



Identificación de las características geotécnicas y evaluación de riesgo de las construcciones realizadas sobre la ribera de la margen derecha del río Magdalena ubicadas dentro de la zona urbana del municipio de Girardot, Cundinamarca.

Juan David Hernández Caballero

Jose Eduardo Moreno Ospina

Faiver Steven Valbuena Guevara

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

Mayo de 2021

Identificación de las características geotécnicas y evaluación de riesgo de las construcciones realizadas sobre la ribera de la margen derecha del río Magdalena ubicadas dentro de la zona urbana del municipio de Girardot, Cundinamarca.

Juan David Hernández Caballero

Jose Eduardo Moreno Ospina

Faiver Steven Valbuena Guevara

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor(a)

Julián Fernando Figueroa Rodríguez

Ingeniero Civil,

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

Mayo de 2021

### **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico primeramente a Dios por darme sabiduría en cada etapa de mi proceso académico y así culminar mis estudios de manera exitosa.

A mis padres y en especial a mis abuelitas por el deseo de que me supere cada día como persona y el amor que me brindan, guiándome por el camino del bien, con el fin de poder honrar a mi familia con los conocimientos adquiridos, brindándome las facilidades con su esfuerzo para obtener un mejor mañana en mi vida.

A mi tío Jaime Hernández (QPD). A mi tía María Eugenia Hernández (QPD), por sus consejos y palabras de aliento que me motivaron a no rendirme en esta etapa de mi vida, A mi hermanita por su amor y apoyo incondicional creyendo en mis capacidades de poder cumplir mis metas.

**Juan David Hernández Caballero**

Este proyecto se lo dedico a Dios que me acompañó durante esta etapa de mi vida bendiciéndome con la sabiduría en cada paso que di en mi formación profesional.

A mi madre y a mi padre que los amo demasiado, a ellos que me forjaron para ser una gran persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor.

A mi hermana y mi sobrino que los amo mucho, que siempre ha estado conmigo apoyándome a lo largo de mi carrera.

**Jose Eduardo Moreno Ospina**

Este proyecto se lo dedico a mis padres que es un reflejo de lo mucho que me ayudaron e impulsaron a culminar esta carrera.

A mi hermana y sobrina que estuvieron ahí para alentarme en momentos que pude llegar a sentirme afligido.

A Dios por bendecirme en sabiduría y paciencia para llevar a cabo este proyecto.

**Faiver Steven Valbuena Guevara**

### **Agradecimientos**

Agradezco a todos los docentes e ingenieros de la corporación universitaria minuto de Dios (centro regional Girardot) por compartir sus conocimientos teniendo en cuenta la ética y la moral para llegar a ser un profesional integro; Agradezco al Ingeniero Julián Grimaldo tutor de este proyecto, ya que sin su asesoría hubiese sido más complejo culminar nuestro trabajo; A mi familia en general por el apoyo brindado en los momentos difíciles de la carrera.

**Juan David Hernández Caballero**

A mi madre y a mi padre, gracias por todo el apoyo y gran amor que siempre me brindan y el gran esfuerzo que han hecho para que yo obtenga este logro; Agradezco a mi familia en general por el apoyo incondicional para llegar a este logro, A mis amigos por estar ahí en los momentos buenos y malos que tuvimos que pasar en este trayecto y que siempre me motivaron a seguir adelante; A todos los Docentes de la Minuto, quienes con su experiencia y sabiduría forjaron el criterio profesional, al Ing. Julián Fernando Grimaldo por el asesoramiento y el acompañamiento para la realización de este trabajo.

**Jose Eduardo Moreno Ospina**

A mis padres, hermana y sobrina que ahí apoyándome de diferentes formas y maneras para cumplir este tan anhelado objetivo; A mi tío y su esposa quienes me ayudaron y me apoyaron para no dejar de luchar por conseguir este objetivo

A los Docentes de la UNIMINUTO por sus aportes en conocimientos y como profesionales, para poder convertirme en un profesional ético y responsable. Al ingeniero JULIAN GRIMALDO quien fue nuestro tutor y estuvo allí apoyándonos con este proyecto final sin objeción alguna, sin su ayuda pude llegar a ser más complicado tener este proyecto; A mis amigos, mi pareja y todas aquellas personas que creyeron en mi para culminar esta carrera, quienes siempre estuvieron apoyándome, escuchándome Apesarar de las dificultades las noches largas siempre estuvieron para Alentarme.

**Faiver Steven Valbuena Guevara**

## Contenido

Lista de tablas .....	8
Lista de figuras .....	9
Lista de anexos.....	10
Resumen .....	11
Abstract.....	12
Introducción.....	13
CAPÍTULO I .....	14
1 Planteamiento del Problema .....	14
CAPÍTULO II .....	15
2 Justificación.....	15
CAPÍTULO III .....	16
3 Objetivos.....	16
3.1 Objetivo general.....	16
3.2 Objetivos específicos .....	16
CAPÍTULO IV.....	17
4 Marco Referencial.....	17
4.1 Marco teórico.....	17
4.1.1 Generalidades .....	17
4.1.2 Zonificación geotécnica.....	17
4.1.3 Estudio geotécnico .....	18
4.1.4 Sistema geotécnico .....	19
4.1.5 Características principales del suelo.....	20
4.1.6 Principales tipos de suelo según la mecánica de suelos.....	20
4.1.7 Propiedades físicas y mecánicas de los suelos.....	22
4.1.8 Tipos de sondeos .....	26
4.1.9 Ensayo de Penetración Estándar (SPT) .....	27
4.1.10 Amenazas naturales en evaluaciones geotécnicas.....	28
4.2 Marco conceptual .....	29
4.3 Estado del arte .....	33

4.4	Marco legal .....	42
CAPÍTULO V.....		44
5	Metodología.....	44
5.1	Diseño comparativo .....	44
5.1.1	Fase 1. Diagnóstico y caracterización de la zona de estudio .....	44
5.1.2	Fase 2. Determinación de posibles riesgos y amenazas en la región .....	45
5.1.3	Fase 3. Caracterización de muestras de terreno .....	45
5.1.4	Fase 4. Construcción de informe final .....	46
5.2	Variables e indicadores .....	46
5.3	Procesos y procedimientos.....	47
5.3.1	Investigación de subsuelo .....	47
5.3.2	Ensayo de penetración estándar .....	48
5.3.3	Ensayo de laboratorio .....	50
CAPÍTULO VI.....		51
6	Resultados.....	51
6.1	Descripción de la zona de estudio .....	51
6.1.1	Localización del proyecto.....	52
6.2	Caracterización geológica .....	52
6.2.1	Formación San Juan de Rio Seco o Gualanday (Tisj2).....	53
6.2.2	Grupo Honda (T6, T6a).....	53
6.2.3	Formación Guadalupe (Kg). .....	53
6.2.4	Depósitos recientes y terrazas (Q).....	54
6.3	Unidades geológicas .....	54
6.3.1	Rocas .....	54
6.3.2	Entorno geológico regional del proyecto.....	54
6.4	Clima .....	55
6.4.1	Caudal pico de aguas lluvias .....	56
6.5	Diseño sísmico.....	58
6.5.1	Nivel de amenaza sísmica .....	61
6.5.2	Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar.....	61
6.5.3	Efectos locales.....	62
6.6	Sondeos exploratorios .....	64

6.6.1	Número mínimo de sondeos .....	65
6.6.2	Localización del sondeo .....	65
6.7	Laboratorios .....	66
6.7.1	Características del material del sondeo .....	66
6.7.2	Descripción de los suelos .....	68
6.8	Factores de inestabilidad del talud .....	72
6.8.1	Parámetros geométricos.....	72
6.8.2	Parámetros hidrológicos e hidrogeológicos.....	73
6.8.3	Tipo de falla presentada .....	73
6.8.4	Condiciones de empuje del suelo .....	74
CAPÍTULO VII.....		76
7	Análisis y discusión de resultados.....	76
7.1	Condiciones generales .....	76
7.2	Rasgos geológicos .....	76
7.3	Características climatológicas .....	77
7.4	Amenazas naturales.....	78
7.5	Método exploratorio.....	79
7.6	Propiedades obtenidas en el laboratorio .....	79
7.7	Aspectos condicionantes del talud .....	80
CAPÍTULO VIII.....		81
8	Conclusiones .....	81
CAPÍTULO IX.....		83
9	Recomendaciones.....	83
Referencias.....		84
Anexos.....		87

**Lista de tablas**

Tabla 1 Aplicabilidad del SPT en tipos de suelos .....	27
Tabla 2 Listado general de amenazas .....	28
Tabla 3 Normas representativas del estudio geotécnico .....	42
Tabla 4 Coeficiente de impermeabilidad. ....	58
Tabla 5 Valores de caracterización para zonas de riesgo. ....	60
Tabla 6 Valores del coeficiente $F_a$ , para la zona de periodos cortos del espectro.....	60
Tabla 7 Valores del coeficiente $F_v$ , para la zona de periodos intermedios del espectro.....	61
Tabla 8 Clasificación de los perfiles de suelo .....	62
Tabla 9 Clasificación de las unidades de construcción por categorías .....	65
Tabla 10 Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción .....	65
Tabla 11 Relación de golpes en la perforación .....	67
Tabla 12 Porcentaje de humedad en las muestras.....	69
Tabla 13 Límites de Consistencia según pruebas de laboratorio.....	69
Tabla 14 Ángulos de fricción .....	70
Tabla 15 Capacidad portante admisible .....	70
Tabla 16 Variabilidad de la capacidad portante .....	70
Tabla 17 Empuje del suelo en condición activo según Rankine.....	74
Tabla 18 Empuje del suelo en condición pasivo según Rankine.....	74
Tabla 19 Empuje del suelo en condición activo según Coulomb.....	75
Tabla 20 Empuje del suelo en condición pasivo según Coulomb. ....	75

## Lista de figuras

Figura 1 Tubo partido y sus posibles dimensiones .....	48
Figura 2 Localización general del Municipio de Girardot .....	51
Figura 3 Localización del proyecto.....	52
Figura 4 Mapa geológico de la región.....	54
Figura 5 Climograma Girardot.....	55
Figura 6 Diagrama de temperatura de Girardot .....	56
Figura 7 Precipitaciones registradas en Girardot.....	57
Figura 8 Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño .....	59
Figura 9 Coeficiente de amplificación $F_a$ del suelo para la zona de periodos cortos del espectro: .....	63
Figura 10 Espectro de diseño según la NSR - 10 .....	64
Figura 11 Ubicación geográfica del sondeo .....	66
Figura 12 Perfil del suelo.....	67
Figura 13 Relación de golpes en el Ensayo SPT.....	68
Figura 14 Capacidad portante admisible .....	72

**Lista de anexos**

Anexo 1 .....	87
Anexo 2 .....	88
Anexo 3 .....	89
Anexo 4 .....	98

## Resumen

Este proyecto de investigación se realizó con el fin de reconocer las características geotécnicas del área ubicada sobre la margen derecha del río Magdalena, en la zona urbana del municipio de Girardot, evaluando aquellos aspectos que podrían afectar las condiciones actuales de las construcciones que aquí se desarrollaron y analizando cuales amenazas naturales comprometerían la estabilidad de la zona, ocasionando impactos negativos sobre toda la población.

Para llevarlo a cabo, inicialmente se elaboró una revisión bibliográfica de material técnico y académico en las plataformas institucionales y una recolección de documentos producidos por los entes gubernamentales, acordes al tema de investigación. Luego de este primer paso, se hicieron una serie de visitas de campo para reconocer los puntos más vulnerables de la zona de estudio. Posteriormente, se ejecutó un sondeo para la recolección de las muestras de suelo siguiendo la normatividad establecida. Finalmente, se midieron las propiedades del suelo que pueden afectar las condiciones de material depositado y se relacionó dichos resultados con aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos que alterarían el comportamiento natural de las estructuras.

Una vez analizada toda la información se pudo establecer que la capa de suelo depositada está conformada por arena bien gradada en la parte superior y arcilla de baja compresibilidad con buenas condiciones de humedad y plasticidad para ofrecer soporte a las obras ya construidas. Pese a esto, las alteraciones que ha sufrido el material debido al procesos de inundación, erosión y remoción son evidentes, condicionando la vulnerabilidad del área en futuros eventos naturales.

*Palabras clave: Amenaza, desastre, estabilidad, humedad, inundación, riesgo, sismicidad, talud.*

### **Abstract**

This research project was carried out in order to recognize the geotechnical characteristics of the area located on the right bank of the Magdalena River, in the urban area of the Girardot municipality, evaluating those aspects that could affect the current conditions of the constructions that were developed here and analyzing which natural hazards would compromise the stability of the area, causing negative impacts on the entire population.

To carry it out, initially a bibliographic review of technical and academic material was prepared in institutional platforms and a collection of documents produced by government entities, according to the research topic. After this first step, a series of field visits were made to identify the most vulnerable points in the study area. Subsequently, a survey was carried out to collect the soil samples following the established regulations. Finally, the properties of the soil that can affect the conditions of deposited material were measured and these results were related to geological, geomorphological and hydrological aspects that would alter the natural behavior of the structures.

Once all the information had been analyzed, it was possible to establish that the deposited layer of soil is made up of well graded sand on the upper part and low compressibility clay with good humidity and plasticity conditions to offer support to the works already built. Despite this, the alterations that the material has suffered due to the processes of flooding, erosion and removal are evident, conditioning the vulnerability of the area in future natural events.

*Keywords: Threat, disaster, stability, humidity, flood, risk, seismicity, slope.*

## Introducción

Uno de los pilares establecidos por la gran mayoría de gobiernos departamentales y locales en el país es indudablemente la adecuación y evolución de los Planes de Ordenamiento Territorial **POT** con miras a establecer proyectos que mejoren aspectos económicos, sociales, ambientales y de sostenibilidad de los territorios. El municipio de Girardot no es la excepción y durante los últimos periodos de gobernabilidad se ha sumido el compromiso de orientar los procesos, estipulando un conjunto de acciones políticas y administrativas enfocadas en regular la utilización, ocupación y formación del espacio físico urbano y rural.

Sin embargo, un sinnúmero de eventos de tipo social y económico, no permiten que en la región se desarrollen la cantidad de proyectos necesarios para reconocer las zonas más vulnerables y las posibles soluciones a aquellos problemas que las afectan. Aunque el municipio durante el año 2011 llevó a cabo la modificación del POT y reconoció la importancia de analizar las condiciones actuales de las áreas expuestas a mayores riesgos, no se ha ejecutado de forma concisa un plan de valoración de los aspectos que han podido verse afectados por la expansión territorial, el aumento de la población y los usos asignados al suelo.

Girardot es un municipio localizado en la región Andina y es la segunda ciudad más importante del departamento, su ubicación estratégica y alineación junto al río Magdalena la convirtieron en un corredor de vital importancia para la estabilidad económica de la región. Es precisamente esa ubicación específica dentro del valle superior la que también establece un grado de amenaza latente que puede afectar drásticamente a la población, si no se cuentan con estrategias de prevención y control de desastres apropiadas. Movimientos sísmicos, inundaciones, remociones en masa, erosiones, deslizamientos, son algunos de los procesos naturales que podrían alterar las características generales del área que se establece en esta investigación.

## CAPÍTULO I

### 1 Planteamiento del Problema

El municipio de Girardot en el departamento de Cundinamarca históricamente se ha reconocido por ser uno de los principales puertos fluviales del río grande de la Magdalena, siendo precisamente esta condición la que promovió la construcción de las primeras viviendas sobre la ribera del mismo. Con el avance y transformación de la ciudad se aumentó considerablemente el número de construcciones cercanas a la margen derecha del río y los asentamientos instaurados en la zona se hicieron más numerosos.

Las administraciones municipales durante las últimas décadas han considerado evaluar los posibles riesgos a los que se encuentran expuestos los habitantes de la zona y se han llevado a cabo una serie de proyectos que buscan trasladar a esta población a sectores de la ciudad menos vulnerables. Sin embargo, son varios los motivos de carácter social, ambiental y económicos que no permiten una completa reubicación de aquellos residentes.

Aunado a lo anterior hasta la fecha no se ha elaborado un estudio que permita caracterizar las condiciones del suelo actuales y posibles amenazas de tipo geotécnico presentes en el terreno que conforma la rivera de esta margen derecha; por lo tanto, se desconocen los efectos generados sobre las construcciones y las posibles afectaciones que podrían sufrir en un futuro cercano.

Por tanto, esta investigación permitirá realizar la caracterización del suelo y su resistencia, así como determinar las circunstancias actuales de vulnerabilidad, que permitan formular estrategias encaminadas a la prevención de riesgos a corto, mediano y largo plazo.

De aquí surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué tipos de amenazas geotécnicas podrían afectar las construcciones realizadas sobre la ribera de la margen derecha del río Magdalena ubicadas dentro de la zona urbana del municipio de Girardot, Cundinamarca?

## CAPÍTULO II

### 2 Justificación

La cuenca del Valle Superior del Magdalena (VSM) es una estrecha depresión que se encuentra orientada en sentido SSW – NNE, ubicada a lo largo del Valle Superior del Río Magdalena en medio de los flancos de la Cordillera Central y la Cordillera Oriental, su extensión abarca un área de 21.600 Km<sup>2</sup> y ocupa áreas de los departamentos de Cundinamarca, Tolima, Huila, Cauca y Putumayo.

En este sector de estudio se hace indispensable considerar, que por los ambientes de depositación, los procesos internos terrestres de origen tectónico, la actividad sísmica a la que se encuentra comprometida la zona, los movimientos en masa que se han ocasionado en los últimos 10 años, las caídas de material y los flujos que aumentan considerablemente durante dos grandes periodos del año; Girardot y específicamente las construcciones sobre la margen derecha del río Magdalena podrían estar siendo afectadas por múltiples amenazas naturales y de estabilidad, que deben ser reconocidas con suficiente tiempo para evitar desastres posteriores.

