análisis granulométrico

Nótese los diferentes tamices por el cual atraviesa la muestra de suelo para ser clasificada según el tamaño de las partículas.

Fuente: Imagen de la izquierda tomada del laboratorio 2 Ríos Ingeniería S.A.S, y la imagen de la derecha tomada de Bosch, Dante. Unidad IV Identificación y clasificación de suelos

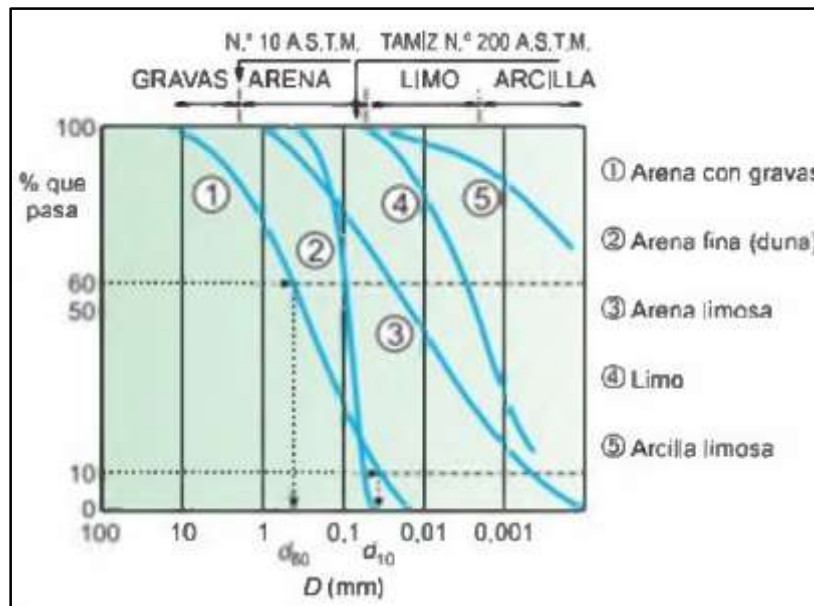


Figura 24 Granulometría de partículas

Fuente: González de Vallejo, Luis (2002). Ingeniería Geológica

Teniendo la granulometría establecida para el material, y aunado a los límites de Atterberg, Arthur Casagrande propone la Carta de plasticidad o gráfico de plasticidad el cual fue

creada en 1942, ordenó los suelos finos, de acuerdo a los parámetros: límite líquido LL e índice de plasticidad IP . En la parte superior del gráfico sobre la línea imaginaria llamada línea A se agrupan las arcillas y debajo de dicha línea se agrupan los limos y suelos orgánicos, además definió la línea B, que divide a los suelos según su plasticidad, siendo 50 % la frontera (Vallejo, 2002). Los suelos que tienen más del 50 % de límite líquido son llamados de alta plasticidad (H) y los que tienen menos del 50 %, se llaman de mediana a baja plasticidad (L). Por lo tanto, se definen, así, varios tipos de suelos: arcillas de baja plasticidad (CL), arcillas de alta plasticidad (CH), limos y suelos orgánicos de baja plasticidad ($ML-OL$) y limos y suelos orgánicos de alta plasticidad ($MH-OH$) (Vallejo, 2002) (Véase **Figura 25**).

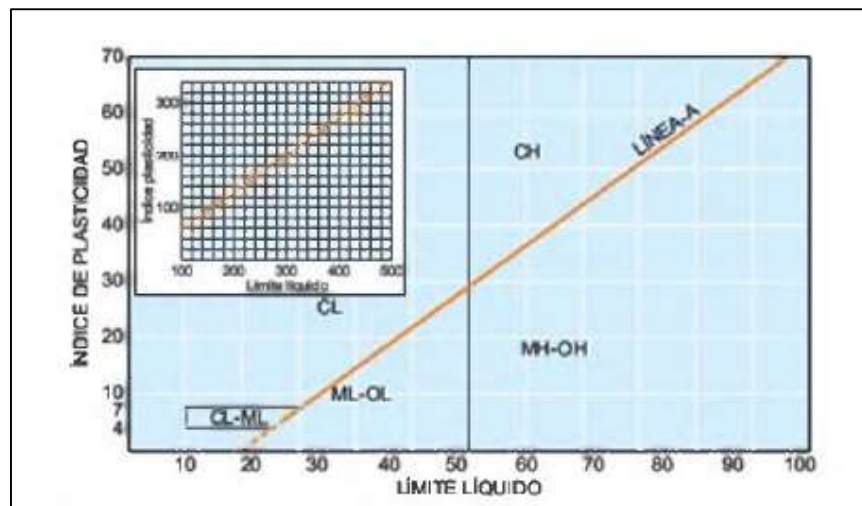


Figura 25 Carta de plasticidad de Casagrande
Fuente: González de Vallejo, Luis (2002). Ingeniería Geológica

Teniendo en cuenta si el material es de alta o de baja plasticidad, se procede a realizar la clasificación del suelo por medio de dos sistemas, los cuales son de uso común para propósitos de ingeniería.

El Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS) que se utiliza para casi todos los trabajos de ingeniería geotécnica y el Sistema de Clasificación AASHTO (*American Association*

of State Highway and Transportation Officials) que se usa especialmente para la construcción de carreteras y terraplenes. Ambos sistemas utilizan los resultados del análisis granulométrico y la determinación de los límites de Atterberg (LL, LP, IP) para determinar la clasificación del suelo; las fracciones texturales de los suelos son: Grava, arena, limo y arcilla, a un suelo que comprende uno o más de estos componentes se le da un nombre descriptivo y una designación que consta de letras o números y letras; estas letras dependen de las proporciones relativas de los componentes y de las características de plasticidad del suelo (Borselli, 2020).

- Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS)

Se basa en el sistema de clasificación desarrollado por CASAGRANDE durante la segunda guerra mundial, esta estandarizado bajo la normatividad ASTM D2487-93 (Borselli, 2020).

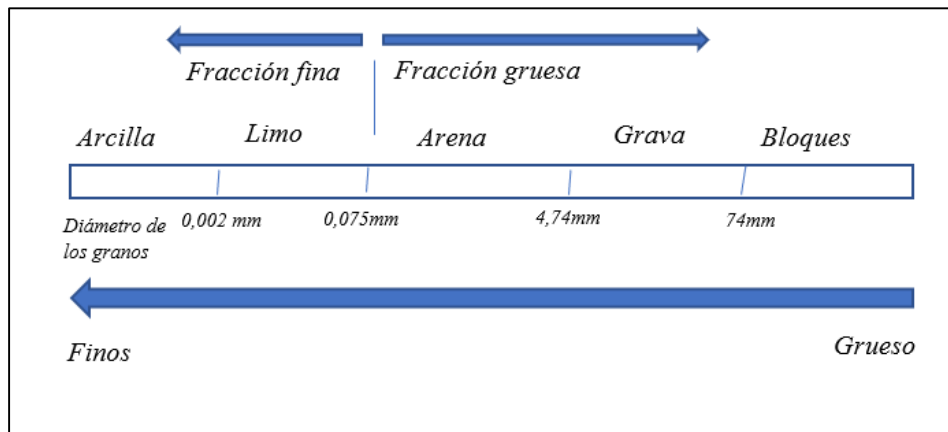


Figura 26 Clasificación SUCS (separación en componente fina y gruesa)
Fuente: Tomado y modificado de Borselli, Lorenzo. Geotecnia I Año Académico 2019-2020

Los suelos de un sistema unificado se designan por un símbolo de dos letras, donde el primero considera el componente del suelo, es decir, si es arcilla, limos o arenas, y la segunda describe informaciones de la curva granulométrica o características de plasticidad; para este

sistema se utilizan los siguientes símbolos y reglas: G (Grava), S (Arena), M (Limo), C(Arcilla), O (suelos orgánicos); *regla 1*: Si menor del 50% del suelo pasa por el tamiz N° 200 (0,075mm), el suelo es de grano grueso, con la designación de letras G o S; *regla 2*: Si más del 50% pasa por el tamiz N° 200 (0,075mm), el suelo es de grano fino y la primera letra será designada por M o C; *regla 3*: Al material de arenas y gravas se les da una segunda letra cuando están mal graduados se le asigna la letra P y cuando está bien graduadas se le asigna la letra W (Borselli, 2020) (Véase **Figura 27**).

Identificación en el campo (estuyendo las partículas mayores de 7.6 cm y basando las fracciones en pesos reducidos)		Símbolos del grupo			Ejemplos típicos	
Suelos de grupo grueso: Más de la mitad del material es retenido por el tamiz N° 200 Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N° 40	Grava más de la mitad de la fracción gruesa retenida por el tamiz N° 40 Para la clasificación usual para suelos más allá de la estructura del tamiz N° 40 se recomienda a medio centímetro	Gravas limpias (con pocos fines (cantidad apreciable de fines))	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios		GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos fines o sin ellos
		Gravas con fines (cantidad apreciable de fines)	Predominio de un tamaño o un tipo de tamaño, con ausencia de algunos tamaños intermedios		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos fines o sin ellos
		Fines plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)	Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)		GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo
	Arenas más de la mitad de la fracción gruesa retenida por el tamiz N° 40 Para la clasificación usual para suelos más allá de la estructura del tamiz N° 40 se recomienda a medio centímetro	Arenas limpias (con pocos fines (cantidad apreciable de fines))	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios		SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos fines o sin ellos
		Arenas con fines (cantidad apreciable de fines)	Predominio de un tamaño o un tipo de tamaño, con ausencia de algunos tamaños intermedios		SF	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos fines o sin ellos
		Fines no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)	Fines plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas
				SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas	
Suelos de grupo fino: Más de la mitad del material pasa por el tamiz N° 200 Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N° 40	Limos y arcillas con límite líquido menor de 50	Resistencia en estado seco (a la desintegración)	Distancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (cohesión)		
		Nula a ligera	Rápida a lenta	Nula	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad
		Medio a alta	Nula a muy lenta	Medio	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas arcillas limosas
		Ligera a media	Lenta	Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
	Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50	Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos incohesivos o con ductilidad, suelos limosos
		Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas
		Medio a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad medio a alta
		Suelos altamente orgánicos		Fácilmente identificables por su color, consistencia esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa		Pt

Figura 27 Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS)- En Lambe y Whitman. 1981
Fuente: Ingeniería Geológica (En Lambe y Whitman. 1981)

- Clasificación del suelo AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*):

El sistema AASHTO de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 por el *Public Road Administration System*. Fue desarrollado con el objeto de establecer la conveniencia de un material para su uso en la construcción de carreteras, y permite determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, subrasantes, subbases y bases; este sistema divide los suelos en siete grupos principales: A-1 hasta A-7; los suelos clasificados bajo los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales el 35% o menos de las partículas pasan a través de tamiz N° 200; suelos de los cuales más del 35% pasan a través del tamiz N° 200 se clasifican bajo los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son en su mayoría limos y arcillas. (Véase **Figura 28**). Este sistema se basa en los siguientes criterios (Borselli, 2020).

- (a) Tamaño del grano (% que pasan por las mallas N°10, N°40 y N°200)
- (b) Plasticidad (LL, IP)

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	< 50										
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≥ 41
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20		≤ 20		
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos			Suelos arcillosos	
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Figura 28 Clasificación del suelo AASHTO

Fuente: Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=m3JVfkaxa8M>

Tabla 5 Formato de los ensayos Límites de Atterberg y Clasificación de suelos

LÍMITES DE ATTERBERG INV E-125 y E-126 - 13				
Cliente: _____	Código de entrada: _____			
Obra: _____	Perforación No: _____			
Ubicación: _____	Muestra No: _____			
Material: _____	Profundidad (m): _____			
Procedencia: _____				
Fecha: _____				

Limite Plástico	Limite Plástico (%)		Humedad Natural (%)	
Caja No	128	169	196	198
Peso suelo húmedo + tara (g)	19,59	19,46	20,15	20,31
peso suelo seco + tara (g)	15,24	15,13	15,44	15,47
Ww Peso del agua (g)	4,4	4,3	4,7	4,8
Peso de la tara (g)	8,05	8,15	8,07	8,15
Ws Peso del suelo seco (g)	7,19	6,98	7,37	7,32
W Húmedo 100 x Ww/Ws (%)	60,5	62,0	63,9	66,1

Limite Líquido	1	2	3	4
No de golpes	11	17	26	30
Caja No	183	130	116	113
Peso suelo húmedo + tara (g)	20,85	20,90	20,81	20,73
peso suelo seco + tara (g)	15,25	15,24	15,30	15,54
Ww Peso del agua (g)	5,6	5,7	5,5	5,2
Peso de la tara (g)	8,27	8,05	8,02	8,20
Ws Peso del suelo seco (g)	6,98	7,19	7,28	7,34
W Húmedo 100 x Ww/Ws (%)	80,2	78,7	75,7	70,7

Granulometría			
Peso material Antes		180,4	
tamiz	Retenido (g)	Retenido (%)	Pasa (%)
No 4	0,4	0,2	99,8
No 10	0,4	0,2	99,6
No 40	0,7	0,4	99,2
No 200	19,2	10,6	88,6
Pasa 200	159,8	88,6	

Humedad (%) 65,0 Limite Líquido (%) 74,3 Limite Plástico (%) 61,3 Índice de Plasticidad (%) 13,0 Clasificación U.S.C.E MH Clasificación AASHTO A-7-5	
---	--

Fuente: Laboratorio 2 Ríos Ingenierías S.A.S

7.6 Peso unitario de suelos

Es el producto de su densidad por la gravedad. El valor depende, entre otros, del contenido de agua del suelo. Este puede variar desde el estado seco hasta el saturado, y el estado intermedio supone valores de S (Grado de saturación) entre 0 y 1.0, dependiendo del mayor o menor contenido de humedad del suelo. El peso unitario del suelo varía según el tipo de material, si son suelos secos o húmedos y de su grado de compactación (Duque- Escobar, 2016)(Véase **Figura 29**).

Type	Soil description	Unit weight range (kN/m ³)	
		Dry	Saturated
Cohesionless	Soft sedimentary (chalk, shale, siltstone, coal)	12	18
	Compacted Broken rock (Conglomerate, sandstone)	14	19
	Metamorphic	18	20
	Igneous	17	21
Cohesionless	Very loose	14	17
	Loose	15	18
Sands and gravels	Medium dense	17	20
	Dense	19	21
	Very dense	21	22
Cohesionless	Loose		
	Uniformly graded	14	17
Sands	Well graded	16	19
	Dense		
	Uniformly graded	18	20
	Well graded	19	21
Cohesive	Soft – organic	8	14
	Soft – non organic	12	16
	Stiff	16	18
	Hard	18	20

Figura 29 Rango representativo de peso unitario seco y húmedo
Fuente: Burt G. Look. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*

8 RESULTADOS

En este capítulo se nombran las interpretaciones de cada uno de los parámetros evaluados de las cenizas volcánicas (QcvI y QcvII), puesto que son las litologías más representativas del trabajo y las que cubren la mayor parte del área de estudio. El Anexo V contiene todos los mapas de interpretación de parámetros de todas las litologías.

Adicional a esto se hace la representación gráfica por medio de un modelo 3D del terreno de estudio, donde se observa, a manera general, la distribución de las litologías bajo superficie de las perforaciones de los proyectos analizados.

8.2 Interpretación de los Parámetros Físico-Mecánicos

8.2.2 Depósitos de ceniza volcánica (QcvI).

➤ **Cohesión del estrato por medio del ensayo corte directo no consolidado-no drenado (uu):**

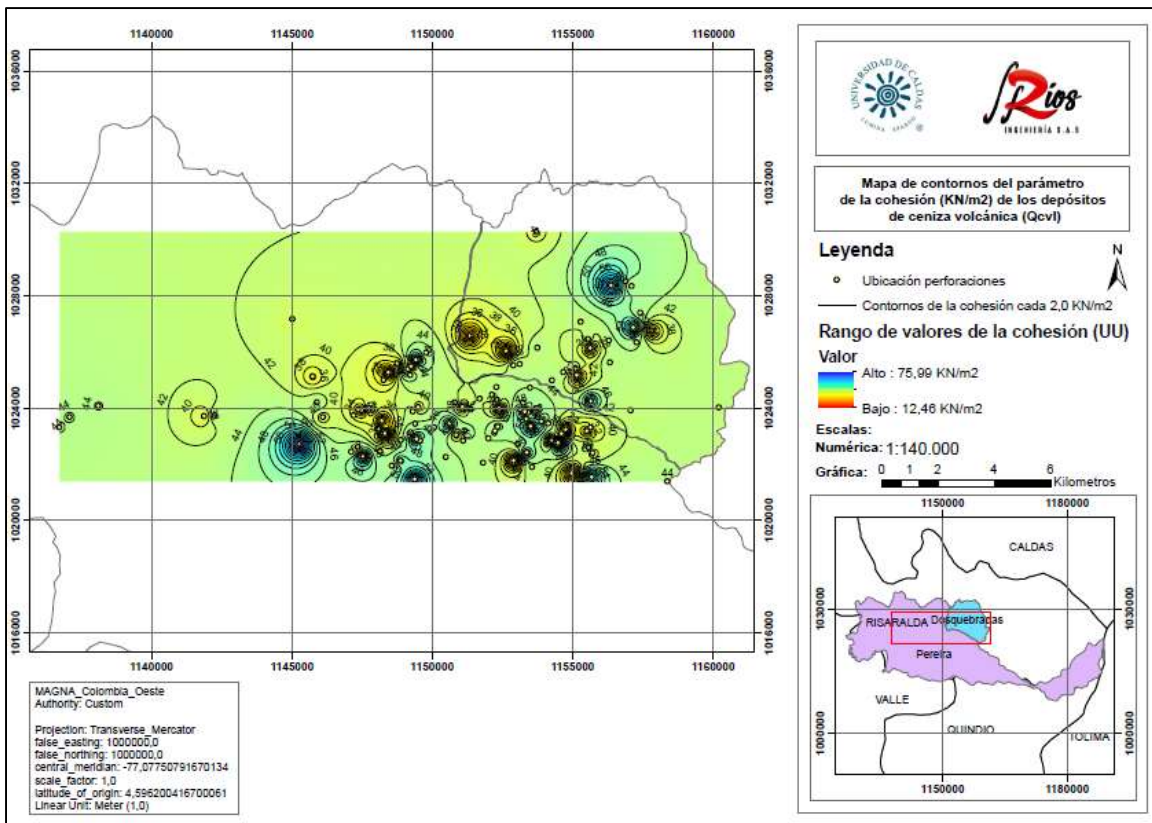


Figura 30 Comportamiento de la cohesión medido en KN/m² por medio del ensayo de corte directo No consolidado-No drenado (UU) de los depósitos de ceniza volcánica (Qcv1)

Como se muestra en la **Figura 30** este parámetro se encuentra comprendido entre 12,46 KN/m² y 75,99 KN/m² indicando que es un material que varía de limos arenosos a limos arcillosos. Como se observa en el mapa contornos hacia el este del municipio de Dosquebradas, este estrato de ceniza volcánica presenta un valor alto de la cohesión de aproximadamente 64,00 KN/m². En dirección a la vereda El Estanquillo el valor de la cohesión disminuye con un valor de 24,00 KN/m² indicando que el material en este sector es más limo arenoso. Este cambio en la cohesión puede estar afectado por las quebradas y fallas activas que atraviesan la zona del

municipio. Hacia el sector del centro de Pereira, Parque Industrial y vía cerritos presenta valores aproximados entre 40,00 KN/m² y 50,00 KN/m².

➤ **Fricción del estrato por medio del ensayo corte directo no consolidado-no drenado**

(uu):

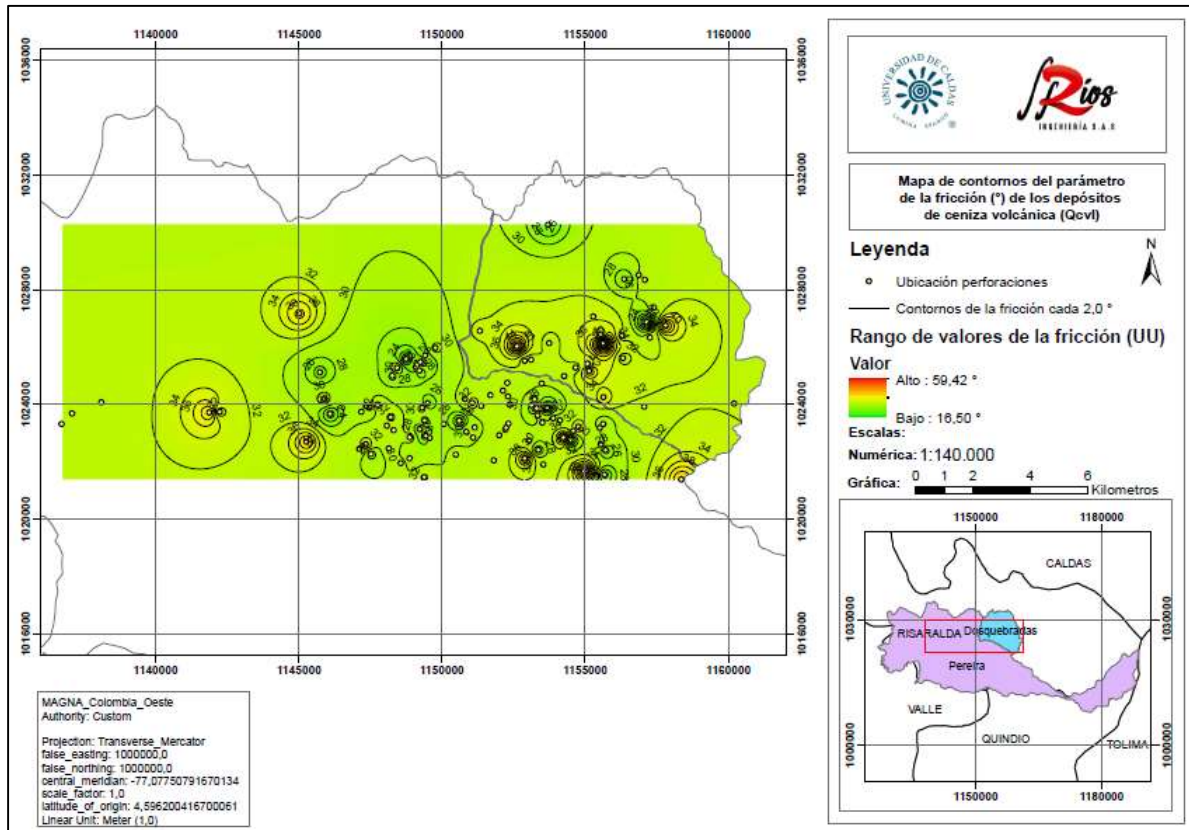


Figura 31 Comportamiento del parámetro de la fricción medido en grados, por medio del ensayo de corte directo No consolidado- No drenado (UU) de los depósitos de ceniza volcánica (QcvI)

Según la **Figura 31** el valor característico hallado para el ángulo de fricción es de 31,00°, no obstante, hay sectores en los que este valor aumenta como por ejemplo en el municipio de Dosquebradas, señalando una composición limo arenosa del material. Por otro lado, se presenta un valor bajo de este parámetro hacia el sector centro y oeste de Pereira, esto indica un posible aumento en el contenido de material fino como arcillas en el material

volcánico. Este cambio composicional se puede dar porque hacia el este se encuentra el Complejo Volcánico Ruiz- Tolima al cual se asocia dicho depósito por ende entre más cerca el material este del centro de emisión más arenosas en su composición.