Por lo anterior si no se cuenta con información detallada sobre aspectos de caracterización del suelo, capacidad geotécnica y estabilidad que permitan a las entidades territoriales encargadas de la evaluación de riesgos y desastres, aplicar estrategias que busquen minimizar los impactos que podrían ocasionar los eventos anteriormente mencionados, la ciudadanía en general se encuentra en un grave estado de vulnerabilidad por desconocimiento que conllevaría a graves resultados. Son entonces, estos los motivos más significativos que han llevado a que se plantee esta propuesta de investigación.

## CAPÍTULO III

### 3 Objetivos

#### 3.1 Objetivo general

Evaluar las condiciones geotécnicas del material que conforma los depósitos en la rivera de la margen derecha del río Magdalena dentro de la zona urbana del municipio de Girardot.

#### 3.2 Objetivos específicos

Elaborar un análisis de las condiciones geotécnicas de la subcuenca de Girardot perteneciente al Valle Superior del Magdalena considerando los estudios realizados anteriormente.

Determinar los posibles riesgos y amenazas naturales de tipo geotécnico, a los que se encuentran expuestos tanto las construcciones como los residentes de la zona de estudio.

Realizar la caracterización de muestras de terreno actuales, tomadas en los puntos con mayor índice de vulnerabilidad identificados mediante la evaluación de riesgos y amenazas.

## CAPÍTULO IV

### 4 Marco Referencial

#### 4.1 Marco teórico

##### 4.1.1 Generalidades

El análisis de las características de un terreno y la evaluación de riesgos posibles que afectan el desarrollo de proyectos, entre ellos los deslizamientos, la remoción en masa o las fallas geotécnicas, es un tema de investigación recurrente y además antiguo en los trabajos de ingeniería. Considerando los modelos de organización de los territorios se hace necesario que exista una delimitación de los mismos que, establezca los posibles usos; esta delimitación se conoce como ordenamiento territorial o zonificación (López y Robayo, 2007).

Para aquellos casos en los que se planean desarrollar actividades que requieren de investigación en el campo del ordenamiento territorial, es imprescindible realizar una Zonificación Geotécnica. La importancia de este proceso recae en la falta de cobertura de los principios que definen la tipificación o caracterización, ocasionando que el suelo asignado para fines de ingeniería pueda ser utilizado adecuadamente.

##### 4.1.2 Zonificación geotécnica

Es una herramienta que permite la definición de zonas territoriales con un manejo o destino homogéneo que, posteriormente se someterán a normas de uso con el fin de cumplir los objetivos establecidos en dicha área (Téllez, 2017). En palabras de Forero y Dueñas (1994) la zonificación geotécnica consiste en delimitar sectores relativamente homogéneos, con características físico-mecánicas similares, donde se identifican parámetros fundamentales que prevén algunos problemas constructivos que pueden presentarse.

Se presenta como un importante instrumento técnico que permite definir aspectos como: estimación de grado de amenaza por factores naturales, caracterización geotécnica de suelos y rocas,

identificación y caracterización de las fuentes de materiales de construcción, definición de la estabilidad posible de cada zona ante obras civiles como edificios o vías, y llegar al uso recomendado del suelo desde el punto de vista de estabilidad (López y Robayo, 2007).

#### **4.1.3 Estudio geotécnico**

Según el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR 10 en su título H, un estudio geotécnico es el conjunto de actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de la edificación, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de proteger vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas.

**4.1.3.1 Tipos de estudios geotécnicos.** *“En general se consideran dos tipos de estudios geotécnicos: A nivel preliminar, para obtener una aproximación a las características geotécnicas de un terreno, para establecer la factibilidad de construcción de un proyecto, incluyendo amenazas geotécnicas, criterios generales de cimentación y obras de adecuación del terreno. A nivel definitivo, con fines de diseño y construcción para un proyecto específico, de acuerdo con las normas del título H de la NSR 10” (Polo, 2000).*

**4.1.3.2 Alcances y contenidos de los estudios geotécnicos.** El estudio geotécnico comprende dos aspectos fundamentales:

- Investigación de subsuelo: el cual abarca el estudio y conocimiento de su origen geológico, la exploración de campo y los ensayos de campo y laboratorio necesarios para cuantificar las características físicas mecánicas e hidráulicas del subsuelo.
- Análisis de Ingeniería: comprende la interpretación técnica que permita la caracterización del subsuelo y la evaluación de los posibles mecanismos de falla que

hagan posible suministrar los parámetros y las recomendaciones necesarias para el diseño y la construcción de las cimentaciones y otras relacionadas con el subsuelo.

#### **4.1.4 Sistema geotécnico**

Según López y Robayo (2007), en el proceso previo de evaluación de condiciones geotécnicas de un terreno, se emplea el concepto sistemático, que considera el medio físico como un sistema de elementos correlacionados que actúan entre sí. Es decir, el medio donde se construyen las obras y que sirven como fundación de los mismos se caracteriza por la gran cantidad de elementos que lo componen (rocas, suelos, agua, gases, minerales, etc.), y que se encuentran en el área de influencia.

Para Tchomodanova (1998), existen dos conceptos básicos que entran a hacer parte de un sistema geotécnico que son: Medio Geológico y Proyecto Técnico; los cuales se encuentran constituidos por elementos tales como rocas, depósitos no consolidados, procesos geodinámicos que conforman el relieve y aguas subterráneas, que pueden definir la susceptibilidad del área de intervención del terreno, como su estabilidad y riesgo que corre por fenómenos naturales.

“El conocimiento preciso de las propiedades mecánicas del suelo donde se pretende edificar y de las condiciones físicas del ambiente, constituyen el mejor medio de prevención ante desastres naturales que pueden causar graves daños a las obras civiles y a los seres humanos que las habitan” (Servicio Geológico Mexicano, 2013). Para esta institución existen tres conceptos fundamentales que se deben considerar cuando se habla de caracterización geotécnica:

“**La hidrología**, que se encarga de estudiar el comportamiento del agua en el ambiente geológico según las leyes de la hidráulica, comprende la hidráulica de pozos, es decir de perforaciones para obtener agua con diferentes fines y el control de su comportamiento en el entorno, según el tipo de material perforado. **Los Aspectos Geológicos**, ya que las formaciones geológicas definen la estructura, composición y desarrollo del material rocoso que compone el subsuelo (litosfera), permitiendo orientar el uso de los recursos minerales que tiene el territorio y determinar mediante el

estudio de los procesos geológicos los posibles riesgos y amenazas que puedan presentarse en el municipio y **los Aspectos Geomorfológicos**, que ayudan en la resolución de problemas relacionados con las obras de ingeniería, basados en las observaciones directas e indirectas del relieve, el estudio de las rocas que lo conforman y la dinámica de los procesos endógenos y exógenos”.

#### **4.1.5 Características principales del suelo**

Existen varias definiciones para el suelo teniendo en cuenta el uso o interés que se le otorgue, en Ingeniería, según Iriondo (2014), “el suelo es un agregado natural de partículas separables por medios mecánicos de poca intensidad”. Al suelo lo caracteriza una sección denominada perfil, el cual se forma debido a la acción de agentes generadores; estos agentes pueden ser la desintegración mecánica y la descomposición química. El primero se refiere al deterioro de las rocas en la intemperie por fenómenos como, los cambios bruscos en la temperatura, la congelación de juntas y grietas y la evolución de la vegetación al interior de las mismas, formando arenas o limos y en casos especiales arcillas. El segundo, es la modificación de la constitución mineralógica o química debido a la oxidación, hidratación y carbonatación, produciendo arcillas en zonas húmedas o cálidas, mientras que en zonas más frías producen formaciones arenosas o limosas más gruesas (Badillo y Rodríguez, 2014).

Para el autor Iriondo (2014), el suelo puede dividirse en solo dos clases: suelo residual y suelos transportados. El suelo residual es el producto de los agentes de intemperismo y se encuentra todavía en su lugar de origen, por el contrario, los suelos transportados, han sido movidos del lugar de origen por cualquier agente de transporte. En la naturaleza existen numerosos agentes transportadores, principalmente el viento, los ríos, los glaciares, los mares y las fuerzas de gravedad.

#### **4.1.6 Principales tipos de suelo según la mecánica de suelos**

Las definiciones que se plantean a continuación sobre los suelos más comunes, son tomadas del libro “Soil mechanics in engineering practice “de Terzaghi y Mesri (1995):

- **Gravas:** son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas, que tiene más de 2 mm de diámetro. En el caso de que sean acarreadas por las aguas, las gravas toman una forma redondeada; como material suelto se encuentran comúnmente en los lechos, en las márgenes y en los conos de deyección de los ríos, o en aquellas depresiones de terreno rellenadas por el acarreo de material.
- **Arenas:** este nombre lo reciben los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, cuyas partículas tienen un diámetro entre 2 mm y 0,05 mm. Normalmente este tipo de material se encuentra junto a las gravas debido a su origen; en el caso de la arena de río, contiene proporciones relativamente grandes gravas y arcillas. No son fácilmente contraíbles al secarse si se encuentran limpias, no son plásticas y son menos compresibles que las arcillas.
- **Limos:** son suelos de granos finos con muy baja plasticidad, se dividen en limos inorgánicos como el producido en las canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos. El diámetro de las partículas denominadas limos está comprendido entre 0,05 mm y 0.005 mm. Los limos sueltos y saturados son bastante inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas. La permeabilidad de este material es muy baja y su compresibilidad muy alta. Al no encontrarse en estado denso, son considerados a menudo como suelos pobres para cimentar.
- **Arcillas:** reciben este nombre las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. De forma química se define como un silicato de alúmina hidratado, aunque a veces contiene silicatos de hierro o de magnesio hidratados. De acuerdo con su arreglo reticular los minerales de arcilla se pueden clasificar en tres grupos básicos, que son: el caolínico, el montmorilonítico y el ilítico.

#### **4.1.7 Propiedades físicas y mecánicas de los suelos**

Son los criterios que permiten diferenciar entre sí, las partículas de los suelos de forma apropiada según sea su clasificación. Se relaciona con el comportamiento de las masas durante la construcción de las obras. Para Terzaghi (1995), las propiedades de los suelos se pueden dividir en dos clases, propiedades de los granos y propiedades de los agregados. Tamaño, forma y características mineralógicas se deben determinar para la primera clase y densidad relativa, cohesión y consistencia para la segunda.

Para el caso de nuestra investigación vamos a destacar las propiedades del suelo que más influyen en el comportamiento de estos, considerando las condiciones de la zona de estudio.

**4.1.7.1 Peso específico.** Los suelos, en su parte sólida están constituidos por partículas dispersas de una manera determinada, que forman una estructura porosa configurando la masa. Los análisis de las partículas de suelo demuestran que su peso específico varía desde  $2,65 \text{ kg/dm}^3$  para las arenas hasta  $2,9 \text{ kg/dm}^3$  en arcillas, sin incluir aquellos suelos orgánicos o los que contienen diatomeas. En cuanto al aprovechamiento de esta propiedad en los proyectos de obra, se puede decir que, la información que en realidad es significativa es la que determina el peso unitario de ese suelo en consideración (Peso/Volumen) y permite mediante él, calcular la tensión que soporta una masa de suelo a una determinada profundidad (Leoni et al., 2015).

**4.1.7.2 Tamaño.** La composición por tamaño de las partículas (granulométricas) de un suelo, es el porcentaje de materia mineral en peso de cada fracción, la cual se obtiene por separación de las partículas minerales en dos o más clases por tamaño mutuamente excluyentes. Para propósitos prácticos se han establecido algunos límites en cuanto al tamaño de las partículas. Comúnmente en los suelos se separan por lo menos tres clases por tamaño usualmente denominados arena, limo y arcilla. Para medir la composición se usa el procedimiento de análisis granulométrico (Rucks et al., 2004).

**4.1.7.3 Forma.** En este tipo de medición, se hace relevante encontrar la relación entre las características de las partículas y las propiedades del suelo. Según Badillo y Rodríguez (2014), la forma característica de un suelo grueso es la equidimensional, en la que las tres dimensiones de la partícula son de magnitud comparable; comúnmente se consideran las formas redondeada, subredondeada, subangulosa y angulosa. La forma redonda es la esférica, mientras que la angulosa es la que presenta aristas y vértices aguzados. En general, el porcentaje de partículas escamosas aumenta en un suelo dado, a medida que decrece el tamaño de las fracciones del mismo (Leoni et al., 2015).

**4.1.7.4 Textura.** La textura de un suelo es la sensación que éste produce al tacto, causada por los materiales minerales que lo constituyen. La textura del suelo está determinada sólo por el material mineral; no se considera en la textura el material orgánico. El material mineral del suelo está constituido de partículas de diverso tamaño. Las hay desde grandes (visibles a simple vista) hasta muy pequeñas (visibles sólo con un microscopio). Según el tamaño las partículas se clasifican en arenas, limos y arcillas; por lo tanto, para evaluar esta propiedad se cuantifican las proporciones (%) de los tres tipos de partículas y se determina la clase textural por medio del triángulo de texturas. Por esto, una vez concluida la medición, se acostumbra decir que la textura es el porcentaje que de arena limo y arcilla hay en un suelo (Largaespada y Henríquez, 2015).

**4.1.7.5 Estructura.** Está definida como el arreglo de las partículas del suelo. Se debe entender por partículas, no solo las que fueron definidas como fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas. Por lo tanto, "partícula" designa a toda unidad componente del suelo, ya sea primaria (arena, limo, arcilla) o secundaria (agregado o unidad estructural). Esta propiedad determina el espacio entre las mismas, que son predominantemente macroporosos. Según el nivel de observación, se puede hablar de macroestructura o microestructura (Agudelo, 2012).

**4.1.7.6 Consistencia.** Se refiere al grado de adherencia entre las partículas del suelo y a la resistencia a las fuerzas que tienden a deformar o romper el agregado del suelo. La consistencia en las arcillas y de otros suelos cohesivos, se describe con los términos: muy blandos, blandos, firmes, duros, muy duros. La medida cuantitativa más directa de la consistencia es la resistencia a la compresión, ya que resulta significativa en los suelos arcillosos saturados uniformes, como lo son en las arcillas marina o de origen glacial o de origen (residual, eolicofluvial, etc.) Las arcillas comparten muchas otras sustancias coloidales que le permiten perder resistencia por ablandamiento cuando son amasadas a un contenido inalterado de humedad (Terzaghi, 1996).

**4.1.7.7 Porosidad.** La porosidad del suelo está representada por el porcentaje de huecos existentes en el mismo frente al volumen total. Para Salas y Alpañes (1975) esta propiedad depende de la textura, de la estructura y de la actividad biológica del suelo. Cuanto más gruesos son los elementos de la textura mayores son los huecos entre ellos, salvo si las partículas más finas se colocan dentro de esos huecos o si los cementos coloidales los obturan. La porosidad, se expresa como el porcentaje del volumen del suelo ocupado por poros. O lo que es lo mismo, el porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos (Ruck et al., 2004).

**4.1.7.8 Humedad.** Los métodos e instrumentos que se utilizan para determinar la humedad del suelo se pueden dividir en dos grupos: métodos basados en la determinación del contenido de agua del suelo; y métodos que miden el potencial de agua del suelo. El contenido de agua del suelo es expresado como una relación entre la masa de agua contenida en una muestra de suelo y la masa seca de la muestra de suelo o el volumen original de la muestra. Estas dos expresiones están linealmente relacionadas por un coeficiente conocido como la densidad aparente del suelo muestreado. El potencial de agua del suelo se expresa como la energía potencial del agua contenida en el suelo y está integrado por el potencial gravitacional, el potencial de presión y el potencial osmótico (Sevruk, 1992).

**4.1.7.9 Plasticidad.** Según Villalaz (2005), la plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Para conocer la plasticidad de un suelo se determinan los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separó los cuatro estados de consistencia de los suelos coherentes. Dichos límites son: el Límite Líquido (L.L.), Límite Plástico (L.P.) y Límite de Contracción (L.C.), y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio.

- **Límite Líquido:** Contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico.
- **Límite Plástico:** Contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.
- **Límite de Contracción:** está definido como el por ciento de humedad con respecto al peso seco de la muestra, con el cual una reducción de agua no ocasiona la disminución en el volumen del suelo.

**4.1.7.10 Permeabilidad.** El movimiento del agua en el suelo depende de los flujos del agua, y éste a su vez depende de un balance energético llamado gradiente hidráulico. La permeabilidad se define como la capacidad de un material de permitir que un fluido pasa a través de él, sin alterar su estructura interna. El parámetro que determina esta propiedad es el coeficiente de permeabilidad  $k$  y para calcularlo existen diferentes metodologías, que pueden realizarse in situ o en laboratorio. La permeabilidad de un suelo se ve afectada por diversos factores inherentes tanto del suelo como a características del agua circulante. Los principales factores son: relación de vacíos de un suelo, temperatura del agua, estructura y estratificación del suelo, existencia de agujeros, fisuras, etc., en el suelo (Badillo y Rodríguez, 2005).

#### 4.1.8 Tipos de sondeos

Tomado como base la información planteada por Badillo y Rodríguez (2014), los principales tipos de sondeo que se utilizan en mecánica de suelos para fines de muestreo y del conocimiento del subsuelo son:

- Pozos a cielo abierto: Es uno de los métodos más utilizados y satisfactorios que se le hace al subsuelo; consiste en excavar un pozo dimensiones suficientes para que un técnico pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos del suelo en su estado natural. Presenta la desventaja de que cuando se encuentra nivel freático, se hace imposible retener los líquidos que se encuentran en el subsuelo, generando que en los pozos se tomen muestras alteradas e inalteradas.
- Perforaciones con barrenos: En este método las muestras son alteradas, pero suelen ser representativas del suelo en lo referente al contenido de agua, por lo menos en el suelo muy plástico. Los barrenos helicoidales pueden ser de muy diferentes tipos, no sólo dependiendo del suelo para atacar, sino también de acuerdo con la particularidad de cada perforista. Un factor muy importante es el paso de la hélice que se debe hacer muy cerrado para suelos arenosos y mucho más abierto para muestreo en suelos plásticos
- Métodos de lavado: Es uno de los más económicos y rápidos para conocer aproximadamente la estratigrafía del subsuelo, se usa para avanzar rápido comparado con otros métodos exploratorios. Las muestras generadas son muy alteradas, prácticamente no deben ser consideradas como suficientes para llevarlas a un laboratorio.

Dentro de los métodos expuestos por los autores también se encuentran los muestreos con tubos de pared delgada, los métodos rotatorios para rocas, los pozos a cielo abierto con muestreo

inalterado y el método de penetración cónica. Teniendo en cuenta que la investigación desarrollada plantea la extracción de las muestras por el Método de Penetración Estándar, se hace referencia.

#### **4.1.9 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)**

Este ensayo consiste en la inmersión en el fondo de un sondeo geotécnico de un toma-muestras normalizado unido a un tren de varillas, mediante el golpeteo en la cabeza de ellas con una masa de 63.5 kg, dejándolo caer desde una altura de 76 cm. Dicho golpeteo se contabiliza en tres o cuatro tramos de 15 cm de avance cada uno, denominándose valor N a la suma de los valores. Este procedimiento es uno de los más antiguos en geotecnia, su uso universal y durante décadas, en todo tipo de terrenos, ha permitido establecer numerosas correlaciones con otros parámetros geotécnicos, así como la difusión de fórmulas empíricas para cálculos directos de capacidad portante y asentamientos, entre otros. Normalizado por la ASTM 1586.

Según investigaciones realizadas a nivel mundial, llevadas a cabo en laboratorio, la aplicabilidad del método SPT en relación con los parámetros del subsuelo se pueden ver reflejados en la siguiente tabla:

**Tabla 1**  
*Aplicabilidad del SPT en tipos de suelos*

PARÁMETROS	APLICABILIDAD DEL SPT
Tipo de suelo	B
Perfil estratigráfico	B
Densidad relativa	B
Módulo de Elasticidad E	N
Módulo de Corte G	N
Compresibilidad Cc	C
Consolidación Cv	N
Permeabilidad K	N
Resistencia	A

Tabla 1. Elaborado por (Campanella R.G. and Robertson P.K., 2000)

Las referencias sobre la aplicabilidad son las siguientes:

A: Aplicabilidad alta

B: Aplicabilidad moderada

C: Aplicabilidad limitada

N: Aplicabilidad nula

#### **4.1.10 Amenazas naturales en evaluaciones geotécnicas**

Según los aspectos a considerar durante la elaboración de un estudio de evaluación geotécnica y amenazas naturales asociadas a proyectos de obras civiles definidos por Mora et al. (2009) en su estudio elaboradora en Costa Rica; las amenazas se pueden clasificar de acuerdo a su origen en: amenazas geológicas y amenazas hidrometeorológicas. Las amenazas geológicas son las causadas por procesos geológicos como actividad sísmica, deslizamientos y actividad volcánica. Las amenazas hidrometeorológicas son causadas por procesos meteorológicos, fluviales y costeros. En el siguiente cuadro se presenta una lista generalizada de las amenazas que, se recomienda, deben considerarse:

**Tabla 2**

*Listado general de amenazas*

Amenazas Geológicas	Amenazas Hidrometeorológicas
<b>Amenaza sísmica</b>	Amenazas fluviales
Aceleración del terreno	<b>Inundaciones</b>
Ruptura superficial	Socavación del lecho
Licuefacción	Erosión y migración de corrientes
Asentamiento diferencial	Erosión en surcos
Deslizamientos	Carcavamiento
Reptación de fallas	<b>Sedimentación</b>
Desplazamientos laterales	
Tsunamies	Amenazas costeras
	Inundaciones
<b>Movimientos en masa</b>	Erosión costera
<b>Deslizamientos</b>	Acumulación costera
Caídas	Oleadas de tormenta
Basculamientos	Subsidencia costera/ascenso nivel del mar
Deslizamientos rotacionales	Deslizamientos submarinos

---

Deslizamientos trasnacionales	
Desplazamientos laterales	Otros
Flujos	De origen eólico
Deslizamientos compuestos	De origen cósmico
Reptación	
Subsidencia	
<b>Asentamientos</b>	
Amenaza volcánica	
Flujos de lava	
Flujos de detritos	
Flujos piroclásticos	
Avalanchas de detritos	
Lahares	
Explosiones laterales y oleadas piroclásticas	
Bombas y proyectiles balísticos	
Caída de cenizas	
Tsunamies	
Inundaciones	
Gases volcánicos	
Temblores volcánicos	

---

Tabla 2. Elaborado por Mora et al., (2009).

#### 4.2 Marco conceptual

**Amenaza.** Peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes, servicios y / o el ambiente (Cardona, 1993).

**Afloramiento.** Área total en la que aparece una unidad litológica particular. El término se aplica especialmente a la delimitación de tal área en el Mapa Geológico (Instituto Geológico y Minero de España, 2007).

**Arcilla Expansiva.** Estas arcillas sencillamente presentan cambios de volumen al variar el contenido de humedad, al encontrarse confinada generan grandes presiones lo que manifiesta un potencial de expansión (Beltrán, sf.)

**Arcillolita.** Roca sedimentaria clástica producto de la diagénesis de la arcilla que se da en ambientes lacustres, así como también en ambientes de transición (Rodríguez y Velandia, 2016).

**Arenisca.** Roca sedimentaria clástica, resultado de la consolidación y diagénesis de la acumulación de arena. De acuerdo con el contenido de sus elementos o de su cementante, puede tomar diferentes denominaciones como Arcosa, grauwaca, entre otras (Moreno et al., 2012).

**Bloque.** Unidad rocosa rígida relativamente estable. Fragmento de roca de dimensiones superiores a 20 cm. de diámetro. El tamaño y composición de los bloques es de interés para los geólogos y geomorfólogos a fin de definir el tipo de suelo y su origen, y en ingeniería civil para tener conocimiento del lugar donde asentarán sus obras, así como el material que tendrán a su disposición (Dávila, 2011).

**Denudación.** Se refiere a la meteorización de las masas de roca continentales expuestas y al desgaste del regolito resultante, por acción combinada de las fuerzas de desplazamiento y de los agentes geomorfológicos, con el consecuente remodelado y paulatina reducción de la superficie terrestre (Villota, 2005).

**Depositación.** Al disminuir la velocidad del viento o al encontrarse las partículas con una barrera estas caen o se sedimentan por acción de las fuerzas de gravedad (Díaz, 2001).

**Desprendimiento.** Movimiento del suelo producido por el aumento de la velocidad del viento, esta se encuentra en 20 km/h. El movimiento del suelo por acción del viento es un resultado de la turbulencia de la velocidad. La velocidad requerida al iniciar el movimiento aumenta, al aumentar el tamaño de las partículas (Gray y Sotir, 1996).

**Escorrentía.** Transporte de suelos desprendidos por la lluvia y arrastre de materiales sueltos (Díaz, 2001).

**Formación.** Conjunto de rocas o masas minerales con caracteres geológicos y paleontológicos comunes (Diccionario Enciclopédico Larousse, 2009).

**Fuerza de cohesión.** La cohesión es la fuerza de atracción que mantiene unidas a las moléculas de una misma sustancia (Terán, 2014).

**Fuerza de fricción:** Fuerza de rozamiento que es paralela a la dirección del movimiento en la superficie de apoyo, es opuesta al deslizamiento relativo y su valor depende de la carga (fuerza Normal) que presiona las superficies en contacto. (Martínez, 2011).

**Geología.** Es la que determina la red hidrográfica y el tipo de roca y suelo que predominan en una región. Para realizar prácticas de conservación y restauración de suelos debe conocerse primordialmente el material de origen de los suelos (Perico, 2006)

**Geomorfología.** Trata de la forma que posee la corteza terrestre. La geomorfología se relaciona estrechamente con algunos factores formantes del suelo. (Clima, relieve, tiempo de formación de los suelos) La geomorfología suministra datos de carácter práctico como condiciones de drenaje, peligro de erosión o deslizamientos, presencia de materiales de construcción (Perico, 2006).

**Ladera.** Término descriptivo usado en geomorfología para designar los terrenos inclinados de una cadena montañosa, o para las pendientes de cualquier tipo de elevación de terreno (Dávila, 2011).

**Limolita.** Es una roca compuesta por fragmentos de limo, consolidados y diagenizados. La limolita es de origen sedimentario, clástico (Pérez, 1992).

**Lodolita.** Roca formada por la consolidación de partículas finas, arcillas de color gris oscuro, a veces verdoso. Las lodolitas se forman generalmente en las desembocaduras de los ríos (Pérez, 1992).

**Riesgo.** Es la probabilidad de ocurrencia de unas consecuencias económicas, sociales, ambientales o de otra índole, en un sitio particular y durante un tiempo de exposición determinado. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Se puede clasificar en alto, medio y bajo a través de su respectiva zonificación (Cardona, 1993).

**Sedimentos.** Los sedimentos pueden clasificarse en dos grandes categorías, sedimentos cohesivos y sedimentos no cohesivos. Los sedimentos no cohesivos comprenden los cantos y bloques, gravas y arenas y los cohesivos son esencialmente mezclas de limos y arcillas (Díaz, 2001).

**Licuefacción.** Se dice que es la transformación de un suelo del estado sólido al líquido; es el resultado del incremento de la presión de poros lo que produce una reducción de la resistencia al corte (Mora y Yasuda, 1994).

**Licuefacción Espontanea.** Al decir espontanea se dice entonces que es la pérdida súbita de la resistencia al corte de un suelo (Sánchez, 2013).

**Saturación.** El grado de saturación refleja la cantidad de agua contenida en los poros de un volumen de suelo dado. Se expresa como una relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos (Andino, 2007).

**Suelo.** Es aquella delgada capa, de pocos centímetros hasta algunos metros de espesor, de material terroso, no consolidado, que se forma en la interfase atmósfera – biosfera – litosfera (Jaramillo et al., 1994).

**Suelo granular.** Las partículas de suelo no tienden a juntarse ni a adherirse, sus partículas son relativamente grandes como las gravas, arenas y limos (Rucks, 2004).

**Suelos Expansivos.** Estos sufren cambios de volumen por humedecimiento y secado. Se encuentran principalmente en regiones áridas y su contenido de arcilla es considerable (Rucks, 2004).

**Suelo Activo.** Este suelo también presenta cambios considerables de volumen y de su comportamiento mecánico en respuesta a los cambios en el contenido de humedad. Presenta valores elevados de capacidad en el intercambio catiónico, límite líquido, índice de plasticidad y potencial de expansión (Hidalgo et al., 2015).

**Suelos Colapsables.** En general son suelos arenosos o limosos que pueden experimentar una pérdida instantánea de resistencia al corte y disminuye su relación de vacíos al ser saturados bajo una carga dada (Torres, 2019).

**Zonificación.** División por zonas del área urbana, suburbana o rural de un municipio, según sus características y actividades que en ella se realice, con el fin de promover y controlar su ocupación

gradual y ordenada a través de las acciones, estímulos y la aplicación de las normas establecidas para cada una (González, 2010).

### 4.3 Estado del arte

Al verificar de una forma retrospectiva los diferentes tipos de estudios que se han llevado a cabo sobre el comportamiento de los suelos y su incidencia en las construcciones, tendríamos que regresar una gran cantidad de años en el tiempo y analizar algunos proyectos dentro de los que se destacan el Domo de Königsberg en Prusia construido en el año 1330, el cual se cimento sobre una capa de suelo orgánico superpuesta sobre una capa de arcilla generando un alto asentamiento a través de los años; la Torre de Pisa cuya construcción fue iniciada 1174 y empezó a ladearse al construirse la tercera galería de las ocho que tiene la estructura, esta obra se interrumpió y en el año 1350 fue terminada, presentándose para el año 1910 un desplome de más de 5 m, generado gracias a la cimentación de la estructura sobre capas de arena y arcillas; por otra parte, los proyectos como el del “Rialto” en Venecia, Italia, un puente de arco simple que se terminó de construir en 1591, son también ejemplos de dificultad en las operaciones de cimentación debido a las características del suelo donde se desarrollan las obras.

Una de las primeras ramas que adquiere gran interés fue la que se enfocó al empuje de tierras, el pionero en formular una guía sobre el tema fue el ingeniero militar francés Marquis Sebastian le Preste de Vauban (1633 – 1707) y posteriormente Charles Augustin Coulomb (1736 – 1806), a quién se acredita la primera contribución básica y científica en el cálculo de la estabilidad de muros de retención de tierras.

Ahora bien, Acercándonos más a investigaciones que estructuran las metodologías implementadas actualmente para evaluar el comportamiento de los suelos, durante los años de 1900 y 1925 se constituye la época en la que se engendró la **Mecánica de Suelos**, siendo pioneros los ingenieros de la Comisión Sueca de Geotecnia de los ferrocarriles suecos, encabezada por el profesor

Wolmar Fellenius, encomendado por el gobierno sueco para estudiar las causas de las fallas o deslizamientos de tierra ocurridos en algunos puntos de la red ferrocarrilera de la nación.

De la misma forma, en el año 1925, se inicia el desarrollo más significativo en esta rama de la ingeniería con la presentación del libro escrito por el profesor Karl Von Terzaghi (1882 – 1963) denominado ***Erdbaumechabik (Mecánica De Suelos)***, en donde presenta una nueva filosofía relativa al suelo como material, muestra cómo tratar las propiedades mecánicas de los suelos y su comportamiento bajo diversas cargas y condiciones de humedad (Villalaz, 2005). Es precisamente esta investigación la que da origen a la aparición de numerosos trabajos importantes relacionados con los suelos, la clasificación de los suelos, la estabilidad de taludes, el comportamiento de los suelos de granos finos, la capacidad de carga de los suelos, el efecto de movimientos telúricos, y los esfuerzos efectivos de capacidad de carga de las cimentaciones, entre otros.

Cabe destacar que son bastantes las investigaciones elaboradas a nivel nacional sobre la caracterización geotécnica de municipios y localidades con miras a reconocer las condiciones y propiedades del suelo en el que se han construido obras civiles o en las que se planea llevar a cabo una actividad similar, sin embargo, se ha decidido rescatar algunas que por su contextualización, metodología u objetivos se acercan más al propósito de este estudio.

Un ejemplo de ello es el trabajo presentado durante el 2007 por López y Robayo, designado Zonificación Geotécnica Preliminar del casco urbano del municipio de Barrancabermeja en Santander. Este estudio surge de la necesidad de tener conocimientos previos de los problemas que pueden presentarse en los diferentes terrenos para las nuevas obras civiles. Todo ello, dentro de las obligadas limitaciones en equipos, tiempos y costos. Las condiciones topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales de Barrancabermeja son una de las circunstancias que hacen que los proyectos actuales y futuros estén expuestos a problemas de inestabilidad, poniendo en riesgo vidas y bienes. Para cumplir con el propósito, se realizaron varias expediciones visuales detalladas de los sectores que tienen gran

potencial de amenaza y se seleccionaron aquellos que podrían presentar mayor riesgo. Además, recopilando información de apiques y sondeos hechos en el municipio desde el año 1995 hasta el año 2005, se hacen una lista de perfiles con los datos geomecánicos y se dividen por comunas. La zonificación preliminar sirvió con una herramienta guía de fácil manejo y contribuyó a hacer una mejor planificación y desarrollo urbano del municipio.

Además del anterior, se encuentra el estudio realizado en el Municipio de San Luis De Gaceno en la Vereda El Cairo en el año 2016, que consiste en la realización del análisis geológico, geomorfológico y geotécnico en una zona de inestabilidad, para lograr entender los diferentes materiales y factores que intervienen y su comportamiento ante la ocurrencia de movimientos en masa, para generar la zonificación de susceptibilidad y amenazas y así poder implementar un plan de monitoreo continuo que lleve a la puesta en funcionamiento con el apoyo de la Corporación Autónoma Regional de Chivor de un plan de alertas tempranas de amenaza por movimientos en masa en la Vereda El Cairo, la cual sea aplicable posteriormente a otros sectores del departamento de Boyacá, dentro de la metodología planteada, para cumplir con los objetivos trazados, se plantean etapas como la recopilación de información geológica, geomorfológica y geotécnica en el municipio de San Luis De Gaceno, y localmente en la Vereda El Cairo. También es necesario realizar la revisión de la cartografía geológica a escala local para posteriores etapas hídricas, hidrogeológicas, geomorfológicas y geotecnias en la zona de estudio (Fajardo, 2016).

Al verificar la información con la que cuentan las entidades públicas de la región se puede identificar que el estudio geológico más reciente del municipio de Girardot fue elaborado en el año 1999 según Ingeominas, en este se pudo establecer las fallas que afectan la región, las condiciones estratigráficas, los depósitos de materiales pétreos, la geomorfología y la litología de los afloramientos más significativos.

Aunque en la zona de estudio no se han llevado a cabo estudios técnicos que permitan establecer una línea base para la elaboración de este proyecto, existen una serie de investigaciones de tipo académico que aportan gran conocimiento en aspectos metodológicos. Dentro de estas investigaciones se resaltan en orden cronológico:

Según Vargas (2015), al elaborar el estudio sobre Características de la consolidación en los suelos cohesivos en la vereda Barzalozza. Girardot-etapa III, con el cual se evaluó por medio de los parámetros de consolidación y los límites de Atterberg y granulometría, los suelos localizados en la zona de estudio; apoyados en investigaciones de Skempton y las teorías de Terzaghi, se obtuvo la clasificación de los suelos, mediante los ensayos respectivos, estableciendo criterios de sistematización para estos. El desarrollo de los ensayos señalados está fundamentado en las normas, I.N.V.E 123-07, I.N.V.E-125-07, I.N.V.E 126-07, I.N.V.E 151-07 (Vargas et al., 2015).