➤ **Cohesión del estrato por medio del ensayo de compresión simple (q_u):**

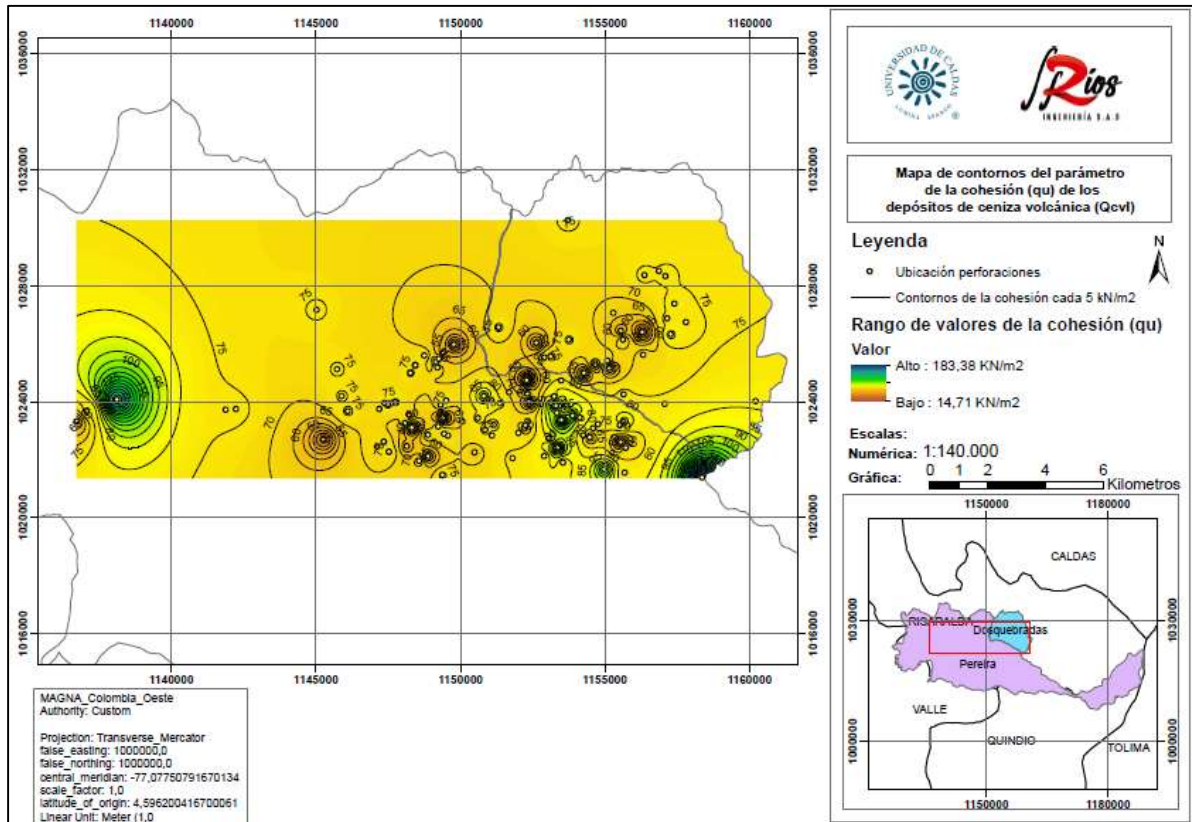


Figura 32 Comportamiento del parámetro de la cohesión medido en KN/m^2 , por medio del ensayo de la compresión simple (q_u)

A partir del mapa de contornos y según la **Figura 32** se puede apreciar que en el municipio de Dosquebradas el valor de la cohesión oscila entre $55,00 \text{ KN/m}^2$ y $70,00 \text{ KN/m}^2$ indicando que son suelos muy flojos o muy blandos y hacia el sector SE del casco urbano de Pereira y vía Cerritos el valor presenta un aumento señalando suelos de consistencia media.

➤ *Límite líquido del estrato por medio del ensayo de la cuchara de Casagrande:*

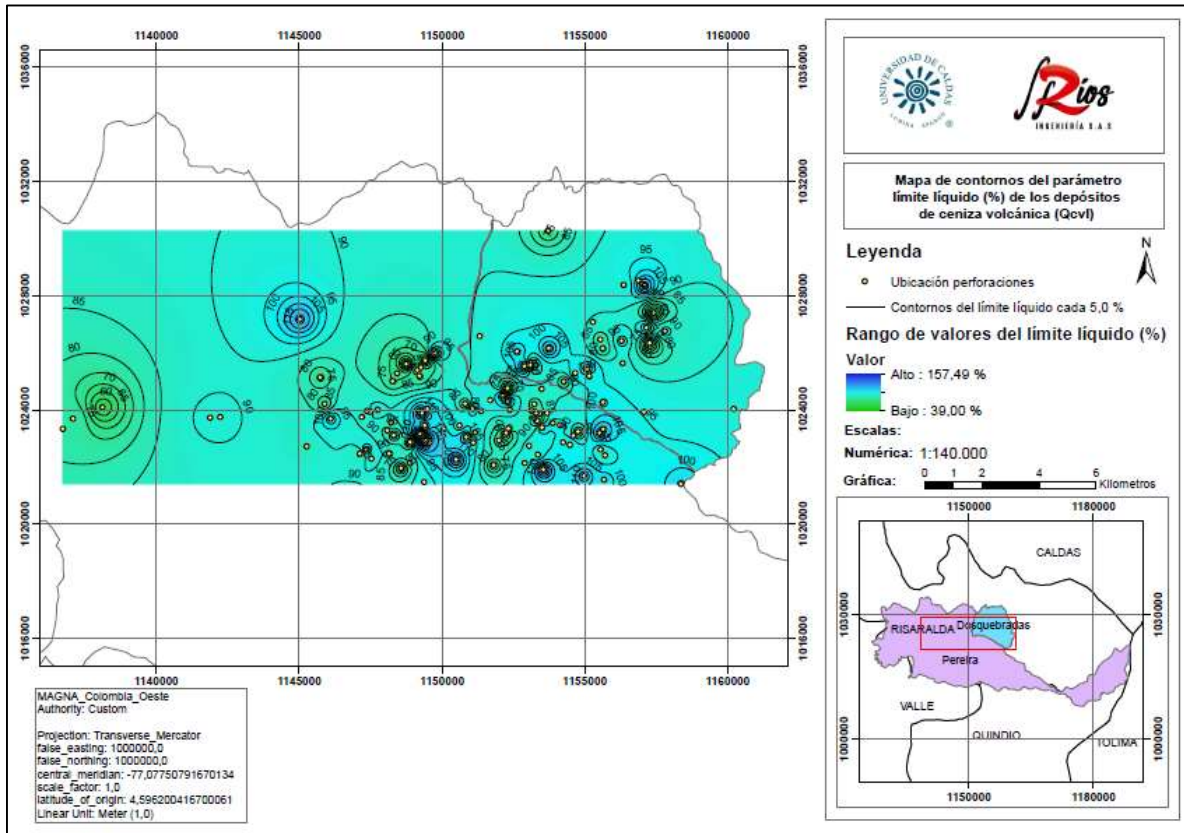


Figura 33 Comportamiento del parámetro del límite líquido medido en porcentaje por medio del ensayo de la cuchara de Casagrande de los depósitos de ceniza volcánica (Qcvl)

El comportamiento de este parámetro es variado y está comprendido entre 39,00% y 157,49%, donde se puede apreciar en el mapa de contornos que, hacia el sector de Dosquebradas, barrio Parque Industrial de Pereira y vía Cerritos el porcentaje del límite líquido disminuye. A manera general el valor de este parámetro oscila entre 90,00% y 130,00% indicando un aumento en la humedad lo que es propio de materiales finos.

➤ **Límite plástico del estrato por medio del método de rollos:**

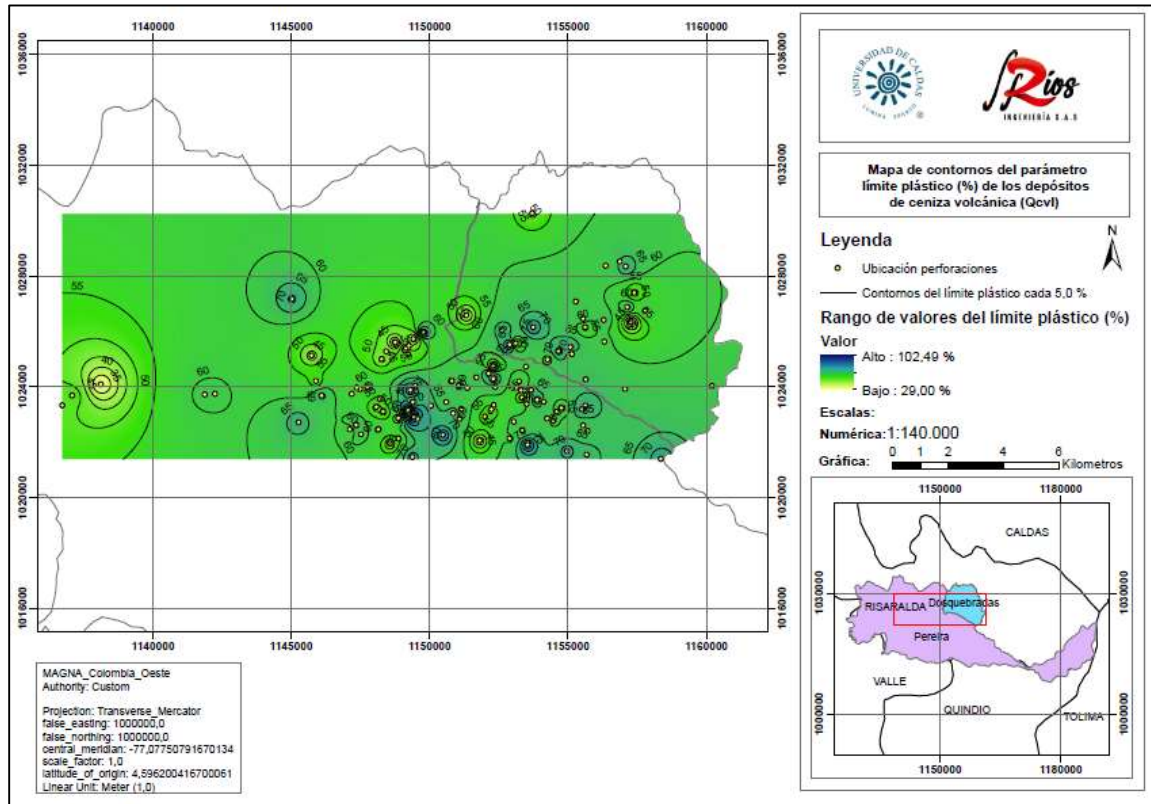


Figura 34 Comportamiento del parámetro del límite plástico medido en porcentaje por medio del método de rollos de los depósitos de ceniza volcánica (Q_{cv1})

Este parámetro sobre este estrato de cenizas volcánicas tiene un comportamiento similar al anterior, comprendiendo valores entre 29,00% y 102,49%, los valores altos de esta propiedad indican generalmente un gran contenido de material fino.