El estudio titulado “Vulnerabilidad sísmica de la infraestructura escolar urbana en Girardot, Cundinamarca”, en el cual se exhibe un análisis de la vulnerabilidad sísmica de 36 instituciones educativas públicas del sector urbano del municipio de Girardot, usando la metodología propuesta por Cardona y Hurtado (1990), y el reglamento Colombiana de Construcción Sismo Resistente NSR – 10, logra evaluar cualitativamente las estructuras, realizando una modelación numérica que estableció una estimación del nivel de vulnerabilidad de las mismas, arrojando un valor en estructuras de un piso cercano al 66,83% (Gulfo y Serna 2015).

Además de esto, se desarrolló la Determinación del coeficiente de permeabilidad de las comunas 1, 3 y 5 del municipio de Girardot, Cundinamarca; mediante ensayo puntual de carga variable “in situ”, realizando una clasificación del suelo bajo los límites de Atterberg en 37 barrios del municipio dispersos en las comunas mencionadas, logrando determinar la permeabilidad de los suelos en estudio y la velocidad promedio a la que se filtra el agua en ellos. Además de esto se estipuló que la zonificación

elaborada, mostró la variedad de tipos de suelos que se encuentran depositados en la ciudad y algunas de sus modificaciones efectuadas para poder desarrollar obras viales y urbanísticas (Parra et al., 2017).

Por último, se tiene información sobre “Estudio geológico y caracterización geotécnica en el sector de ciudadela Comgirardot del municipio de Girardot departamento de Cundinamarca”, mediante el cual se identificaron las posibles causas que dieron paso a las problemáticas estructurales y al deterioro actual de las viviendas del sector de análisis, reconociendo la composición estratigráfica, las características litológicas de las formaciones presentes y el comportamiento geotécnico del terreno, corroborando el estado físico actual de las viviendas de la ciudadela. (Trujillo y Rodríguez, 2018).

Por otra parte, y reconociendo que uno de los objetivos específicos de esta investigación es determinar los posibles riesgos y amenazas naturales de tipo geotécnico presentes en la zona de estudio, fue necesario implementar una revisión bibliográfica de investigaciones que se enfoquen en la medición, evaluación y/o diagnóstico de amenazas naturales y la evaluación del riesgo. Los documentos que se presentan a continuación son desde el punto de vista técnico, apropiadas para soportar las consideraciones del proyecto:

Dentro de los trabajos internacionales de mayor relevancia y de gran aporte para las investigaciones de este tipo se encuentran las **Memorias del 1er Seminario en Desastres Socionaturales** desarrollado por la facultad de ciencias sociales de la Universidad de Chile en el año 2013. Este documento es una sumatoria de investigaciones que analizan prácticas en desastres socionaturales posibilidades y desafíos para la reconstrucción, como vulnerabilidades e impactos de desastres socionaturales y algunos modelos y prácticas psicosociales. Aunque es una investigación chilena, el principal objetivo de esta es relacionar diferentes disciplinas de las ciencias para interpretar y evaluar las consecuencias de los desastres socionaturales desde diferentes ámbitos y construir programas de mejora que permitan intercambiar y contribuir a la formación académica de aquellos estudiantes que profundizan en esta temática e innovan sobre distintas experiencias de intervención.

Son varios los aportes internacionales que se han elaborado a nivel de Latinoamérica sobre el tema de gestión del riesgo de amenazas naturales. Cada uno de estos proyectos aporta significativamente a la comprensión de las causas y los efectos que tienen para la sociedad estos eventos. Un documento de Gran contribución es el mencionado *Gestión de Riesgo de Amenazas Naturales en Proyectos de Desarrollo - Lista de Preguntas de Verificación Checklist*. Keipi et al. durante el año 2005, con la ayuda del Departamento de Desarrollo Sostenible del Banco Interamericano de Desarrollo elabora un documento que busca reconocer la vulnerabilidad, las consecuencias, las medidas preventivas, las acciones políticas y sociales los programas, y la aplicación de incentivos o recursos en cuanto investigaciones de gestión del riesgo se refiere en los países de América latina y el Caribe. Esta investigación ofrece una serie de herramientas para aquellos países que desean fortalecer las acciones en los ámbitos nacional y local, contra la problemática fundamental de la construcción de proyectos de ordenamiento territorial que considera la gestión del riesgo como un pilar fundamental para la reducción de desastres y la protección de la población y bienes.

Son tales los efectos de los desastres naturales en Colombia que han generado cambios hasta en la legislación y en la manera de enfrentarlos, ejemplo de ello es la expedición de la ley 400 del 84, el Código Colombiano de Construcciones Sismoresistentes, los cambios en la gestión ambiental y en la cultura de prevención de desastres (Saavedra y Jaramillo, 1996); la creación del sistema para la prevención y atención de desastres y las leyes 9 de 1989 y 2 de 1991 de la reforma urbana, las cuales obligan a las autoridades municipales a tener en cuenta las amenazas naturales para el ordenamiento territorial.

Según Alfaro et al. (2000), en su artículo: **Desastres naturales y desplazados en Colombia**, los desastres naturales, ya sean de tipo sísmico, volcánico, huracanes o inundaciones, causan muchos efectos que trascienden las lamentables pérdidas de vidas humanas y los costos materiales. Para estos autores, en Colombia existe un precario equilibrio entre la población y el ecosistema, lo cual conlleva

una pauperización creciente, debilidad económica manifiesta en grandes sectores sociales, inestabilidad política, etc.; Esta vulnerabilidad socioeconómica hace que un desastre natural se convierta en una verdadera catástrofe humana material y social. Para la fecha de esta investigación en Colombia el Instituto Geofísico y la facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana en convenio con la firma Consultoría Colombiana S.A., estaban trabajando en la realización de estudios de amenazas naturales, vulnerabilidades y riesgos en diferentes ciudades del país, dentro de estas: Tunja, Barrancabermeja, Villavicencio, Ibagué, Neiva y pasto.

Casi para el mismo tiempo, el geólogo Roberto Vargas Cuervo durante el año 2001, presenta el artículo científico *Amenazas Geológicas del departamento del Huila*, teniendo como base la información suministrada por varias entidades como el Instituto de Investigación en Geociencias Minería y Química (INGEOMINAS), el CORPES, la Universidad Surcolombiana, la Universidad de los Andes, Universidad Nacional Sede Medellín y algunas entidades privadas, las cuales realizan propuestas y adelantan algunos trabajos de difusión como también la realización de estudios geológicos y geotécnicos orientados a la identificación de amenazas geológicas en varias cabeceras municipales del departamento del Huila. La información más completa se realizó en el estudio “evaluación de amenazas naturales de origen geológico (vulcanismo, sísmica) geomorfológico (erosión, fenómenos en remoción en masa) e hidrometeorológico (inundación, sequías) y caracterización geotécnica preliminar de 33 cabeceras municipales para el departamento del Huila” elaborado por el instituto de estudios ambientales de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Mientras tanto, en la investigación que recibe el nombre de *Metodología para la Evaluación del Riesgo Sísmico de Pequeñas y Medianas Ciudades - estudio de caso zona centro de la ciudad de Armenia Colombia*, se presenta el desarrollo de una metodología que permite evaluar de forma fácil y rápida la vulnerabilidad indicativa de un predio determinado. Además, se puede calcular de forma aproximada las pérdidas tanto estructurales y no estructurales que se pueden presentar en una edificación frente a un

sismo específico. Esta investigación se encuentra basada en la metodología PERCAL 6 para la evaluación del riesgo sísmico, desarrollada en la universidad EAFIT de Medellín por Jaramillo (1997), con la cual se tiene la enorme ventaja de obtener un alto grado de detalle en la obtención de las pérdidas de cada edificación (Saldaña et al., 2005).

Dentro de los documentos técnicos que más información brindan a ese tipo de investigaciones se puede resaltar la investigación del doctor Gonzalo Duque Escobar, profesor de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, sobre Amenazas Naturales en los Andes de Colombia, elaborada en el año 2007. Dicho documento presenta un análisis sobre las diferentes amenazas que se pueden presentar en esta porción del territorio colombiano. Dentro del documento se distinguen temáticas como la evaluación del riesgo en las regiones naturales de Colombia, las circunstancias de las regiones Andinas de Colombia, el medio ambiente natural, la geología Andina, las condiciones de los suelos andinos y las transformaciones que se han presentado debido a procesos como: la gente la vivienda y la revolución verde.

Así mismo, si consideramos las condiciones específicas de la zona de estudio y las características de la investigación, se pueden resaltar que para el año 2011, los investigadores Abril, Amaya y Fonseca desarrollaron la Evaluación de Amenazas por Movimientos en Masa causados en el municipio de Jericó – Boyacá, durante la fuerte ola invernal del primer semestre de este mismo año. En el municipio mencionado se presentaron una cantidad de movimientos en masa que generaron consecuencias desastrosas. Intensas lluvias ocasionaron diversos fenómenos de remoción en cinco veredas de las cuales La Estancia fue afectada por un deslizamiento del terreno que abarcó cerca de 360 hectáreas y produjo la evacuación de muchas familias. Luego de un tiempo, estas familias han regresado a la zona y se hace necesario establecer el grado de amenaza que todavía existe; son varios los estudios geológicos y geotécnicos que se han realizado para evaluar la condición de estabilidad actual y definir qué acciones se deben conducir para la habilitación de la zona y poder desarrollar actividades agrícolas.

El trabajo final de maestría denominado Gestión Integrada del Riesgo de Inundaciones en Colombia desarrollado por Sedano en el 2012, es un aporte investigativo que permite reconocer los perjuicios provocados por las inundaciones, no solamente de tipo económico sino también social. Este es un documento que se basa en la revisión de diferentes enfoques para gestionar inundaciones en armonía con una visión ecosistémica y de gestión integrada del recurso hídrico. Para ello, se han analizado factores naturales y antrópicos que contribuyen a estas inundaciones y se plantean algunos aspectos a incorporar para mejorar la gestión del riesgo. Para abordar el problema se plantea un modelo de gestión que incorpora el conocimiento del riesgo, estrategias de prevención y mitigación, planes de respuesta y recuperación, haciendo relevancia en la inclusión de mapas de riesgo apoyados en sistemas de información geográfica (SIG), que ayudan al conocimiento sobre el potencial daño de una inundación y son una herramienta para la toma de decisiones.

Algo semejante ocurre durante el año 2016 se lleva a cabo una investigación sobre la Evaluación del Riesgo Asociado a Vulnerabilidad Física por Taludes y Laderas Inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia. Dicho artículo presenta una herramienta de evaluación para detectar la vulnerabilidad física asociada con taludes inestables. En ella se presenta una ecuación que relaciona los factores clave que influyen en la amenaza y en los elementos expuestos asociados con la vulnerabilidad física. Como resultados se obtuvo una valoración del riesgo asociado a la vulnerabilidad física de las zonas de mayor inestabilidad en la microcuenca; esta metodología puede ser utilizada para diseñar obras de ingeniería civil que permitan prevenir y controlar los daños causados por las inestabilidades sobre la infraestructura física de la misma. La ecuación propuesta en la investigación puede ser una herramienta valiosa para los tomadores de decisiones que quieran priorizar la inversión de los recursos públicos (Atencia y Arcila, 2016).

Para finalizar, como fuente principal de información se tiene en cuenta la investigación desarrollada por Cárdenas (2018), denominada Análisis General de la Gestión del Riesgo por Inundación

en Colombia, un artículo de revisión publicado en la revista científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad de la Universidad de Antioquia. En el trabajo se realiza un análisis general de la gestión de riesgo en el país, en el cual se considera la política actual, se hace referencia a las condiciones que implican gestión del riesgo y los factores que se deben evaluar; luego se enuncian algunos modelos que sirven para valorar las amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo. Como aportes relevantes de esta investigación se plantean crear una serie de estrategias para facilitar la adquisición de información creando redes entre universidades, entes gubernamentales y entidades privadas que permitan evaluar el riesgo con datos actualizados y generar resultados de mayor calidad. Dentro de este documento se hace énfasis en las problemáticas que surgen debido al desconocimiento de información y a la no implementación de programas de mejoramiento integral dentro de los planes de ordenamiento territorial desarrollados por los municipios.

#### 4.4 Marco legal

Dentro de la Normatividad aplicada en el país para llevar a cabo los estudios geotécnicos y el análisis de riesgos y/o amenazas de tipo geotécnico, se encuentra una gran variedad de códigos, sin embargo, considerando los objetivos de la investigación se destacan los siguientes:

**Tabla 3**

*Normas representativas del estudio geotécnico*

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
<p><b>Ley 388 de 1997</b></p>	<p>Establece los principios y reglamenta las formas de intervención del territorio y su intencionalidad se relaciona directamente con lo físico, con lo cual se encara la planificación física de los municipios, las temáticas de lo urbano, el uso del suelo urbano y rural, el crecimiento de las ciudades y la relación de estas con el entorno y su impacto socioeconómico, cultural y político-administrativo.</p> <p>Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de</p>

<b>Ley 1523 de 2012</b>	Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.
<b>NSR – 10 Título H</b>	Establece criterios básicos para realizar estudios geotécnicos de edificaciones, basados en la investigación del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales de las edificaciones.
<b>I.N.V. E - 122</b>	Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestra de suelos, rocas y mezclas de suelo- agregado: Esta norma permite determinar el contenido de agua que posee el suelo para identificar su comportamiento.
<b>I.N.V. E - 123</b>	Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos: Permite conocer la distribución de los tamaños de las partículas del suelo cuantitativamente por medio de tamices e hidrómetro.
<b>I.N.V. E - 125</b>	Determinación del límite líquido de los suelos: encontrar el límite líquido y utilizarlo con el límite plástico, índice de plasticidad y humedad para establecer correlaciones del suelo y así poder determinar su comportamiento por ejemplo la permeabilidad, la compresión, la compactibilidad etc.
<b>NTC 1504</b>	Suelos. Clasificación para propósitos de ingeniería. (ASTM D 2487)
<b>NTC 1493</b>	Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad. (ASTM D 4318)
<b>NTC 4630</b>	Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos.

Tabla 3. Evolución del marco normativo para estudios geotécnicos.

## CAPÍTULO V

### 5 Metodología

Para este proyecto se trabaja una línea de investigación de tipo descriptiva con un enfoque mixto. Con el estudio se busca exponer las características de la zona representativa del análisis, efectuando una interacción directa con el objeto y registrando las observaciones de los fenómenos presentes. Se considera cuantitativo debido a que la medición de propiedades se genera con la ayuda de herramientas matemáticas que permiten la identificación de las mismas y además cualitativo porque dentro de él se interpretan los contextos naturales que afectan las condiciones de la región.

#### 5.1 Diseño comparativo

El estudio se realiza en cuatro fases definidas de la siguiente manera:

##### 5.1.1 *Fase 1. Diagnóstico y caracterización de la zona de estudio*

En esta etapa preliminar del proyecto se realiza una primera visita técnica en la que se verifican las condiciones actuales de la zona de estudio. Posteriormente, se construye el diagnóstico de la zona con el objetivo de establecer las condiciones de la problemática destacada. Como aporte fundamental se construye una base de información documental, recopilando y analizando las investigaciones encontradas en las plataformas institucionales y en las revistas académicas de la red. Luego, se selecciona la información existente sobre el tema de estudio en la región y en el municipio, teniendo en cuenta aspectos fundamentales que permitan relacionarse con el proyecto en construcción.

A continuación, se hace la respectiva verificación de las unidades geológicas expuestas en la zona, por medio de una revisión cartográfica actual y de mapas geológicos de la región, correlacionado los afloramientos que permiten un muestreo básico. Por último, dentro de esta primera fase, se realiza una exploración del terreno hasta los puntos donde la topografía, la infraestructura, y los componentes sociales o de orden público lo permiten.

### **5.1.2 Fase 2. Determinación de posibles riesgos y amenazas en la región**

Como primer paso de esta fase se realiza el mapeo superficial del área de influencia del proyecto, este proceso se lleva a cabo con material de investigación del Municipio, dentro de los que se destacan mapas de la división política, sistemas ambientales implementados y usos del suelo dispuestos. Como una siguiente etapa, se coteja la información planteada por el Sistema Geológico Colombiano y el Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS sobre la constitución de las diferentes unidades estratigráficas afectadas por los diferentes fenómenos en la región.

Un paso relevante dentro de esta investigación es la revisión del Plan de Ordenamiento Territorial propuesto durante el año 2011 por parte de los entes gubernamentales en el que puede hacer una revisión inicial de la estipulación de potenciales riesgos y amenazas geológicas presentes en el área de investigación. Además de lo anterior se hace la revisión del material referenciado por la Alcaldía sobre áreas expuestas a amenazas y riesgos y aquellas que se encuentran catalogadas como áreas históricas, culturales o de protección del paisaje.

### **5.1.3 Fase 3. Caracterización de muestras de terreno**

El punto de partida de esta fase es la selección de puntos con alto índice de vulnerabilidad, aquí se hace imprescindible reconocer que luego de varias visitas a la zona de estudio, la selección del sitio para realizar el sondeo se formaliza luego de reconocer los impedimentos de tipo social con los que cuenta el lugar; fueron varias las recomendaciones recibidas por parte de instituciones como Gestión del Riesgo y las Fuerzas Militares sobre los peligros que se tienen en gran parte de la franja escogida para desarrollar el proyecto, respecto al orden público.

Así mismo, se confrontan los lugares con mejores condiciones para la realización del levantamiento Geológico-Geotécnico. Una vez escogido el punto se elabora una programación de la excavación que permita evaluar las propiedades e índices de los suelos y las condiciones Geotécnicas del área de estudio.

En cuanto al tema de pruebas, luego de realizar el sondeo con la ayuda del método seleccionado se continúa con la caracterización de los suelos en el sector desde el punto de vista geotécnico. Los procedimientos elaborados se encuentran descritos dentro de este apartado y se ejecutaron bajo las normas establecidas por la legislación actual, siguiendo todas las recomendaciones expuestas. Además, la ejecución de trabajos de campo, con el respectivo muestreo de suelos, rocas y la descripción del perfil estratigráfico se elaboró bajo los estándares que se estipulan.