➤ **Índice de plasticidad del estrato:**

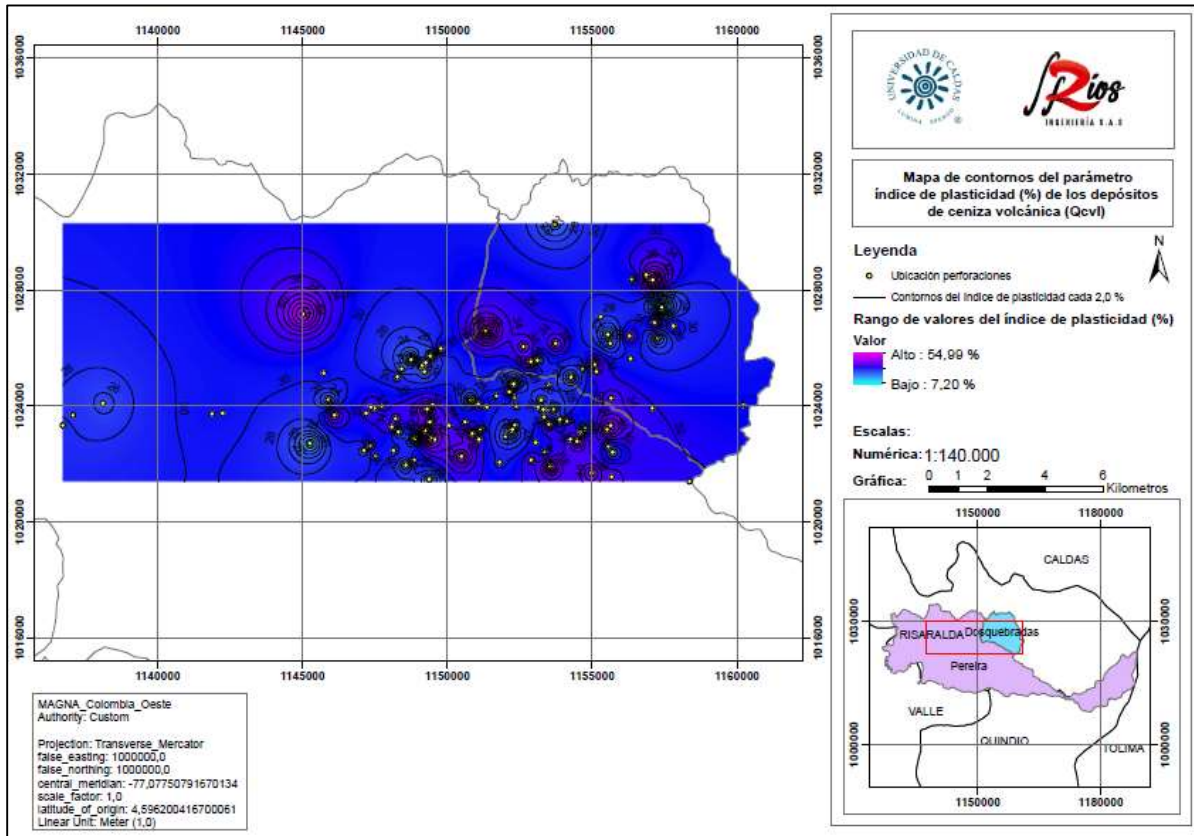


Figura 35 Comportamiento del parámetro índice de plasticidad medido en porcentaje de los depósitos de ceniza volcánica (QcvI)

El valor característico del parámetro del índice de plasticidad para los depósitos de ceniza volcánica (QcvI) es de 30,00%, pero como lo indica el mapa de contornos el valor de esta propiedad oscila entre 7,20% y 54,99% y hacia el sector del barrio Camilo Torres de Dosquebradas, Parque Industrial de Pereira y vía Cerritos el valor se hace menor lo que hace que el material este más propenso a cambios de estado al aumentar o disminuir el porcentaje de humedad. Adicionalmente se observa que en la mayoría de las perforaciones realizadas el valor de este parámetro oscila entre 28,00% y 40,00% indicando que el material es de alta plasticidad y de composición arcillo limosa.

➤ **Material que pasa por el tamiz #200 por medio de un análisis granulométrico:**

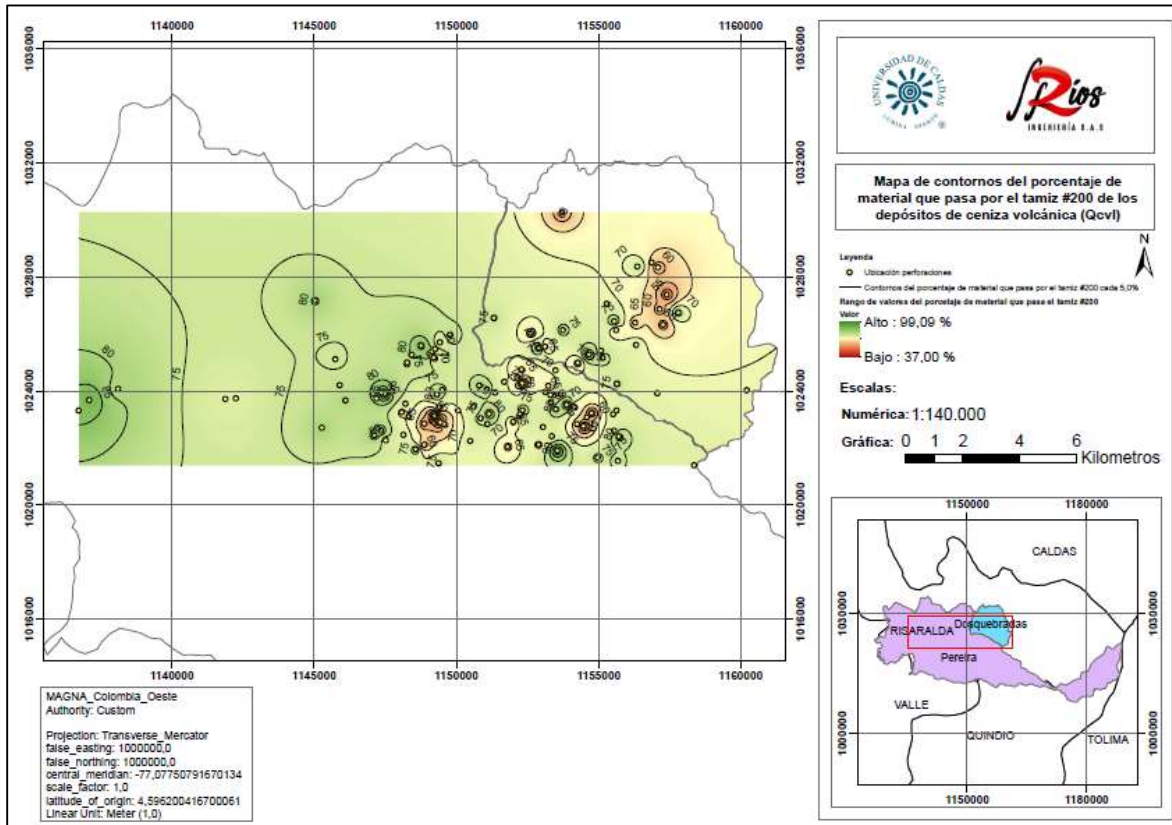


Figura 36 Comportamiento del material que pasa por el tamiz #200 medido en porcentaje, por medio de un análisis granulométrico de los depósitos de ceniza volcánica (Qcvl)

El porcentaje fino que pasa por el tamiz # 200 comprende valores entre 37,00% y 99,09%, los valores más bajos se presentaron hacia los barrios Portal de las Mercedes y Mercedes de la ciudad de Pereira y al este de Dosquebradas, indicando que la composición de este estrato en estos sectores presenta material granular, pero a manera general el valor de este parámetro está comprendido entre 50,00% y 80,00% lo que muestra una composición limo arcillosa para este depósito de cenizas volcánicas, clasificadas como limos de alta plasticidad (MH) en el sistema SUCS y como A-7-5 por el sistema ASSTHO.

➤ **Peso unitario húmedo del estrato:**

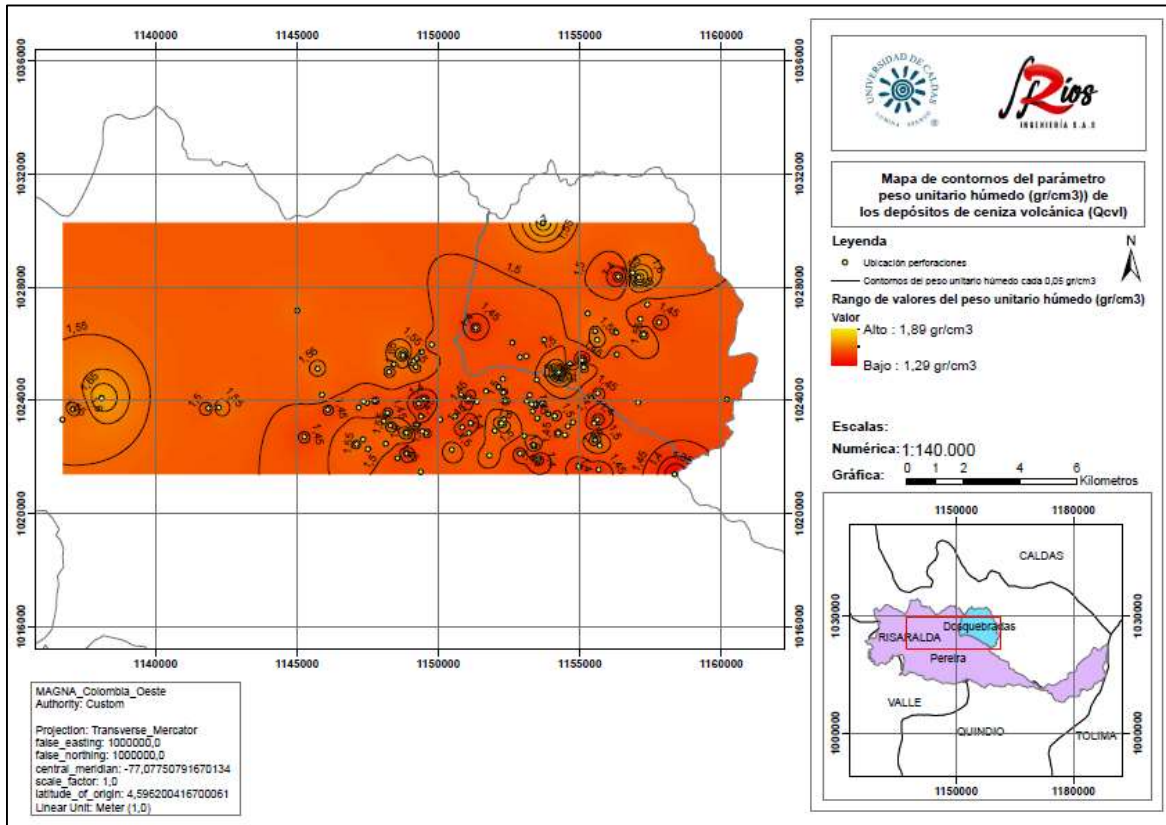


Figura 37 Comportamiento del parámetro peso unitario húmedo medido en gr/cm³ de los depósitos de ceniza volcánica (QcvI)

El valor unitario húmedo para el depósito de cenizas volcánicas comprende valores de 1,29 gr/cm³ y 1,89 gr/cm³, lo que indica según la **Figura 29** que el material es considerado como suelos cohesivos de flojos a rígidos.