Con el fin de medir adecuadamente los parámetros que afectan las propiedades del material de estudio, se procede a recuperar y trasladar las muestras hasta el laboratorio bajo cadena de custodia y con la ayuda de personal experimentado en este tipo de procesos. La última etapa de esta fase consistía en registrar las observaciones y hacer los cálculos respectivos para la determinación y clasificación del suelo.

#### **5.1.4 Fase 4. Construcción de informe final**

Acorde con los estudios realizados como etapa final de la investigación se elaboran los análisis de las condiciones geotécnicas del área de estudio, se evalúan las respectivas amenazas a las que puede estar sometida la zona y se construye el informe final, conclusiones y recomendaciones.

## **5.2 Variables e indicadores**

Para llevar a cabo el muestreo y la determinación de propiedades, se realiza una exploración del terreno con sondeo o perforación equipo SPT, pruebas de laboratorios e investigación del mapa geológico del terreno. Con los datos obtenidos se puede determinar la estratigrafía del terreno, las propiedades del suelo; estos parámetros permiten calcular la capacidad portante y así determinar el tipo de cimentación más acorde y el asentamiento de la estructura en relación al peso que soporta.

Todos los ensayos realizados en campo, y las pruebas de laboratorio se realizan siguiendo la metodología de trabajo de las normas NTC e INVIAS 2007. En caso de que se detecten situaciones especiales del suelo de fundación, como la presencia de suelos orgánicos, expansivos, suelos

susceptibles de licuefacción o cualquier otro estado que implique inestabilidad de la estructura, se indica su ubicación y se dan recomendaciones específicas sobre el tratamiento que debe recibir este suelo en particular.

En el análisis de resultados se presentan en forma concisa, las características físicas e hidráulicas del suelo, los parámetros de resistencia al corte y a la deformación utilizados en el diseño, al igual que los resultados alcanzados en el estudio referentes a tipo, profundidad y cota de cimentación, dimensiones y número de elementos, magnitud de la profundidad de socavación, valor de la capacidad portante y parámetros de deformación vertical y horizontal. Como aporte académico de la investigación, se dan recomendaciones del proceso constructivo y de cualquier otro aspecto que se considere conveniente para cumplir satisfactoriamente con el objetivo del proyecto.

Se anexa la memoria de cálculos, incluyendo gráficas y toda aquella información que dé claridad al estudio, incluyendo como mínimo:

- Esquema de la localización de las perforaciones.
- Registros de perforaciones referenciados en cuanto a cotas y abscisas del proyecto.
- Resultados de ensayos de laboratorio e in situ.
- Memorias de cálculo: Análisis de estabilidad, Diseños de obras complementarias.
- Fotografías del sitio en estudio.

### **5.3 Procesos y procedimientos**

Para poder ejecutar el estudio de suelo se recopiló toda la información geotécnica, las condiciones del sitio y las características del proyecto, reconociendo si en la zona de estudio se presentan características para realizar una construcción nueva o para examinar las ya existentes.

#### **5.3.1 Investigación de subsuelo**

Se realizó por medio de 1 sondeo desde 0.0 hasta 3.50 m de profundidad, perforado con un equipo de barreno manual de 4 pulgadas de diámetro. A lo largo del sondeo se realizaron ensayos de

penetración con un martillo de 70 libras. Adicionalmente del muestreo de los mantos que se consideró necesario, se toman muestras alteradas en bolsa para su inspección visual y posterior envío al laboratorio para ensayos de dispersión, humedad natural, límites de Atterberg, pesos unitarios y clasificación AASHO y USC.

### 5.3.2 Ensayo de penetración estándar

El Ensayo de Penetración Estándar es una prueba dinámica que permite obtener la resistencia del suelo en sitio. La mecánica de la prueba y el equipo a utilizar corresponden a lo descrito en la norma ASTM D 1586-67 y en resumen consiste en hincar en el estrato de interés un muestreador del tipo Cuchara Partida (Split Spoon Sampler) de diámetro 2", golpeándolo con un martillo de 140 Lbs de peso, que se deja caer en forma libre desde 30" de altura, contando el número de golpes necesarios para lograr una penetración de 1 Pie, este número, se anota como N y es el resultado de la prueba.

El equipo necesario para llevar a cabo la prueba está compuesto por:

- Muestreador de Tubo Partido
- Martinete de 140 lbs. de peso con sistema de caída
- Tubería de perforación.

**Figura 1**

*Tubo partido y sus posibles dimensiones*

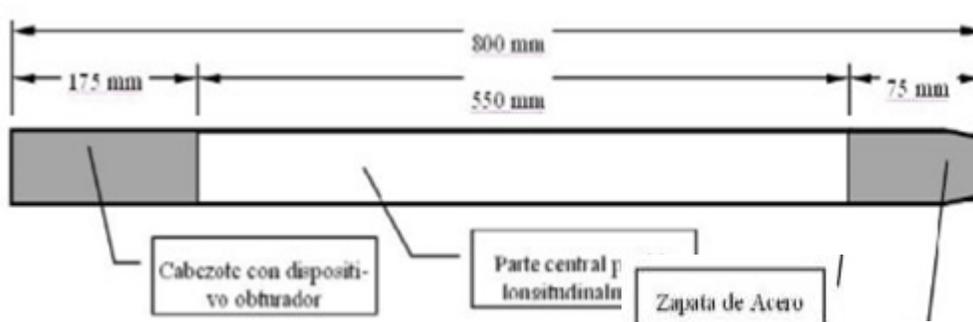


Figura 1. Posibles dimensiones de la herramienta denominada tubo partido. Mecánica de suelos

(1996)

### 5.3.2.1 Procedimiento de ensayo

a) El ensayo consiste en hincar el tubo partido para que penetre 30 cm (1 pie) en el terreno, ayudados de un martillo de 140 lbs de peso y una altura de caída de 75 cm, contabilizándose el número de golpes "N".

b) Para efectuar la prueba el muestreado se enrosca al extremo de la tubería de perforación y se baja hasta la profundidad donde se encuentra el manto de suelo sobre el cual se va hacer la prueba.

c) Previamente el fondo del sondeo debe haberse limpiando cuidadosamente para garantizar que el material no esté alterado.

d) Se coloca el martillo en posición guiado por la tubería de Perforación, elevándolo manualmente.

e) Se marca el extremo superior de la tubería de perforación en tres partes, cada una de 15 cm para la posterior observación del avance del mostrador bajo el impacto del martillo.

f) Se deja caer el martillo sobre el cabezote de la tubería de Perforación y se contabiliza el número de golpes aplicado con la altura de caída especificada, para cada uno de los segmentos de 15 cm marcados. No se tienen en cuenta los golpes para el Primer segmento puesto que es el de penetración inicial al Terreno. Se suman los golpes aplicados para que penetre el tubo en el segundo y tercer segmento, obteniéndose así el valor de "N".

g) Se lleva a la superficie el muestreador y se abre; debe registrarse la longitud de la muestra recobrada, su peso y describir características como: color, uniformidad etc.

h) Se repiten los pasos anteriores cuantas veces sea necesario para determinar la variación de los parámetros de resistencia con la profundidad o con el número de estratos.

Debe tenerse en cuenta: El ensayo es aplicable solo a suelos arenosos y finos. Las muestras de suelos se empacan en doble bolsa plástica Debidamente selladas para conservar la humedad natural del material.

**5.3.2.2 Muestreo.** Al realizar cada ensayo de penetración estándar, se tomó una muestra alterada del recobro de la cuchara. Muestras inalteradas con tubos Shelby, se tomaron a las profundidades indicadas en los registros de perforación.

### **5.3.3 *Ensayo de laboratorio***

Las muestras obtenidas de las perforaciones, se llevaron al laboratorio de suelos, en donde se desarrollaron las siguientes pruebas:

- Humedad Natural
- Límites de Atterberg
- Granulometría y clasificación de suelos
- Peso Unitario
- Compresión Inconfinada

En la parte final del informe, se anexan: Los registros de perforación del subsuelo, el resumen de los resultados de los ensayos efectuados y el registro fotográfico donde se muestra el personal de perforación realizando los trabajos de campo.

## CAPÍTULO VI

### 6 Resultados

#### 6.1 Descripción de la zona de estudio

Girardot es la segunda ciudad más importante del departamento de Cundinamarca, después de la capital con más de 150.000 habitantes. Se encuentra localizado en el centro del país, a orillas del río Magdalena en las desembocaduras de los Río Bogotá, Sumapaz y Coello; en la provincia del Alto Magdalena. Girardot se encuentra conturbado con el municipio de Flandes (Tolima) y el municipio de Ricaurte (Cundinamarca) con una población de más de 180.000 habitantes. Limita al norte con el municipio de Nariño y Tocaima, al sur con el municipio de Flandes y el Río Magdalena, al oeste con el municipio de Nariño, el río Magdalena y el municipio de Coello y al este con el municipio de Ricaurte y el Río Bogotá.

#### Figura 2

*Localización general del Municipio de Girardot*

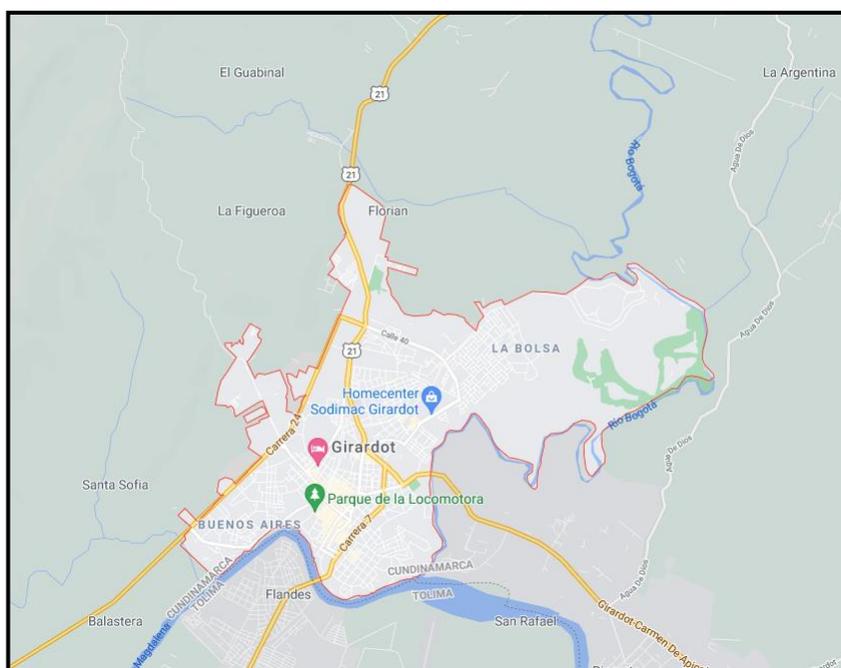


Figura 2. Referencia de la ubicación del municipio de Girardot. Tomado de Google Maps

### 6.1.1 Localización del proyecto

El terreno se encuentra ubicado en el barrio San Miguel del municipio Girardot departamento Cundinamarca, en la figura se muestra la localización general del sitio del proyecto con relación al entorno urbano de la ciudad.

**Figura 3**

*Localización del proyecto*

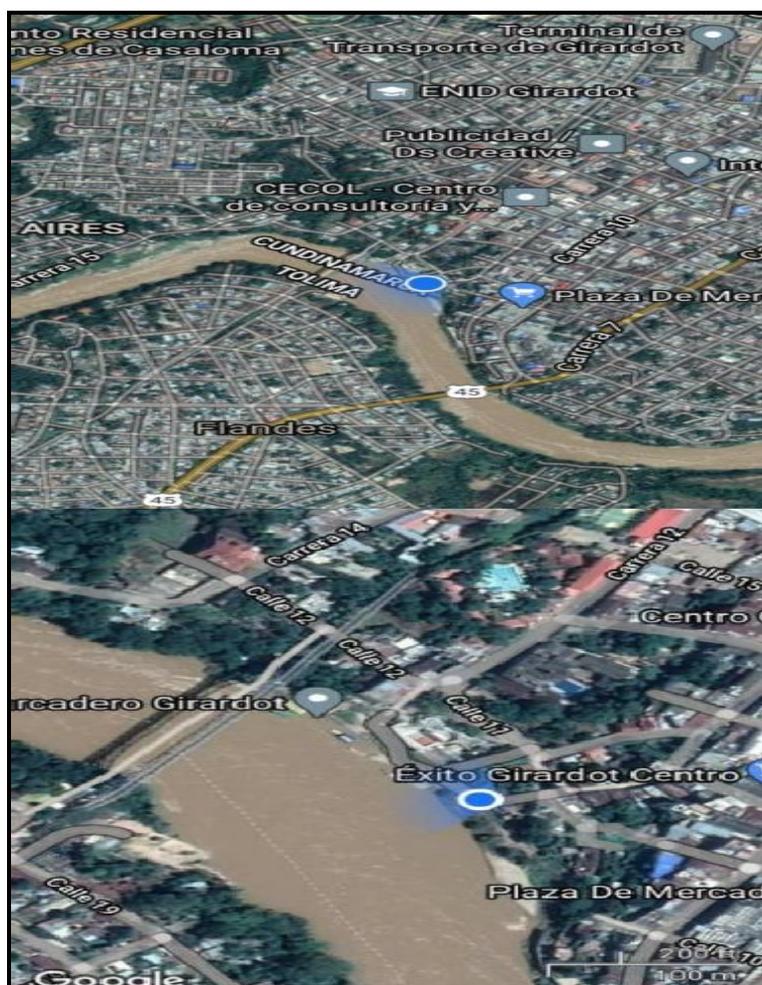


Figura 3. Vista planimétrica de la ubicación general de la zona de estudio. Tomado de Google Maps

### 6.2 Caracterización geológica

Basados en la plancha del Servicio Geológico Colombiano N° 245, el municipio de Girardot se encuentra fundado sobre formaciones geológicas de tipo Terraza Aluviales Altas (Qta) y la formación

Barzaloya, compuesta por conglomerados en su parte inferior, Arcillolitas Abigarradas con intercalaciones de conglomerados en la parte media y Arcillolitas con vetas de Yeso intercaladas con Areniscas en la parte superior. Según la memoria explicativa de la plancha enunciada el municipio está conformado por el Grupo Gualanday, Grupo Honda, Formación Guadalupe y Depósitos del Cuaternario, descritos de forma general.

#### **6.2.1 Formación San Juan de Rio Seco o Gualanday (Tisj2)**

Esta unidad está dividida de más antigua a joven en los miembros Armadillos, Almacigos y la Cruz, el inferior y el superior con predominio de gravas y conglomerados y el intermedio de lutitas rojas. La edad de la formaron es del Oligoceno (36 millones de años).

#### **6.2.2 Grupo Honda (T6, T6a).**

La unidad está constituida por alternancia de gravas, areniscas y lutitas rojas, la unidad descansa discordantemente sobre el infrayacente y presenta espesores hasta de 100 metros. Las rocas sedimentarias del grupo honda, constituido por intercalaciones de areniscas y arcillolitas, están cubiertas por vegetación arbusto baja y rastrojos, con taludes desprotegidos. Los procesos de remoción en masa identificados en esta unidad son desprendimientos y desplomes de bloques de areniscas ocasionados, en la mayoría de los casos por Socavación y pérdida de soporte.

#### **6.2.3 Formación Guadalupe (Kg).**

Esta formación está constituida esencialmente por arcillolitas, limonitas abigarradas intercaladas con areniscas del paleoceno inferior. Normalmente dentro de la formación se encuentran sucesiones con las mismas características litológicas y espesores regulares. Los buzamientos que dan lugar a deslizamientos son del orden de los 35 – 60°.

### 6.2.4 Depósitos recientes y terrazas (Q).

Pertenece al cuaternario y están compuestos por arenas, gravas, limos, arcillas, terrazas, coluvios, deslizamientos, morrenas y efluviu glaciares, las terrazas están conformadas por abanicos procedentes de la cordillera central que contiene material andesítico (cantos y tobas) en abundancia.

### 6.3 Unidades geológicas

El atlas geológico digital de Ingeominas en su plancha 5-09, muestra en el sector donde se encuentra localizado el predio, una cobertura completa por la unidad geológica definida como N3n7-sc, identificada con las siguientes características:

#### 6.3.1 Rocas

Tipo de depósito:

- Vulcanoclástico
- Eón Fanerozoico
- Era Cenozoica
- Periodo Cuaternario
- Edad Holoceno

#### 6.3.2 Entorno geológico regional del proyecto

En el siguiente mapa se hace referencia a los grupos depositados en la Zona de estudio:

#### Figura 4

Mapa geológico de la región

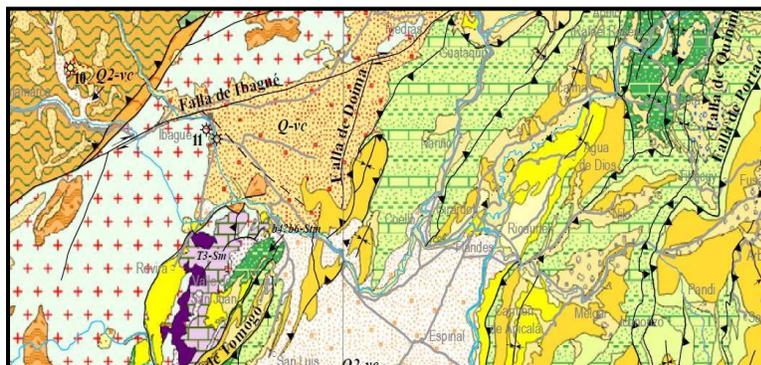


Figura 4. Formaciones geológicas depositadas sobre el municipio de Girardot. SGC (2004).

## 6.4 Clima

El clima de la zona es tropical. La mayoría de los meses del año están marcados por lluvias significativas. La corta estación seca tiene poco impacto. El clima de la región se clasifica como Am por el sistema Köppen-Geiger. La temperatura es en promedio 27.8 ° C. En un año, la precipitación media es 1345 mm.

**Figura 5**

*Climograma Girardot*

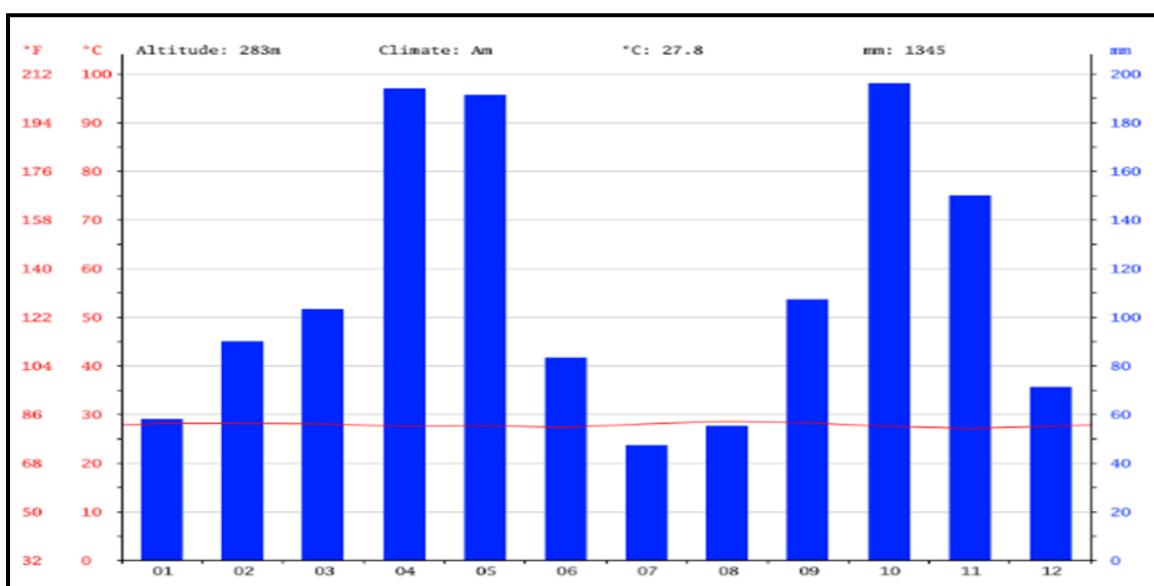


Figura 5. Variación de precipitaciones durante el año en el municipio. Alcaldía de Girardot (2020).

Según esta información el mes más seco es julio, con 47 mm de lluvia. La mayor cantidad de precipitación ocurre en octubre, con un promedio de 196 mm.

Figura 6

Diagrama de temperatura de Girardot

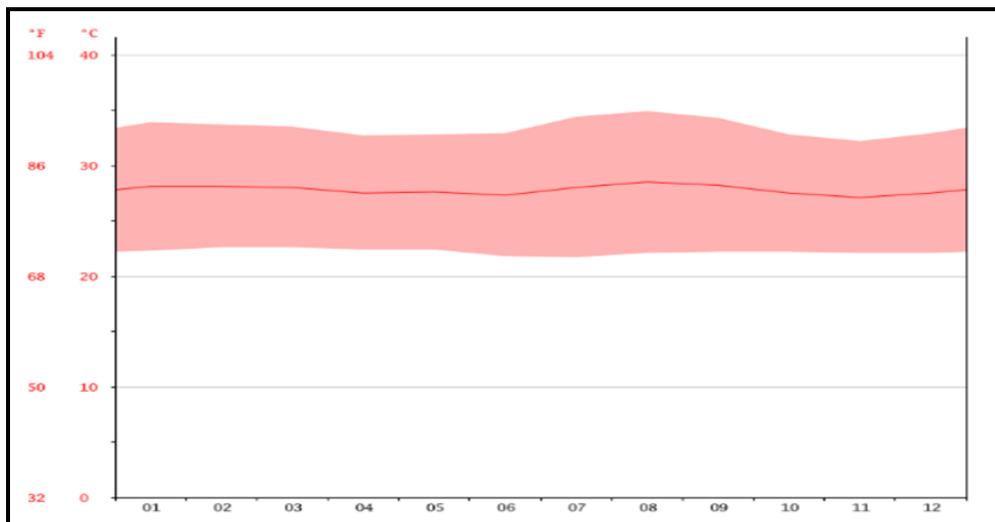


Figura 6. Variaciones de temperatura durante el año en el municipio. Alcaldía de Girardot (2020).

Revisando las características del diagrama agosto es el mes más cálido del año. La temperatura en agosto promedia los 28.5°C. Las temperaturas medias más bajas del año se producen en noviembre, cuando están alrededor de 27.1 °C.

#### 6.4.1 Caudal pico de aguas lluvias

Para determinar esta variable se requiere información previa sobre las precipitaciones de la zona, la fórmula para determinar el caudal pico se plantea así:

$$Q = 2.78 * C * i * A$$

Donde:

Q = Caudal pico de aguas lluvias (L/s)

C = Coeficiente de impermeabilidad definido para cada área tributaria (adimensional)

i = Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración utilizado (mm/h)

A = Área tributaria de drenaje

En la siguiente figura se puede evidenciar el comportamiento de las precipitaciones y el valor máximo obtenido durante la última década (2011 – 2021):

**Figura 7**

*Precipitaciones registradas en Girardot*

Municipic	FechaInstalaci	FechaSus	IdParam	Etiqueta	Descripci	Frecuenci	Fecha	Valor	Grado	Calificado	NivelApr	cion
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 8:00:	0	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 9:00:	0	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 10:00:	0	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 11:00:	0	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 12:00:	0	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 1:00:	0	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 2:00:	0	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 3:00:	0	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 4:00:	0	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 5:00:	70,8	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 6:00:	20,1	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 7:00:	10,3	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 8:00:	1,5	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 9:00:	1	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 10:00:	2,8	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	12/11/2011 11:00:	0,7	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	13/11/2011 12:00:	1	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	13/11/2011 1:00:	3,9	50	900		
Girardot	30/09/2004	12:00:00 a, m,	PRECIPITACI	PT_10_TT_H	Precipitaci	Horaria	13/11/2011 2:00:	0,2	50	900		

Figura 7. Registro de precipitaciones durante los últimos años para el municipio. Ideam (2021).

El coeficiente de permeabilidad se debe calcular como el promedio obtenido según el tipo de superficie que se encuentra en la zona de estudio. Los valores de C se exponen a continuación:

**Tabla 4***Coeficiente de impermeabilidad.*

<b>Tipo de superficie</b>	<b>C</b>
Cubiertas	0,90
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,90
Vías adoquinadas	0,85
Zonas comerciales o industriales	0,90
Residencial con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques - cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,30

Tabla 4. Valores del coeficiente de impermeabilidad según el tipo de superficie.

$$PROMEDIO = 0.766$$

$$Q = 2.78 * 0.766 * 70.8 \text{ mm/h} * 414.95 \text{ ha}$$

$$Q = 62.531 \text{ L/s}$$

Para la zona de investigación se obtiene un Caudal pico de aguas lluvias (Q) de 62,531 L/s

## 6.5 Diseño sísmico

El municipio del GIRARDOT y sus alrededores se encuentra en unas zonas de riesgo Intermedio de acuerdo con los efectos locales descritos en el NSR-10 – Diseño y Construcción Sismo Resistente, Ley 1400 de 19 decreto, decreto 926 del 19 de marzo del 2010, decreto 25, decreto 092 del 17 de enero de 2011 [A.2.4 & Apéndice H-sísmica de Colombia. En el caso del terreno explorado, teniendo las características del suelo, los efectos locales de respuesta sísmica son:

Figura 8

Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño

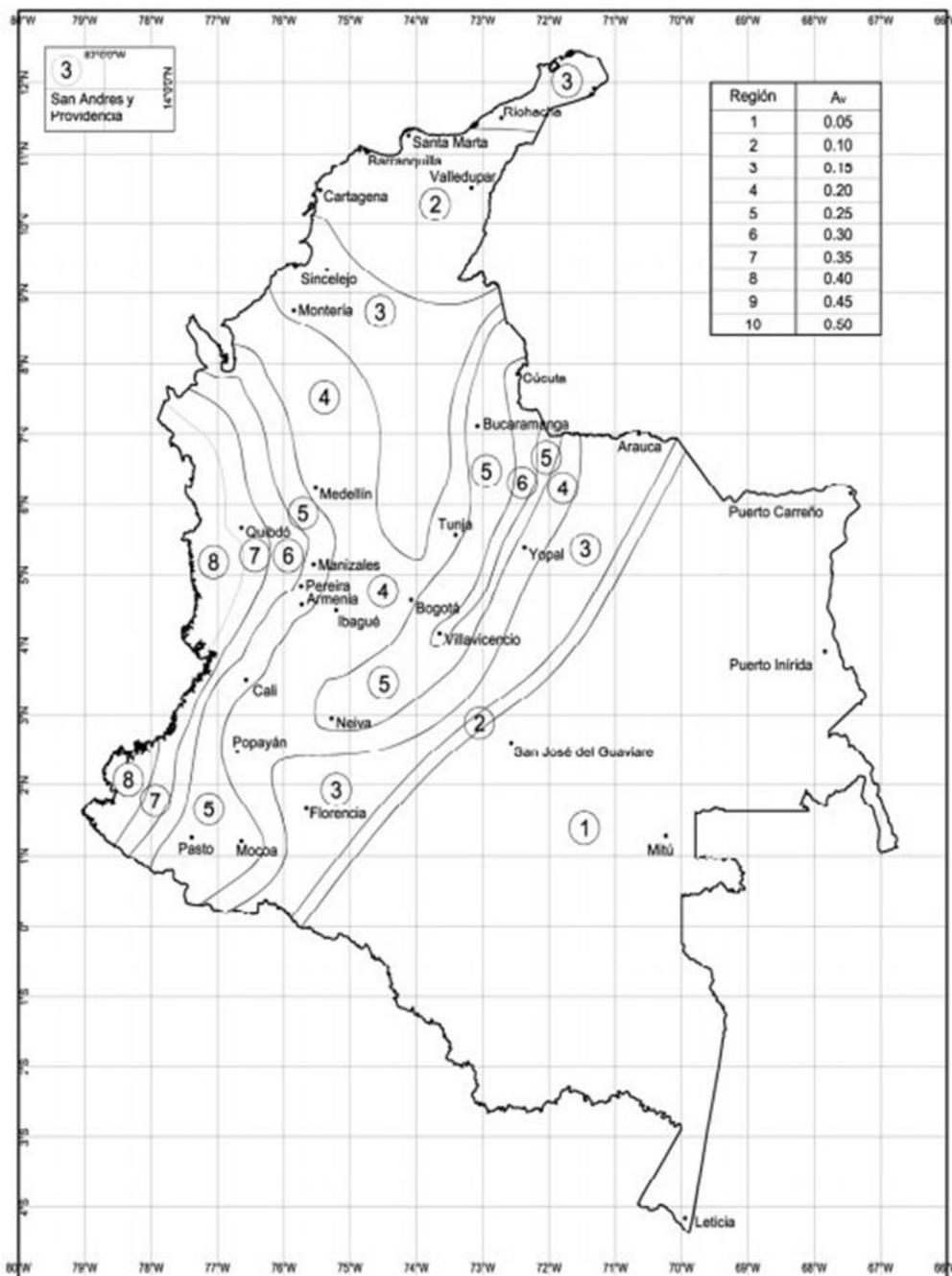


Figura 8. Clasificación de regiones por nivel de amenaza sísmica en el país. NSR 10 – A2

Tabla 5

Valores de caracterización para zonas de riesgo.

Cucunubá	25224	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
El Colegio	25245	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
El Peñón	25258	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.06
El Rosal	25260	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Facatativá	25269	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Fómeque	25279	0.25	0.25	Alta	0.16	0.06
Fosca	25281	0.25	0.25	Alta	0.16	0.06
Funza	25286	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Fúquene	25288	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.05
Fusagasugá	25290	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Gachalá	25293	0.30	0.25	Alta	0.26	0.06
Gachancipá	25295	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Gachetá	25297	0.20	0.25	Alta	0.15	0.06
Gama	25299	0.25	0.25	Alta	0.16	0.06
Girardot	25307	0.20	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Granada	25312	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Guachetá	25317	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.05
Guaduas	25320	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.06
Guasca	25322	0.15	0.25	Alta	0.11	0.05
Guataquí	25324	0.20	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Guatavita	25326	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.05
Guayabal de Siquima	25328	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Guayabetal	25335	0.30	0.25	Alta	0.16	0.06
Gutiérrez	25339	0.25	0.25	Alta	0.16	0.06
Jerusalén	25368	0.20	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Junín	25372	0.20	0.25	Alta	0.16	0.06

Tabla 5. Caracterización de municipios según regiones de amenazas sísmicas. NSR 10 – A.2

Tabla 6

Valores del coeficiente  $F_a$  para la zona de periodos cortos del espectro.

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

Tabla 6. Intensidad de los movimientos sísmicos para diferentes perfiles en periodos cortos.

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

Tabla 7

Valores del coeficiente  $F_v$ , para la zona de periodos intermedios del espectro.

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

Tabla 7. Intensidad de los movimientos sísmicos para diferentes perfiles en periodos intermedios.

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

### 6.5.1 Nivel de amenaza sísmica

Considerando los valores obtenidos en las tablas de clasificación los coeficientes son:

- Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva para el diseño:  $A_a$ : 0.20
- Coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva para el diseño:  $A_v$ : 0.20

Valores:  $A_e$ : 0.12  $A_d$ : 0.06

### 6.5.2 Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar

Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil del suelo indistintamente que esté integrado por suelo no cohesivo o cohesivo, se obtiene por medio de:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \bar{N}_i}$$

Considerando,  $N$  máx. = 50 golpes  $N$  mín. = 16 golpes

**Tabla 8**  
*Clasificación de los perfiles de suelo*

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total <b>H</b> mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
F	<p>Los perfiles de suelo tipo <b>F</b> requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases:</p> <p><b>F<sub>1</sub></b> — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.</p> <p><b>F<sub>2</sub></b> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (<b>H</b> &gt; 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p> <p><b>F<sub>3</sub></b> — Arcillas de muy alta plasticidad (<b>H</b> &gt; 7.5 m con Índice de Plasticidad <b>IP</b> &gt; 75)</p> <p><b>F<sub>4</sub></b> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (<b>H</b> &gt; 36 m)</p>	

Tabla 8. Descripción de los perfiles del suelo y velocidades promedio de penetración. NSR 10 – A.2.4-1

### 6.5.3 Efectos locales

Figura 9

Coefficiente de amplificación  $F_a$  del suelo para la zona de periodos cortos del espectro:

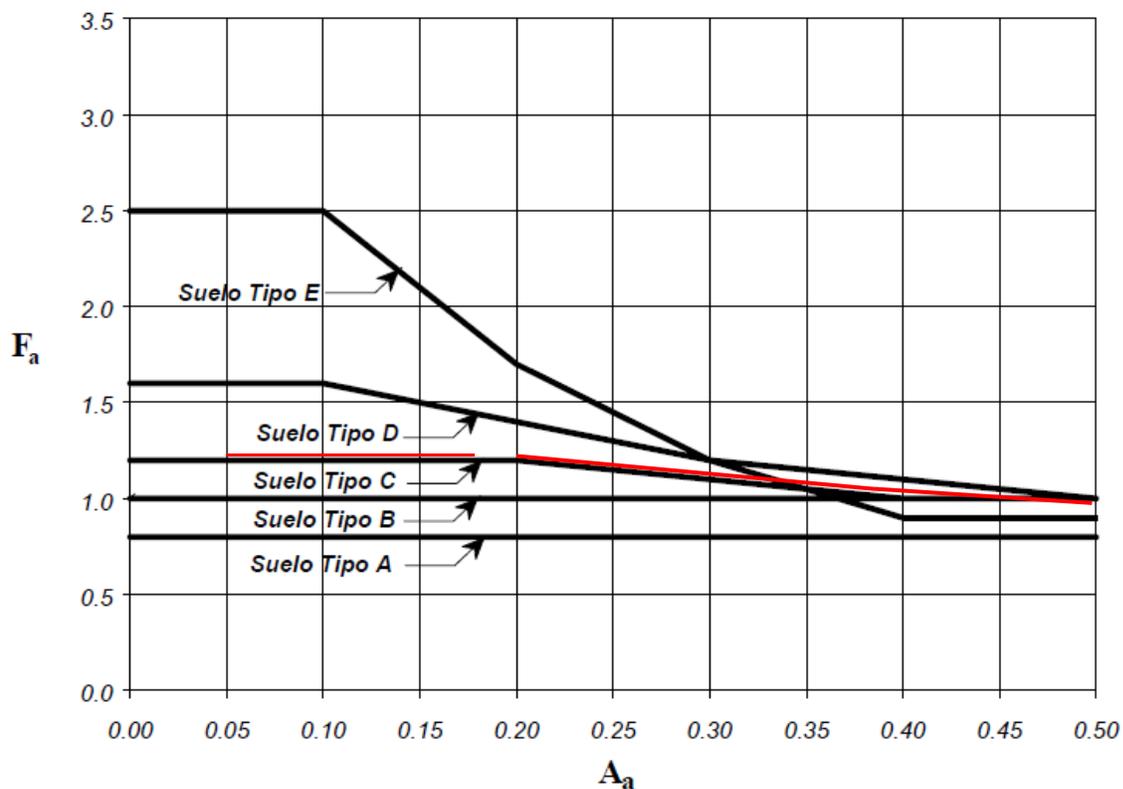


Figura 9. Comportamiento del coeficiente de amplificación  $F_a$  para la zona de periodos cortos.