8.2.3 Depósitos de ceniza volcánica (QcvII).

El material hace parte de un flujo piroclástico intercalado con flujo de escombros asociados a un lahar, por lo tanto, comprende bloques de roca inmersos en una matriz de grano fino. Teniendo en cuenta lo anterior, los valores obtenidos de cada parámetro se evaluaron sobre el material más fino de dicho depósito.

➤ *Cohesión del estrato por medio del ensayo corte directo no consolidado-no drenado*

(uu):

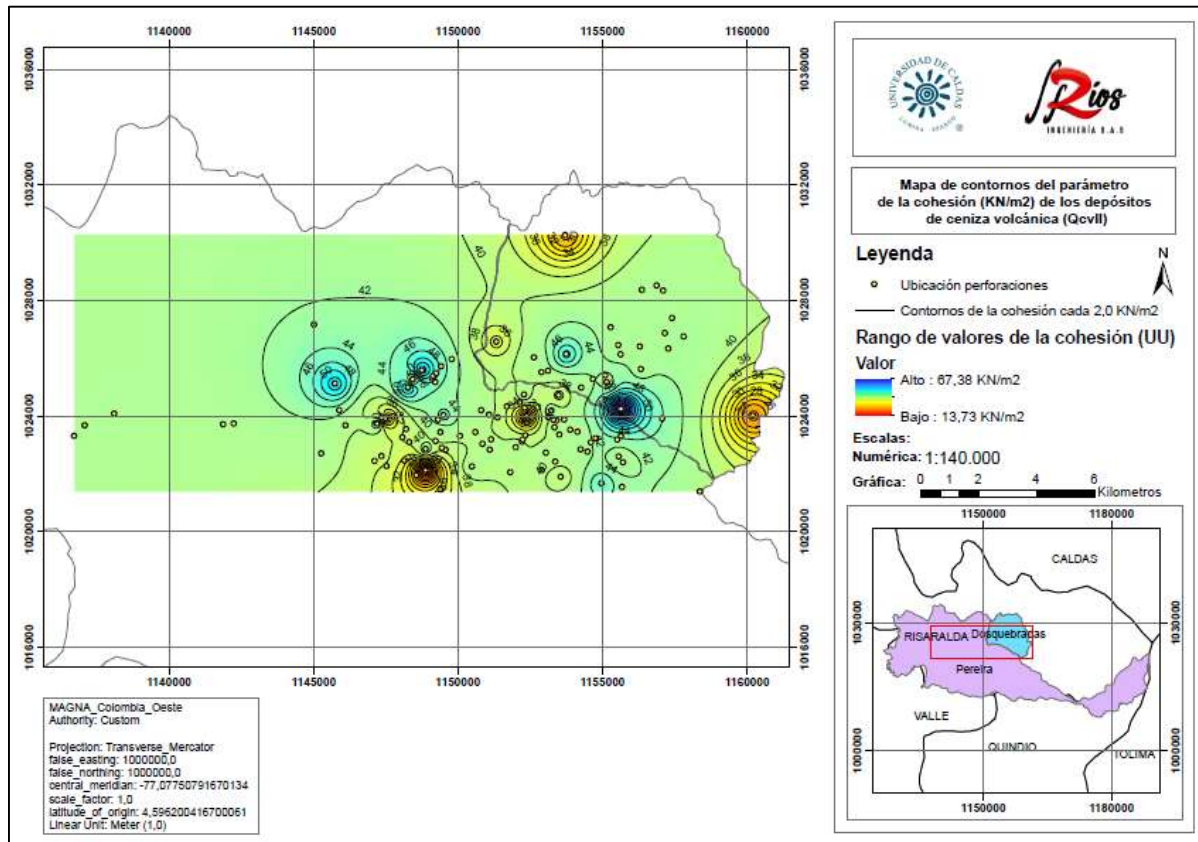


Figura 38 Comportamiento de la cohesión medido en KN/m² por medio del ensayo de corte directo No consolidado-No drenado (UU) de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)

Como se observa en la **Figura 38**, hacia el sector de Dosquebradas, en el barrio Frailes, este estrato presenta una cohesión entre 42,00 KN/m² señalando un gran porcentaje en material fino, así mismo sucede hacia la parte noroeste del casco urbano de Pereira, donde la cohesión comprende valores entre 42,00 KN/m² y 52,00 KN/m². Por otro lado, hacia el centro y sur de Pereira se presentó el valor más bajo oscilando entre 42,00KN/m² y 28,00 KN/m², probablemente el material presentó durante el ensayo fragmentos de roca de mayor tamaño.

➤ **Fricción del estrato por medio del ensayo corte directo no consolidado-no drenado (uu):**

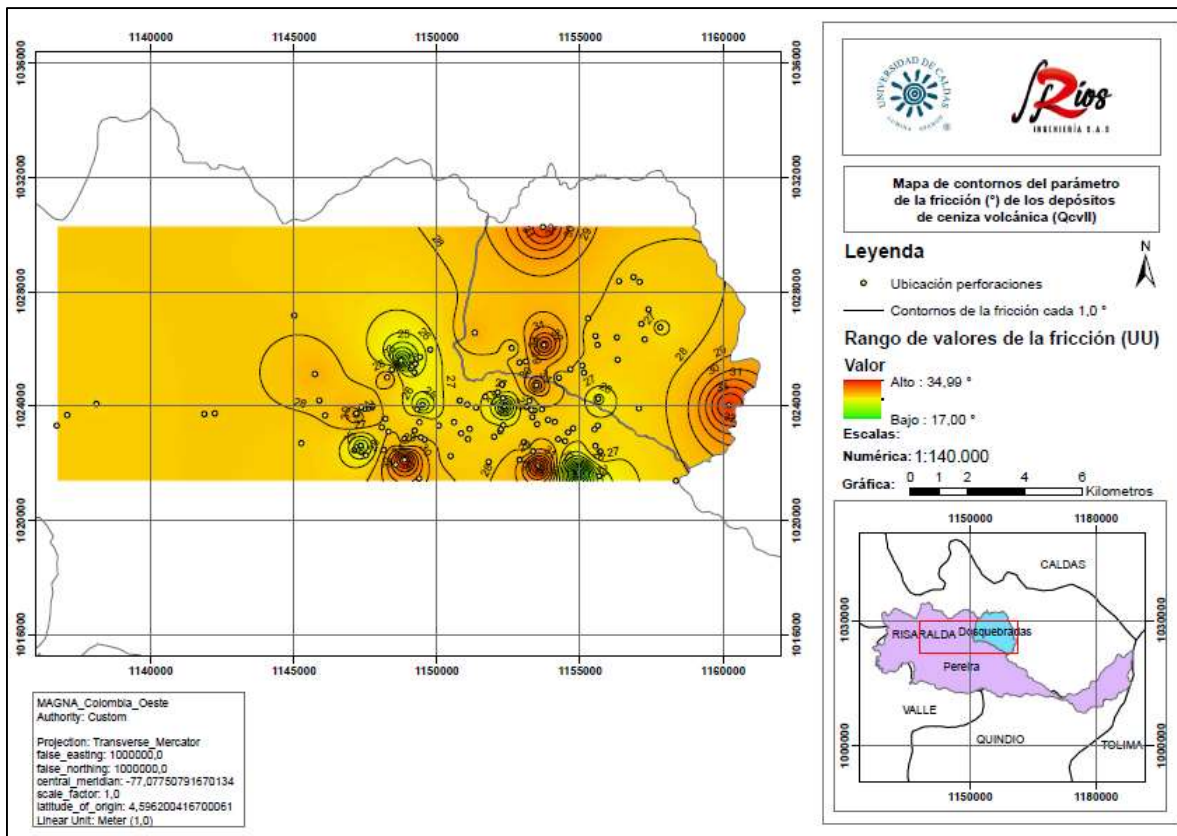


Figura 39 Comportamiento del parámetro de la fricción medido en grados, por medio del ensayo de corte directo No consolidado- No drenado (UU) de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)

A manera general la matriz de este estrato comprende valores del ángulo de rozamiento interno entre 17,00° y 34,99°. Los valores del ángulo de fricción más relevante según el mapa de contornos se encuentra hacia el sector del Parque Industrial y barrio Tokio en Pereira donde el valor del parámetro disminuye entre 20,00° y 17,00° respectivamente, esto indica que el material fino es mayor, a diferencia de la vereda del Alto el Toro en el sector sur de Dosquebradas se presenta un valor mayor de 34,00°, lo que indica generalmente que el material de la matriz de este depósito es granular.

➤ **Cohesión del estrato por medio del ensayo de compresión simple (q_u):**

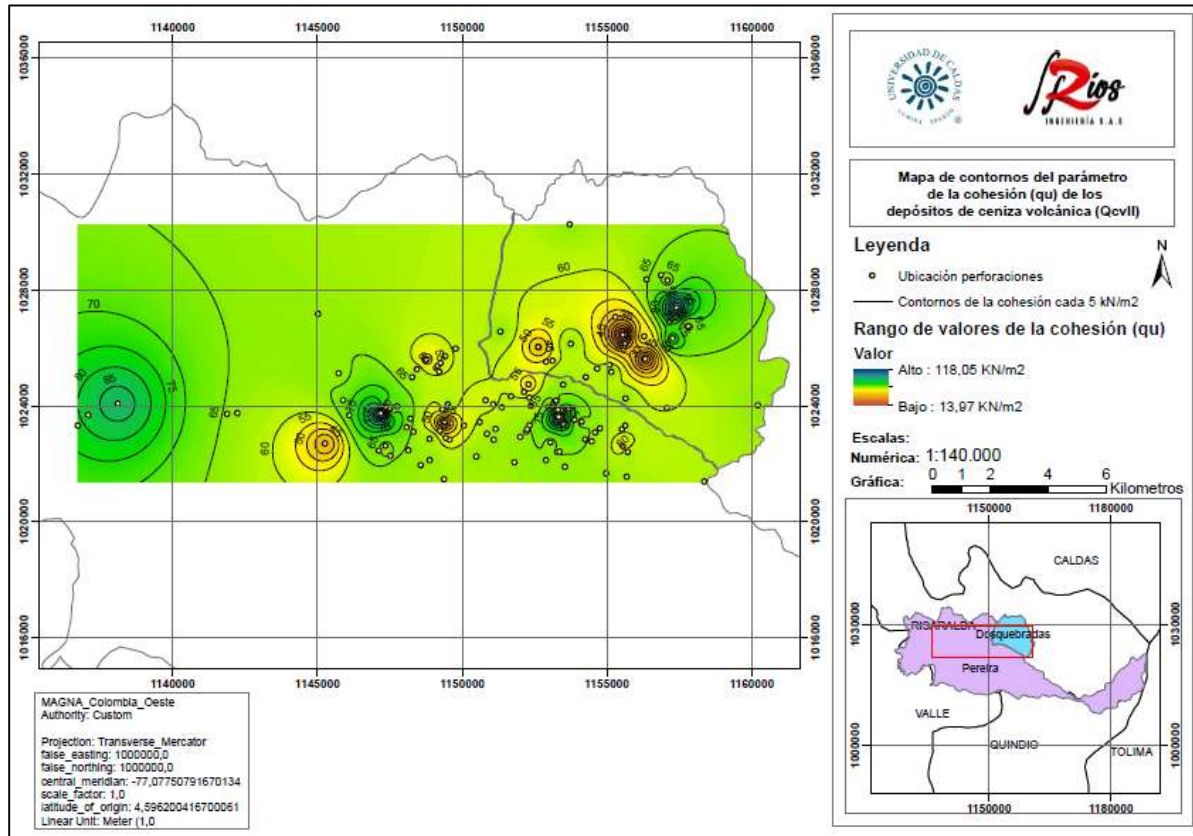


Figura 40 Comportamiento del parámetro de la cohesión medido en KN/m^2 , por medio del ensayo de la compresión simple (q_u) de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)

El parámetro de la cohesión por medio del ensayo de la compresión simple para este depósito comprende valores entre $13,97 \text{ KN/m}^2$ y $118,05 \text{ KN/m}^2$ lo que indica que es estrato, varía de limos arenosos o limos arcillosos respectivamente. Como se observa en el mapa de contornos el valor de la cohesión hacia el este de Dosquebradas se hace mayor mientras que hacia el centro de este mismo municipio el valor disminuye, estos cambios se pueden presentar por diferencias en la composición, la humedad y el efecto que pueden causar las quebradas que atraviesan dicho municipio. Hacia el centro de Pereira y vía Cerritos la cohesión es mayor comprendiendo valores entre $100,00 \text{ KN/m}^2$ y $60,00 \text{ KN/m}^2$ respectivamente, señalando que los suelos son de consistencia blanda o floja según la **Figura 18**.

➤ **Límite líquido del estrato por medio del ensayo de la cuchara de Casagrande:**

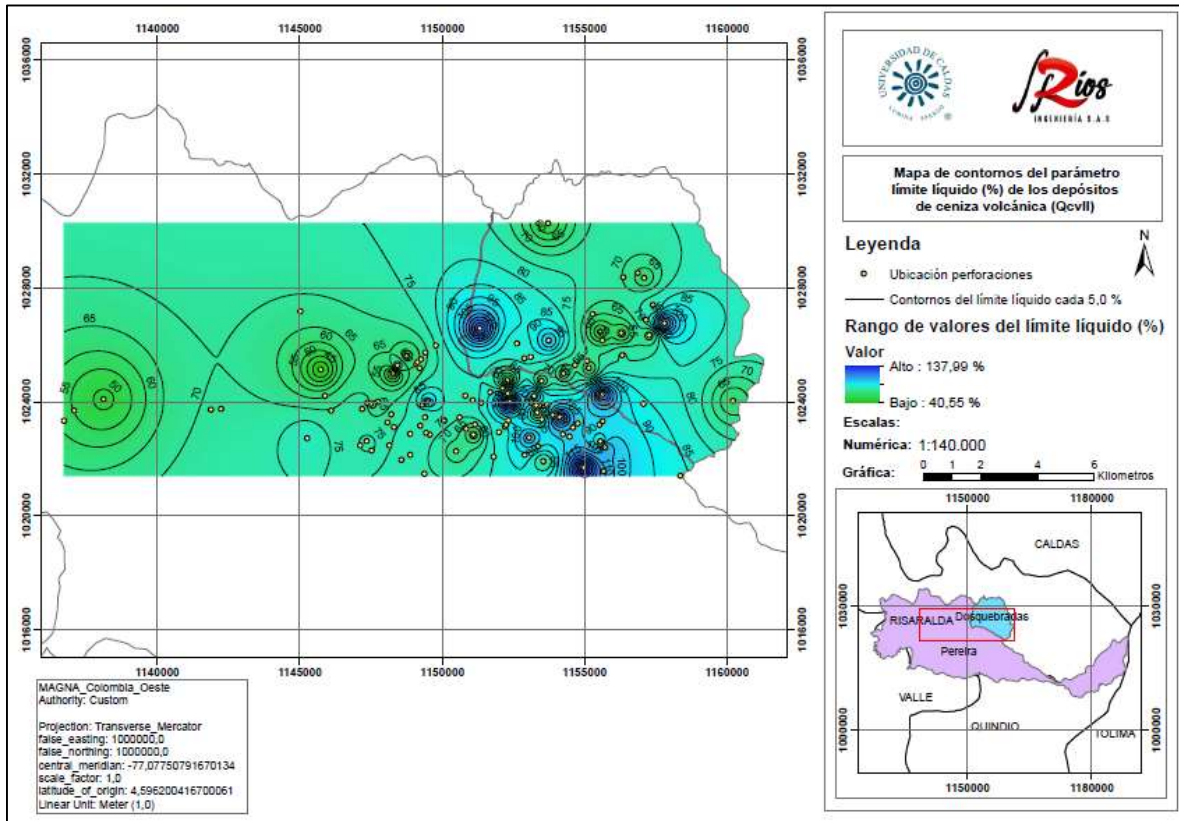


Figura 41 Comportamiento del parámetro del límite líquido medido en porcentaje por medio del ensayo de la cuchara de Casagrande de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)

El límite líquido de la matriz del flujo de escombros comprende valores entre 40,55% y 137,99% el cual tiende a disminuir hacia el oeste de Pereira, indicando poca humedad, y hacia el municipio de Dosquebradas en sentido este, la tendencia de este parámetro es a incrementarse indicando un posible aumento en el contenido de material fino y mayor contenido de humedad.

➤ *Límite plástico del estrato por medio del método de rollos:*

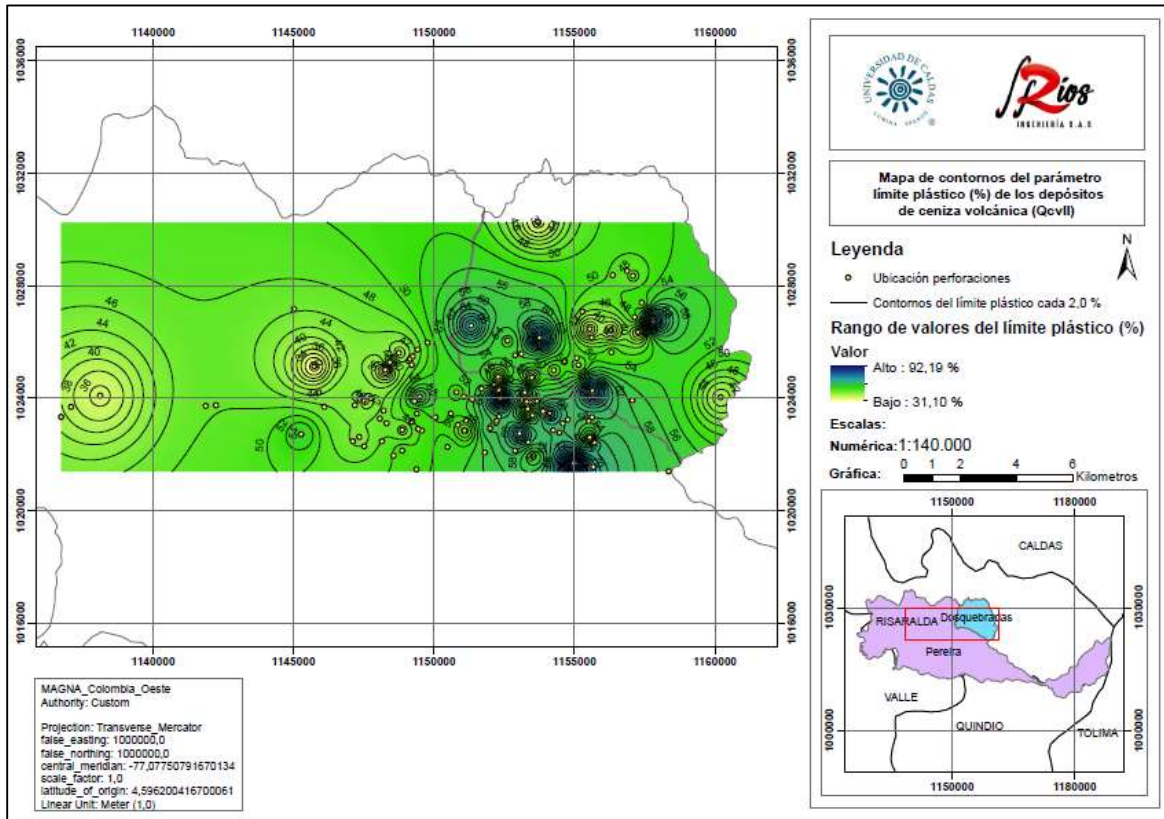


Figura 42 Comportamiento del parámetro del límite plástico medido en porcentaje por medio del método de rollos de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)

El comportamiento de este parámetro tiene un comportamiento similar al anterior, este ítem oscila entre 31,10% y 92,19%, esto implica el intervalo de variación que puede tomar la humedad para que el material permanezca en estado plástico. Según la **Figura 22** este estrato tiene un gran porcentaje de material arcilloso y limoso.