#### Tipo de perfil del suelo: C

- Coeficiente de amplificación del suelo para zonas de periodos cortos del espectro:

$F_a$ : 1.2

- Coeficiente de amplificación del suelo para zonas de periodos intermedios del espectro:

$F_v$ : 1.6

- Grupo de uso: I
- Coeficiente de importancia: 1.00

Figura 10

Espectro de diseño según la NSR - 10

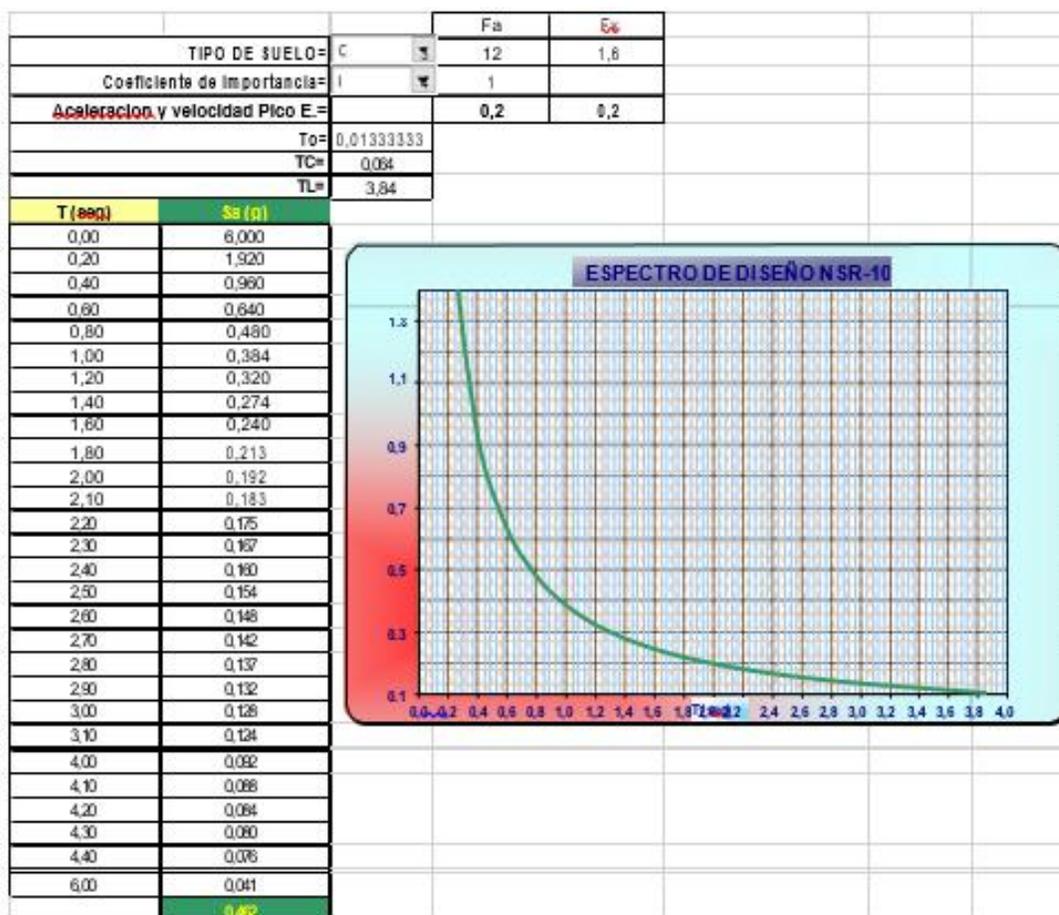


Figura 10. Curva del comportamiento de la aceleración para el espectro de diseño según la NSR – 10.

## 6.6 Sondeos exploratorios

Empleando el método de perforación a percusión sin lavado, con equipo mecánico, se realizó UNA (1) perforación, la cual se llevó hasta profundidades variables entre 0,0 y 3.50 m, en donde se obtuvo rechazo en suelos ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD, además a esta profundidad se considera que los esfuerzos transmitidos por los cimientos son mínimos y no afectan la estructura del suelo.

Las características y distribución de los sondeos cumplen las disposiciones expuestas en la Norma NSR 10 en sus numerales H.3.1-1 y H.3.2-1; en cuanto a recuperación, número de muestras, proyección, área de la unidad y registros.

### 6.6.1 Número mínimo de sondeos

Para definir el número de sondeos en un proyecto, se definirán Inicialmente las unidades de construcción de acuerdo con las normas dadas en el numeral H.3.1.1. En todos los casos el número mínimo de sondeos para un estudio será de tres (3) y para definir el número se debe aplicar el mayor número de sondeos resultante y el número de unidades de construcción.

**Tabla 9**

*Clasificación de las unidades de construcción por categorías*

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

Tabla 9. Valores de cargas máximas según categoría de la unidad de construcción. NSR 10 H.3.1-1.

**Tabla 10**

*Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción*

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

Tabla 10. Profundidades y números de sondeos requeridos según categoría de la unidad. NSR 10.

### 6.6.2 Localización del sondeo

Teniendo en cuenta las condiciones topográficas, estructurales, sociales y de orden público el sondeo se desarrolló en las siguientes coordenadas:

**SONDEO 1:      E: 918713.843              N: 966497.270**

**Figura 11**

*Ubicación geográfica del sondeo*



Figura 11. Vista superior de la ubicación geográfica del sondeo sobre la ribera. Google maps.

## **6.7 Laboratorios**

A las muestras extraídas de cada uno de los estratos estudiados se le realizaron pruebas de laboratorio, dentro de las cuales se midieron parámetros como: análisis granulométricos, límites de Atterberg, humedad natural con el objeto de hacer la clasificación del sistema AASHTO y USCS.

### **6.7.1 Características del material del sondeo**

Los suelos perforados están formados en la parte superior por una capa bien gradada con pocos finos 0.00 – 0.70 mts. (presenta humedad, pero no nivel freático). Avanzando en la perforación, desde 0.70 – 3.50 mts, se encuentra una capa de arcilla de baja comprensibilidad de color café apta para cimentación.

Figura 12

Perfil del suelo

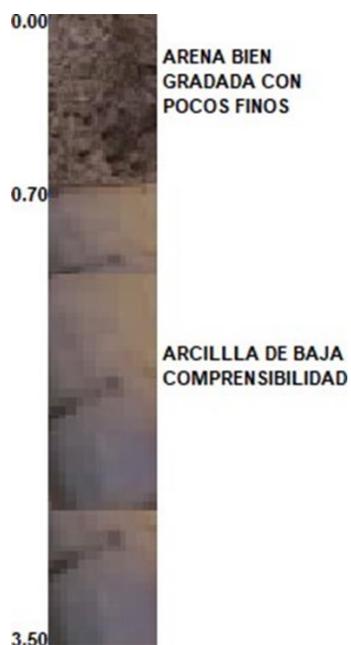


Figura 12. Tipo de material encontrado durante el sondeo.

El valor normalizado de penetración N es para 12" (1 pie = 30 cm), se expresa en golpes/pie y es la suma de los dos últimos valores registrados. El ensayo se dice que muestra "rechazo" si:

- (a) N es mayor de 50 golpes/15 cm,
- (b) N es igual a 100 golpes/pie o
- (c) No hay avance luego de 10 golpes

**Tabla 11**

*Relación de golpes en la perforación*

Sondeo	Número de golpes														
	Profundidad			Profundidad			Profundidad			Profundidad			Profundidad		
	1,167	1,33	1,50	1,67	1,83	2,00	2,17	2,33	2,50	2,67	2,83	3,00	3,17	3,33	3,50
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
Sondeo 1	45	52	56	58	61	62	63	64	65	66	66	68	70	71	73

Tabla 11. Numero de golpes registrados durante el sondeo 1 para diferentes profundidades.

Figura 13

Relación de golpes en el Ensayo SPT

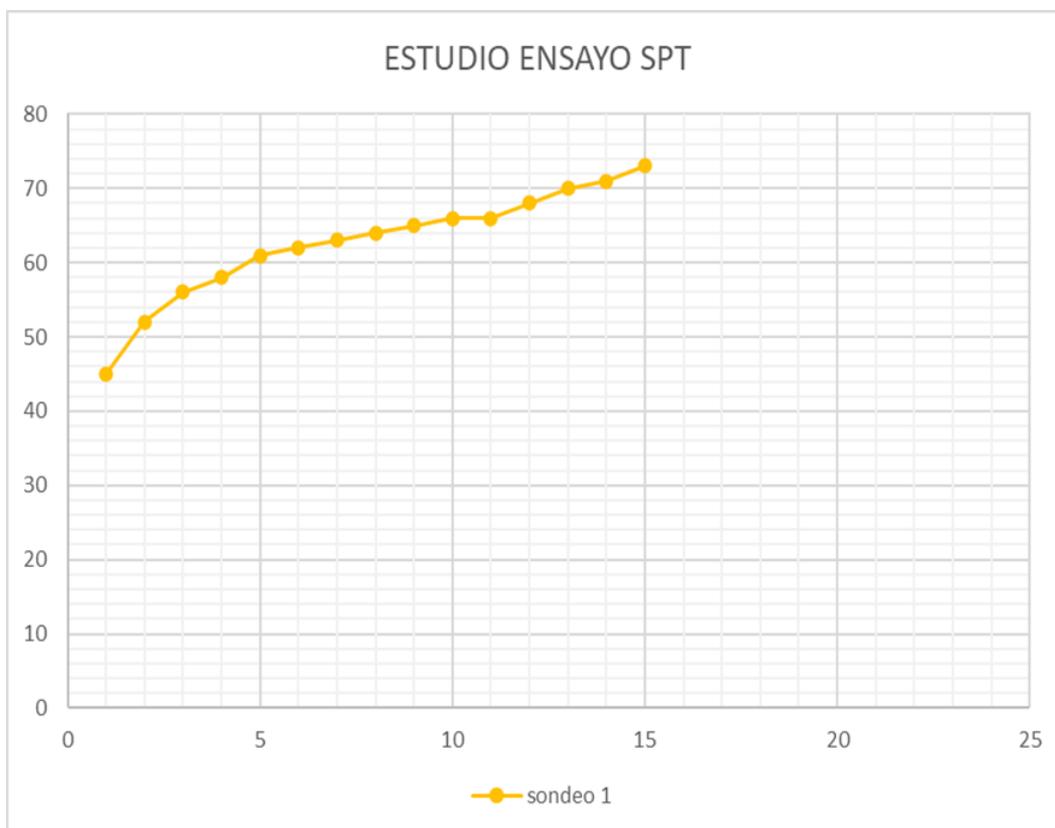


Figura 13. Curva de comportamiento del material durante el ensayo SPT.

### 6.7.2 Descripción de los suelos

Analizando las muestras recolectadas con el sondeo, en los diferentes estratos perforados se obtuvieron los siguientes resultados:

**6.7.2.1 Nivel de aguas freáticas.** No se detectó nivel freático en los sondeos realizados hasta la profundidad explorada. (se detectó humedad en el terreno, pero no nivel freático).

El contenido de humedad del suelo está comprendido entre el 14,22% y 8,89%, encontrándose dentro los parámetros admisibles (NSR 10-2-2-2-1-a), sin que pueda afectar el comportamiento del suelo.

**Tabla 12***Porcentaje de humedad en las muestras*

HUMEDAD				
Sondeos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
sondeo 1	14,22%	12,72%	10,21%	8,89%

Tabla 12. Resultados de humedad en porcentaje para cada muestra.

**6.7.2.2 Límites de conciencia y contenidos de humedad.** Los límites de consistencia y/o Atterberg están comprendidos según los valores presentados:

**Tabla 13***Límites de Consistencia según pruebas de laboratorio.*

Sondeos	Muestra-1			Muestra 2			Muestra 3			Muestra 4		
	LL	LP	IP									
Sondeo1	25,55%	14,90%	10,65%	25,59%	15,00%	10,59%	25,46%	14,60%	10,86%	25,78%	14,00%	11,78%

Tabla 13. Resultados para los límites de consistencia en cada una de las muestras.

**6.7.2.3 Caracterización de los suelos.** Analizando los resultados de los sondeos en los diferentes estratos en cada uno de los sondeos, se obtuvo los siguientes resultados:

- El suelo encontrado se clasifica como capa 0.70 – 6.00 mts
- Se encuentra una capa de ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD.
- El suelo presenta una capacidad de soporte estable.
- Según el ensayo del SPT indica que tiene una consistencia media a una profundidad de 1.80 mts.
- La densidad seca del suelo está en promedio entre 1.829 Ton/m<sup>3</sup>. el Angulo de fricción 34,7°.

$m^3 \cdot$	<b>Peso Unit. Húmedo, <math>\gamma</math> [ton/</b>	<b>279</b>
$m^3 \cdot$	<b>Peso Unit. Seco, <math>\gamma_d</math> [ton/</b>	<b>592</b>

**Tabla 14***Ángulos de fricción*

sondeo 1	32	48	49		58	61	62		63	64	65		66	66	68		70	71	73	
N'	23,5	31,5	32		36,5	38	38,5		39	39,5	40		40,5	40,5	41,5		42,5	43	44	
Nspt	31,75				38,25				39,75				41				43,5			
N60	26,2				31,6				32,8				33,8				35,9			
∅ eq	36,4				38,1				38,4				38,8				39,4			
∅ eq	36,8				38,3				38,7				39,0				39,5			
∅ eq	34,9				36,9				37,3				37,6				38,3			
∅ eq	33,0				34,2				34,5				34,7				35,2			
∅ eq	32,3			34,7	33,9			36,3	34,3			36,6	34,6			36,9	35,2			37,5

Tabla 14. Valores de los ángulos de fricción encontrados durante el sondeo.

- La capacidad portante admisible para la edificación es  $q_{ad} = 18,903 \text{ TON/m}^2$ , según la fórmula de terzaghi.

**Tabla 15***Capacidad portante admisible*

B/L	q adm(Ton/m <sup>2</sup> )					
	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
0,1	18,903	18,529	18,166	17,841	17,565	17,341
0,2	19,262	18,968	18,641	18,331	18,058	17,831
0,3	19,675	19,458	19,161	18,861	18,587	18,353
0,4	20,143	19,994	19,720	19,422	19,141	18,896
0,5	20,690	20,599	20,337	20,337	19,738	19,476
0,6	21,332	21,281	21,014	21,014	20,375	20,090
0,7	22,099	22,056	21,763	21,763	21,059	20,743
0,8	23,029	22,943	22,594	22,594	21,438	21,438
0,9	24,180	23,970	23,523	23,523	22,584	22,178
1	25,643	25,171	24,568	24,568	23,440	22,970

Tabla 15. Valores de capacidad portante admisible en (ton/m<sup>2</sup>) según la fórmula de Terzaghi.**Tabla 16***Variabilidad de la capacidad portante*



Figura 14

*Capacidad portante admisible*

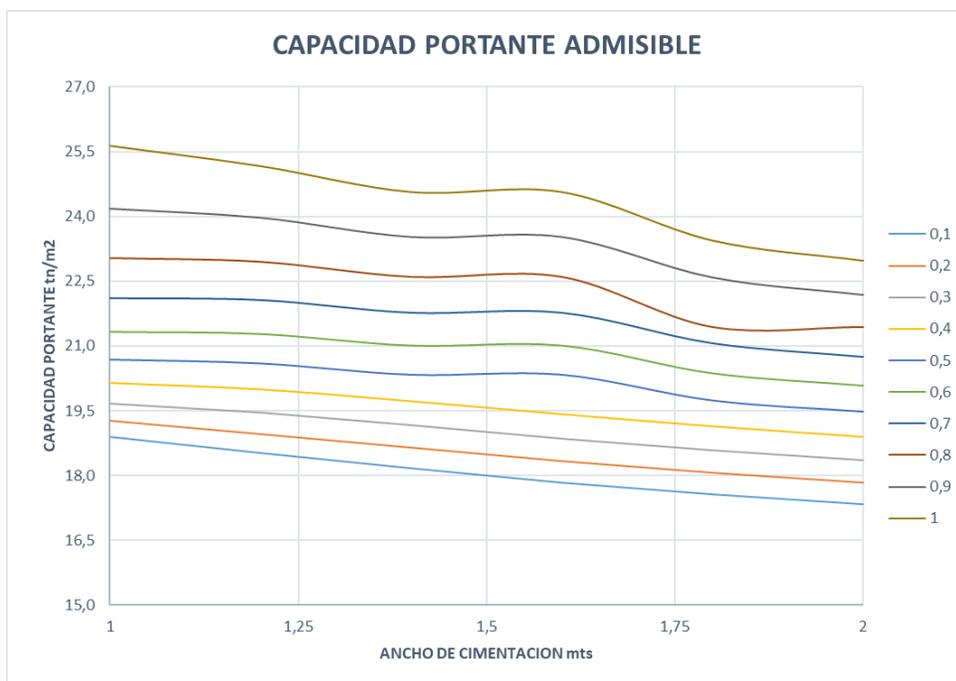


Figura 14. Comportamiento de la capacidad portante del suelo para diversas profundidades.

## 6.8 Factores de inestabilidad del talud

### 6.8.1 Parámetros geométricos

La conformación topográfica del talud: altura, pendiente, curvatura, largo y ancho, afectan la estabilidad de un talud, por cuanto la topografía presenta una tasa de meteorización y de infiltración del agua a través del material del talud, afectando la cantidad de agua disponible, lo cual determina la ocurrencia de los niveles freáticos altos.

**6.8.1.1 Pendiente alta.** El ángulo de pendiente del talud es próximo a los 45° a partir del cual un talud es inestable. El suelo analizado correspondiente a arcillas plásticas de mediana plasticidad con presencia de materia orgánica saturadas el cual se recomienda generar ángulos no mayores a los 20° y hasta valores de la mitad del ángulo de fricción.

**6.8.1.2 Largo – ancho.** Entre más largo sea un talud, mayor recorrido tendrán las aguas de escorrentía sobre éste y por lo tanto el talud estará más expuesto a la erosión superficial. En el caso de la zona de estudio el talud tiene un largo de 12 metros y un ancho de 27,4 metros, abarcando un área lo suficientemente amplia para sufrir alteraciones por remoción de partículas, erosión y lavado.