➤ **Índice de plasticidad del estrato:**

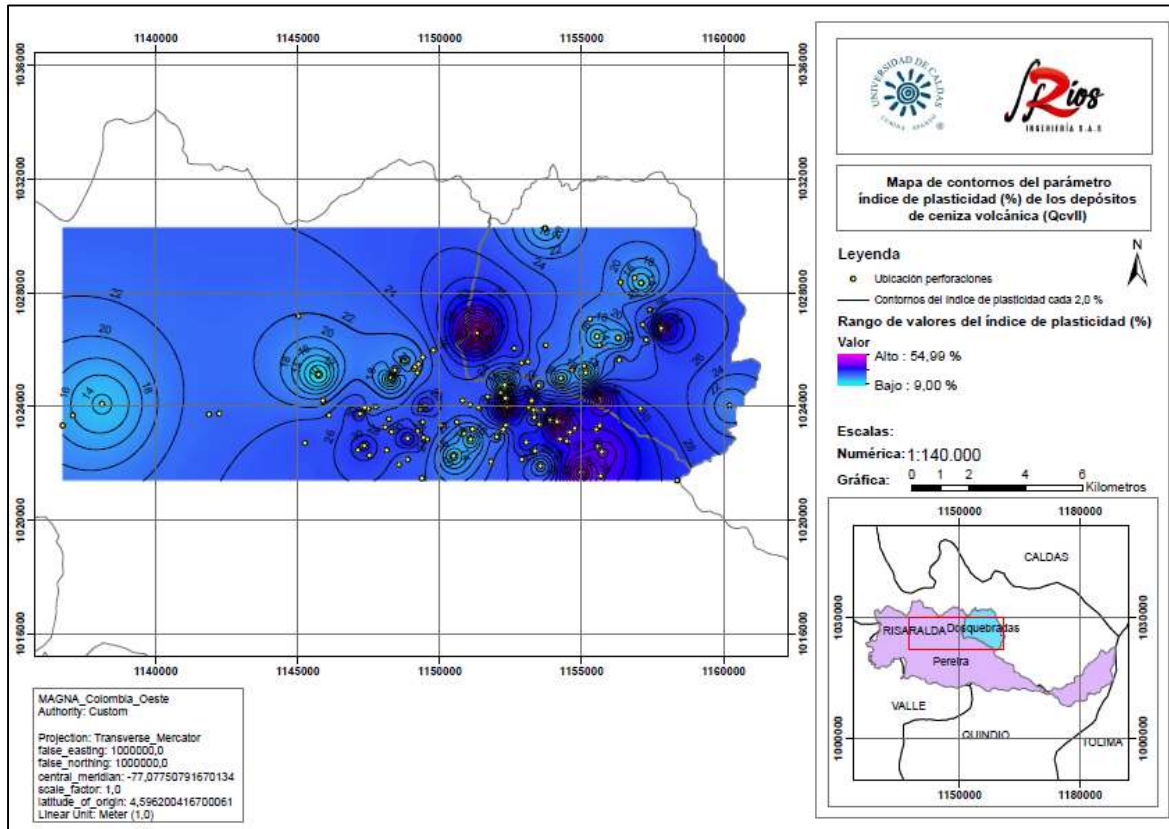


Figura 43 Comportamiento del parámetro índice de plasticidad medido en porcentaje de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)

El índice de plasticidad es uno de los límites de Atterberg más importante para la clasificación del suelo. Como se observa en el mapa de contornos este parámetro es muy variable comprendiendo valores entre 9,00% y 54,99%. En dirección Oeste hacia Cerritos y vía Marsella los valores de esta propiedad son bajos lo que indica que el material es muy propenso a cambios de estado dependiendo de la humedad e infiltración de agua que se presente en la zona. Por el contrario, en el barrio Parque Industrial, centro y sur del municipio de Pereira y parte del municipio de Dosquebradas los valores del índice de plasticidad aumentan, lo que implica que el material en estos sectores conserva un estado plástico.

➤ **Material que pasa por el tamiz #200 por medio de un análisis granulométrico:**

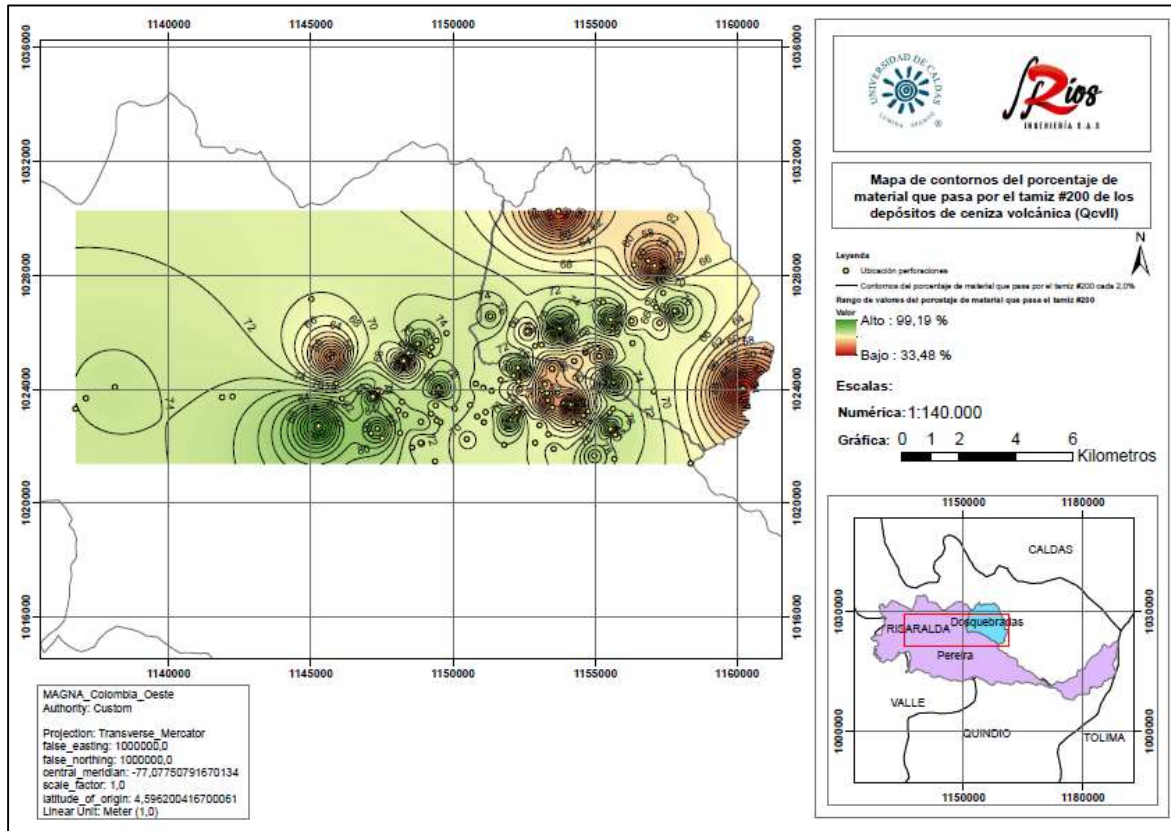


Figura 44 Comportamiento del material que pasa por el tamiz #200 medido en porcentaje, por medio de un análisis granulométrico de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)

Este parámetro comprende valores entre 33,48 % y 99,19%. En cuanto a la capital del departamento esta propiedad tiende a aumentar hacia el sector de Cerritos y el sur oeste donde los valores oscilan entre 74,00% y 98,00% del material fino que pasa por el tamiz #200, por el contrario, se evidencia un descenso hacia el centro y sector vía Marsella y barrios aledaños obteniendo valores entre 30,00% y 72,00% indicando presencia de material limoso y arenoso.

Para el municipio de Dosquebradas, se aprecia hacia el sector de Bosques Acuarela y vereda Alto el Toro un descenso en el valor del material fino que pasa por el tamiz #200, indicando que hay presencia de material granular- no cohesivo en la composición de esta matriz.

➤ **Peso unitario húmedo del estrato:**

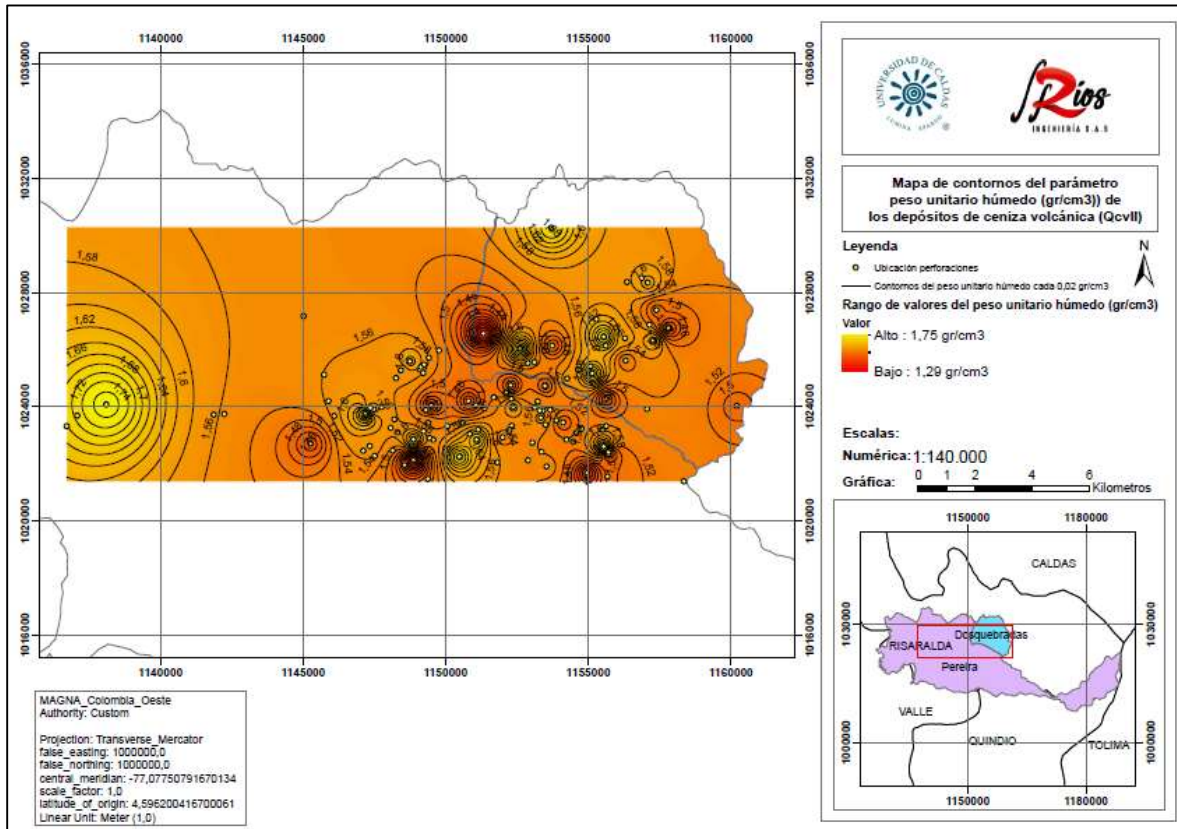


Figura 45 Comportamiento del parámetro peso unitario húmedo medido en gr/cm³ de los depósitos de ceniza volcánica (QcvII)

Este parámetro se encuentra entre 1,29 gr/cm³ y 1,75 gr/cm³. Teniendo en cuenta el mapa de contornos y según la **Figura 29** los datos más relevantes se observan en dirección Cerritos donde hay un aumento en el peso unitario húmedo del material, señalando que el tipo de suelos es en general cohesivo rígido de composición arcillosa. Para el casco urbano de Pereira este valor de peso unitario húmedo oscila entre 1,50 gr/cm³ y 1,56 gr/cm³ y hacia Dosquebradas el valor está comprendido entre 1,58 gr/cm³ y 1,70 gr/cm³.

8.3 Modelo 3D del área de estudio

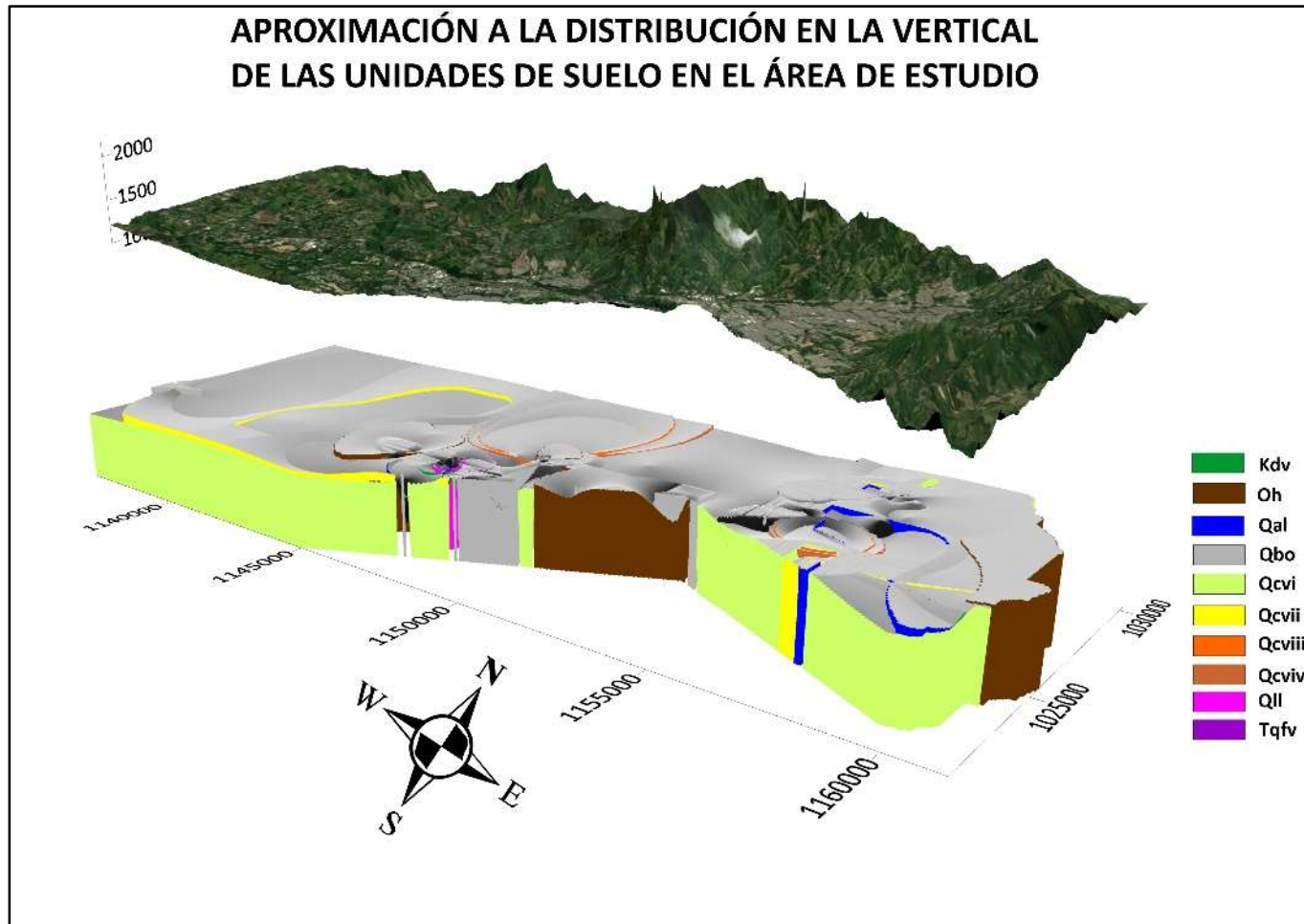


Figura 46 Aproximación de la distribución en la vertical de las unidades de suelo en el área de estudio
Nótese las diferentes tonalidades de colores correspondientes a las unidades litológicas infrayaciendo el área de estudio. El color verde de los depósitos de ceniza volcánica Qcvi es la que predomina en la zona.

Fuente: Propia

9 CONCLUSIONES

Después de haber completado las actividades propuestas para el desarrollo del trabajo, a continuación, se presentan una serie de conclusiones y recomendaciones a tener en cuenta durante la construcción de un proyecto.

- Por medio de un estudio de suelos se puede conocer las características físicas, químicas y mecánicas del terreno donde se piensa construir, además se puede ver la secuencia de las diferentes litologías y su espesor, la profundidad del nivel del agua subterránea y hasta la capacidad de resistencia de un suelo o una roca. Con estos factores y aunado al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NRS-10 se puede establecer el tipo de cimentación apropiada para cualquier obra civil que se desee construir.
- La geología superficial, en la mayor parte de la zona de estudio se encuentra enmarcado dentro de un depósito Cuaternario de características volcano-sedimentario, conformado por material arcilloso y limoso.
- La exploración del subsuelo en su mayoría, corresponde a exploraciones directas, empleando equipo de perforación mecánico, con el cual fue posible obtener muestras de suelo alterado e inalterado empleando el dispositivo de cuchara partida y tubos de pared delgada tipo Shelby.

- A partir de la tipología del muestreo la cual indicó características de materiales en su mayoría finogranulares, se proyecta un plan de ensayos de laboratorio el cual se enfoca en determinar propiedades índices del suelo mediante ensayos como, límites de Atterberg, granulometrías. Junto con estas características se determinaron propiedades de resistencia empleando ensayos como compresión confinada y ensayo de corte directo no consolidado no drenado (UU).

- El comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del sub suelo pueden variar por diferentes factores como la topografía, infiltración de aguas superficiales o subterráneas, tectónica, composición y distribución de las partículas del material.

- Los factores incidentes y determinantes del proceso de inestabilidad del terreno son: saturación de los materiales, alteraciones de origen antrópico, humedad, falta de control de drenaje de aguas de escorrentía y materiales no consolidados susceptibles a fallar.

- Este trabajo se realizó con el fin de tener una visión general del comportamiento del suelo y de las litologías que infrayacen a los municipios en cuestión, esto no exime de realizar un estudio de suelos detallados para futuras obras que se realicen en Pereira y Dosquebradas.

- Las propiedades de los suelos hallados mediante ensayos de laboratorio, en algunos casos, no representa el comportamiento real del suelo, puesto que en el laboratorio estas propiedades se hallan en condiciones controladas y en muestras generalmente inalteradas. Es por esto que los ensayos realizados in situ son más eficaces y más representativos.

- Los tipos de ensayos de laboratorio varían dependiendo de las necesidades del proyecto, es por esta razón que antes de realizar cualquier ensayo de laboratorio el geotecnista o ingeniero especializado, toma la decisión de cuales ensayos realizar. Cabe mencionar que los parámetros geotécnicos de la resistencia al corte, es decir, la cohesión y la fricción son indispensables en cualquier proyecto ya que con estos valores se permite diseñar cualquier obra geotécnica.

- Para este trabajo solo se contó con ocho parámetros geotécnicos del suelo (decisión tomada por el ingeniero asesor de la práctica académica), cabe mencionar, que existen muchas más propiedades que no se tuvieron en cuenta para dicho informe como lo es la humedad natural, el módulo de elasticidad, índice de poros, gravedad específica, peso unitario seco, entre otros.

10 RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener un buen manejo de las muestras al momento de ser extraídas, rotuladas y transportadas al laboratorio donde se piensa realizar los ensayos, puesto que, si la muestra pierde humedad, esto puede afectar los resultados de laboratorio.

- Se requiere de un documento técnico final que será presentado al encargado de la construcción. Allí se detallará las observaciones del estudio de suelo, las características que se han encontrado y si este es o no, apto para realizar construcciones.

- Se recomienda que toda construcción que se proyecte esté regida bajo el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NRS-10.

11 REFERENCIAS

- Álvarez, E. y González, H. (1978). *Geología y geoquímica del cuadrángulo I7 Urrao*. Medellín: Ingeominas.
- Borselli, L. (2020). *Geotecnia I*. Madrid: UASLP. Recuperado de: [LORENZO BORSELLI-
Página de inicio \(lorenzo-borselli.eu\)](http://lorenzo-borselli.eu)
- Burgess, T.M y Webster, R. (1980). *Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties III changing drift and universal Kriging*. Erupean Journal of Soil Science
- Caballero, H., y Zapata, G. (1984). *Geología y geoquímica de la plancha 224 Pereira*. Medellín: INGEOMINAS.
- Cano, M. (2019). *Significado de una roca de andesita de dimensiones métricas*. Pereira.
- Coulomb, C. A. (1776). *Essai sur une application des regles de maximis et minimis quelques problemes de statique, relatits a l'architecture. Memoires de Mathematique de l'Academie Royale de Science , 7.*
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Cengage Learning.
- Dávila, A. D. A. (2002). *Agenda ambiental del municipio de Pereira*. Pereira: SIGAM.
- Duque, G. E. (2016). *Manual de Geología para ingenieros*. Manizales: Universidad Nacional.
- Duran, J. I. (2007). *El terreno y estudio geotécnico*. Madrid: CSCAE.
- Espinosa, A. B. (2010). *Un modelo del Cuaternario del Quindío*. Armenia : Universidad del Quindío.
- González, H. (1993). *Mapa Geológico del departamento de Risaralda Geología y recursos Minerales*. Bogotá: INGEOMINAS.

- González, H. (2001). *Geología de las Planchas 206 Manizales y 225 Nevado del Ruiz*. Medellín: INGEOMINAS.
- Mc Court, W., López, A., y Malcolm. B. (1984). *The geology of the Central Cordillera the department of Valle del Cauca, Quindio and NW Tolima*. Cali: INGEOMINAS.
- Mohr, C. O. (1990). *Welche Umstände Bedingen die Elastizitätsgrenze und den Bruch eines Materiales*. Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
- Pardo, A. P. y Moreno, M. S. (2001). *Estratigrafía del occidente colombiano y su relación con la evolución de la provincia Ignea Cretacea del Caribe colombiano*. Manizales: Universidad de Caldas.
- Pulgarín, B., Valencia, L., Ceballos, J., Cruz, Y. y Méndez, R. (2018). *Mapa geológico del complejo volcánico Paramillo San Rosa zona proximal*. Servicio Geológico Colombiano.
- Rodríguez, G., y Zapata, G. (2013). Análisis comparativo entre la Formación Barroso y el Complejo Quebradagrande: un arco volcánico toleítico-calcoalcalino, segmentado por el sistema de fallas de Romeral en los Andes del Norte. *Boletín de Ciencias de la Tierra*.
- Serquén, W. R. (2019). *Fundamentos de Ingeniería Getécnica Suelos y Cimentaciones*.
- Suárez, J. D. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Bucaramanga.
- Toro, G. V. (2001). *Depósitos de los últimos 40000 años BP en el departamento de Risaralda*. Pereira: UTP.
- Vallejo, L. L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PRENTICE HALL.
- Van Der Hammen, T. (1958). *Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano con continentales y tectogenesis de los Andes colombianos*. INGEOMINAS.

Velasquez, M. A. (2015). *Estimación del ángulo de fricción interan y cohesión no drenada a partir de correlaciones basadas en ensayos in situ para suelos del pie de monte de los cerros orientales de Bogotá DC*. [Tesis de pregrado para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Caldas].

Vásquez, H. M. (2018). *Degradación ambiental y riesgos de desastres: Implicaciones en el ordenamiento territorial de la ciudad de Pereira*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Exactas.