**6.8.1.3 Áreas de infiltración.** Es importante identificar áreas de concentración de agua arriba del talud, que coinciden con depresiones topográficas o zonas de regadío intenso. Entre más grande sea la zona que aporte agua al talud, será mayor la cantidad de agua que está afectando la Estabilidad del mismo. Para este caso en la zona superior no se encuentran concentraciones de agua.

### **6.8.2 *Parámetros hidrológicos e hidrogeológicos***

Los cambios en el régimen de aguas subterráneas actúan como detonadores de movimientos en las laderas o taludes y estos se encuentran generalmente, relacionados con las lluvias y la hidrología superficial. La ocurrencia de períodos lluviosos intensos produce ascensos en los niveles Piezométricos y la saturación disminuye las tensiones capilares. En el área de estudio se evidencian movimientos de masa, que pudieron ocasionarse por el aumento del nivel del río en los periodos de lluvias altas.

### **6.8.3 *Tipo de falla presentada***

Luego de realizar la inspección de la zona de talud se puede evidenciar una Falla por Deslizamiento Superficial, este tipo de falla es el producido por la acción de las fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones del suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo. Este fenómeno es más intenso cerca de la superficie inclinada del talud debido a la ausencia de presión normal confinante. y generado por los anteriores parámetros descritos.

Otras causas que pueden producir éste tipo de falla son: aumento de las cargas actuantes en la cresta del talud, disminución de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante o en el caso de laderas naturales, generados por los parámetros determinados anteriormente.

#### 6.8.4 Condiciones de empuje del suelo

Los siguientes resultados se obtuvieron a una profundidad de 1.80 mts durante el sondeo realizado en la zona de estudio. El tipo de material encontrado según los laboratorios mencionados con anterioridad es una arcilla de baja compresibilidad (CL):

**Tabla 17**

*Empuje del suelo en condición activo según Rankine.*

		<b>ACTIVO</b>			
1er estrato	$\gamma_d=$	15,98	kN/m <sup>3</sup>		
	$\gamma_{sat}=$	18,29	kN/m <sup>3</sup>		
	Profundidad=	1,5	m		
	$c'=$	0,51	kN/m <sup>2</sup>		
	$\phi'=$	34,7	°	$K_a=$	0,274

Tabla 17. Valores del empuje para la condición activo.

**Tabla 18**

*Empuje del suelo en condición pasivo según Rankine.*

		<b>PASIVO</b>			
1er estrato	$\gamma_d=$	15,98	kN/m <sup>3</sup>		
	$\gamma_{sat}=$	18,29	kN/m <sup>3</sup>		
	Profundidad=	1,5	m		
	$c'=$	0,51	kN/m <sup>2</sup>		
	$\phi'=$	34,7	°	$K_p=$	3,643

Tabla 18. Valores del empuje para la condición pasivo.

**Tabla 19***Empuje del suelo en condición activo según Coulomb.*

ACTIVO				
Inclinación superficie	$i=$	10		$K_a=$ 0,284
Inclinación trasdós	$\beta=$	90		
Roz. Terreno-muro	$\delta=$	11,6	--->Aprox	11,6 23,1
Ángulo rozamiento	$\phi=$	34,7		
Cohesión	$c=$	0,51		
Densidad seca	$\gamma_d=$	15,98	kN/m <sup>3</sup>	
Densidad saturada	$\gamma_{sat}=$	18,29	kN/m <sup>3</sup>	
Profundidad muro		1,5	m	

Tabla 19. Valores del empuje para la condición activo.

**Tabla 20***Empuje del suelo en condición pasivo según Coulomb.*

PASIVO				
Inclinación superficie	$i=$	10		$K_p=$ 9,194
Inclinación trasdós	$\beta=$	90		
Roz. Terreno-muro	$\delta=$	11,6	--->Aprox	11,6 23,1
Ángulo rozamiento	$\phi=$	34,7		
Cohesión	$c=$	0,51		
Densidad seca	$\gamma_d=$	15,98	kN/m <sup>3</sup>	
Densidad saturada	$\gamma_{sat}=$	18,29	kN/m <sup>3</sup>	
Profundidad muro		1,5	m	

Tabla 20. Valores del empuje para la condición activo.

## CAPÍTULO VII

### 7 Análisis y discusión de resultados

#### 7.1 Condiciones generales

La franja seleccionada para la investigación fue la margen derecha de la ribera del río Magdalena, en la zona urbana del municipio de Girardot (Cundinamarca), la cual comprende una extensión aproximada de 680 metros expuestos; aunque el recorrido del río supera los 3 km dentro de la zona urbana, una inspección fotográfica, planimétrica y cartográfica permitió referenciar el tramo de la ribera entre los puentes vehicular y ferroviario como la más vulnerable a posibles deterioros por amenazas de tipo geotécnico, considerando aspectos como pendiente del talud, contenido orgánico de la capa de suelo superficial, alteraciones estructurales en las construcciones aledañas, distancia a la margen del río, entre otros.

El punto seleccionado para la perforación se ubicó en el barrio San Miguel, contiguo a la estructura reconocida como “El Embarcadero”, en las coordenadas E: 918713.843 y N: 966497.270, haciendo uso del método de penetración estándar. Las herramientas y equipos para llevar a cabo la penetración y recolección de muestras fueron debidamente verificadas por ingenieros con alta experiencia y experticia en estudios de suelos y análisis del comportamiento de materiales.

#### 7.2 Rasgos geológicos

Aunque la región a la que pertenece el municipio de Girardot, está conformada en su gran mayoría por conglomerados, arcillolitas e intercalaciones de areniscas concernientes a los depósitos aluviales y las formaciones Barzaloya y Gualanday, los análisis de suelos llevados a cabo en regiones cercanas al punto de investigación muestran una gran representación de lutitas con intercalaciones de gravas y areniscas típicas del Grupo Honda y grandes sucesiones de arcillolitas con limonitas propias de la formación Guadalupe.

Luego de revisar el atlas geológico de Ingeominas y las memorias explicativas del Servicio Geológico Colombiano en su plancha 245, y de realizar una inspección del material que aflora en los cortes transversales expuestos, se comprueba que las rocas que conforman el área de estudio son depósitos Vulcanoclásticos el periodo cuaternario. Resaltando el Cuaternario consta de coluviones y depósitos aluviales de los ríos Magdalena, Bogotá y Coello y los abanicos de Ibagué y Espinal.

Desde el punto de visto estructural, la geología de la zona se caracteriza según la memoria explicativa por la conformación de una serie de anticlinales y sinclinales apretados de la barrera Girardot – Guataquí, producidos por una adaptación que sufre la cobertura sedimentaria, al zócalo; además, formados por una serie de bloques fallados, basculados hacia el oriente. Este tipo de alteraciones tectónicas sumadas al grupo de fallas generadas por el levantamiento de la cordillera central, son rasgos morfológicos que se deben considerar al analizar las amenazas a las que se pueden exponer los puntos de estudio dentro del área de investigación.

### **7.3 Características climatológicas**

Girardot se encuentra ubicada en una zona de tipo tropical, el año está dividido en 2 periodos de lluvias significativas, en el que la precipitación máxima es de 196 mm y la mínima es de 47 mm. Sus temperaturas sus altas, teniendo un promedio de 27,8° C normalmente, el mes de agosto es el presenta los valores más altos y el mes de noviembre las más bajas.

Al calcular el caudal pico de lluvias para el municipio se obtuvo un valor de 62,531 L/s, teniendo como base de información 70,8 mm/h de precipitación máxima y un coeficiente de impermeabilidad promedio de 0,766. Estos valores se hacen significativos para correlacionarse con los periodos de lluvias altas en la región y poder calcular la escorrentía que puede producirse en lugares determinados. Los altos valores de escorrentía pueden alterar los índices de saturación de los suelos y ocasionar desprendimientos de material o movimientos masales de alto impacto. En la zona, aunque los niveles

del río no son alterados constantemente por grandes lluvias, existen rastros de algunas inundaciones que se han presentado durante la última década.

#### **7.4 Amenazas naturales**

El sector comprendido en el área de la plancha 245 del SGC, contempla el este de la región enfrentado a probabilidades medias y altas de ocurrencia de fenómenos catastróficos, particularmente de tipo de socavamiento y movimientos en masa, y las condiciones geológicas y geomorfológicas son propicias para la incidencia de estos eventos. Uno de los factores que con mayor frecuencia activa este tipo de fenómenos en la oferta hídrica concentrada o altas intensidades de descarga fluvial.

Como se referenció anteriormente la zona de estudio se encuentra afectada por un grupo de fallas que originaron el levantamiento de las cordilleras central y oriental, donde algunas de ellas presentan actividad durante el periodo cuaternario. Esto significa, alteración de las condiciones originales en la época reciente geológicamente hablando.

Según los mapas de amenazas sísmica de Colombia, la región está catalogada como zona de amenaza intermedia hacia la parte Este y una zona de amenaza alta en la parte Occidente, asociada a la falla de Ibagué. Para el punto de estudio en particular la categoría de amenaza sísmica intermedia permite valorar los coeficientes  $A_a$  y  $A_v = 0,20$ . Al determinar el tipo de perfil considerando los efectos como: la velocidad media de la onda cortante, el número de golpes del ensayo de penetración estándar, el índice de plasticidad y el contenido de agua; el tipo de perfil del suelo es "C".

Consecuente con los resultados obtenidos los coeficientes de amplificación del suelo para periodos cortos e intermedios del espectro son  $F_a = 1.2$  y  $F_v = 1.6$ . Aunado a lo anterior, el Grupo de Uso es el I – (Estructuras de ocupación normal) y por lo tanto el coeficiente de importancia es 1,00. Estos factores encontrados se deben tener en cuenta para cualquier tipo de alternativa constructiva en la zona de investigación y para medir el grado de peligrosidad sísmica al que se encuentran las edificaciones del sector.

Para el área planteada en la investigación, las amenazas por remoción en masa son significativas e incluyen los procesos conocidos como erosión, caídas, deslizamientos, reptación y avalanchas. Estos procesos se presentan en aquellas zonas montañosas que tienen pendientes fuertes, en las de regímenes climáticos severos, los de complejidad litológica y estructural, y en zonas con uso de suelo inadecuado; precisamente algunas de estas condiciones se pueden observar el parte norte del margen evaluado.

El tema de inundaciones es un poco más difícil de examinar, la región cuenta con información sobre precipitaciones, pero los esquemas o modelos que evalúan los periodos de retorno o los estudios sobre el comportamiento climatológico no son numerosos, haciendo compleja la prevención de este tipo de amenaza.

#### **7.5 Método exploratorio**

Utilizando el método de perforación a percusión sin lavado, con un equipo mecánico, el estudio del suelo arrojó rechazo a una profundidad de 3,50 metros. El número de sondeos realizados en la zona de estudio fue establecido por parámetros registrados dentro de la normatividad. Aunque un mayor número de sondeos permite obtener información más específica de la zona, las condiciones topográficas y morfológicas permiten establecer regularidad de los depósitos.

#### **7.6 Propiedades obtenidas en el laboratorio**

Luego de los análisis de las muestras de campo, los resultados alcanzados clasifican el material encontrado como una capa superior de Arena bien gradada con pocos finos y una capa inferior de arcilla de baja compresibilidad de color café la cual se considera apta para cimentación. Esta clasificación se origina al verificar factores como el número de golpes en la profundidad final, el cual es de 73, un valor que cumple con las recomendaciones establecidas en la norma.

Del mismo modo, los estudios arrojaron la no consecución del nivel freático en la profundidad explorada, sin embargo, la humedad del suelo está entre 14,22% y 8,89%, siendo aceptable según los parámetros de la norma.

En cuanto a los límites de consistencia los Índices de Plasticidad están entre valores de 11,78% y 10,59% demostrando una baja plasticidad del material o lo que es lo mismo una gran probabilidad de transformación de semisólido a líquido con pequeños incrementos de humedad.

Según estas propiedades el suelo encontrado se clasifica como una capa de Arcilla de baja compresibilidad, con una capacidad de soporte estable, consistencia media y un peso unitario de 1,829 Ton/m<sup>3</sup>, resultando una capacidad portante admisible de 18,903 Ton/m<sup>2</sup>.

### **7.7 Aspectos condicionantes del talud**

Teniendo en cuenta las propiedades del material depositado en la zona de estudio, el talud que se prolonga por la margen del río en dirección Este puede verse afectado por posteriores eventos de tipo geológico o hidrológico. Dentro de los resultados más importantes hallados en la investigación se encontró que el talud tiene un ángulo de inclinación cercano a los 45°, aumentando sus probabilidades de inestabilidad. EL tamaño del área vulnerable es suficiente para que sufra alteraciones de remoción de partículas y erosión en aquellos casos donde el contenido de humedad aumente drásticamente por elevadas precipitaciones en el sector.

Cabe resaltar en este punto, que existen rasgos evidentes de arrastre de material por el río cuando los niveles del mismo han aumentado, superando la cota del nivel de aguas registrado en promedio. Por último, en el punto de valoración se evidencia una falla por deslizamiento superficial que pudo ser ocasionado por la acción de fuerzas naturales o por la ausencia de presión normal confinante.

## CAPÍTULO VIII

### 8 Conclusiones

Los ensayos de laboratorio permitieron caracterizar las muestras de suelo recolectadas por el método de perforación seleccionado con el objetivo de clasificarlas. El perfil que se obtuvo de acuerdo a la clasificación SUCS está compuesta por una capa inicial de arena bien gradada y una capa inferior más potente de arcilla de baja compresibilidad. De esta misma forma los resultados permitieron identificar valores de humedad y de plasticidad del material con rangos permisibles para llevar a cabo procesos de cimentación.

La estabilidad del material que constituye el talud representativo de la margen estudiada puede verse afectado por factores como aumento de precipitaciones en épocas de lluvias altas, escorrentías y aumento de la saturación de agua en el suelo, puesto que, aunque las partículas muestran grados de cohesión efectivos, las pendientes son muy pronunciadas, los arrastres de material son frecuentes, la erosión cada vez es más significativa en la zona y existe una falla de tipo superficial que bajo alteraciones de tipo sísmico podría ocasionar movimientos masales.

En el tema de amenazas naturales que puede sufrir la zona, el sistema de análisis de vulnerabilidad sísmica clasifica la región como una zona intermedia de riesgo; sin embargo, aspectos como la geomorfología, la topografía, los sistemas de fallas contiguos, las pendientes pronunciadas, la variación de la fuerza tractiva que presenta el río Magdalena, los aumentos de nivel del mismo río (no solo cuando las lluvias aumentan sino también cuando se requiere hacer un control de flujo en las represas aguas arriba), generan una cuantificación no favorable sobre episodios que alterarían la estabilidad de los depósitos y acarrearían procesos correctivos futuros sobre las construcciones.

Con los resultados obtenidos respecto a las propiedades del suelo que conforma la ribera de la margen derecha del río Magdalena en el área analizada podemos razonar que las estructuras que allí se han levantado cuentan con un material de soporte apto y efectivo para cimentar el tipo de edificaciones que se encuentran. No obstante, es necesario recordar que el municipio tomó la decisión de categorizar la ribera del río Magdalena como un área histórica, cultural o de protección del paisaje, en el Plan de Ordenamiento Territorial, y por este motivo no se puede llevar a cabo ninguna transformación de tipo estructural en esta zona.

## CAPÍTULO IX

### 9 Recomendaciones

En las zonas de alta susceptibilidad donde son evidentes los rasgos de erosión y remoción que ha sufrido el material depositado, se debe evitar la construcción de cualquier tipo de estructura nueva. En el caso de ser requerido por motivos excepcionales se deberá acondicionar el terreno, eliminando cualquier tipo de material inapropiado y reemplazando el material superficial.

Para los puntos que requieren manejo de aguas superficiales generadas por los eventos pluviométricos que se denotan en el área, se proyecta como posible solución la construcción de obras de intercepción y evacuación de estas aguas, con el objetivo de evitar la infiltración producto de la escorrentía superficial que pueden aportar las aguas lluvias, ayudando a evitar la saturación del material y una posible sobrecarga que conlleva a desprendimiento.

Es necesario realizar una completa evaluación de impactos y riesgos geotécnicos en las obras que se ejecutaron en el área de estudio aumentando el número de perforaciones, sondeos, apiques y recolección de material; con miras a reconocer aspectos que pueden afectar el comportamiento de las estructuras ante posibles eventos naturales como sismos, inundaciones, desplazamientos de material, remociones de masa o fallas superficiales.

Reconociendo que la gran mayoría de familias que habitan la zona, no han podido reubicarse por motivos económicos o políticos, se sugiere realizar mejoramiento estructural a algunas de estas viviendas, además la instalación de canales y bajantes para la conducción de aguas de las cubiertas. Ahora bien, la mejor forma de evitar que estas comunidades se vean afectadas por amenazas naturales que alterarían las condiciones del territorio es elaborar un plan que involucre el traslado de las mismas a zonas donde se mejore su calidad de vida.

## Referencias

- Abril-González, N. A., Amaya-Reyes, E. G., & Fonseca-Peralta, H. A. (2016). Evaluación de amenazas por movimientos en masa causados en Jericó Boyacá, durante el periodo invernal de 2011. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(1), 6-13.
- Agudelo Benavides, D. E. (2012). Influencia de los procesos de meteorización en la estructura del suelo y la estabilidad de taludes.
- Alfaro, A. J., González, A. F., & Macías, A. T. (2000). DESASTRES NATURALES Y DESPLAZADOS EN COLOMBIA De Desastre Natural a Catástrofe Social. Memorias de la XX Reunión de Facultades de Ingeniería.
- Atencia, Y. H., & Arcila, H. R. (2016). Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 26(2), 111-128.
- Cárdenas, K. (2018). Análisis general de la gestión del riesgo por inundación en Colombia. *Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*, 4(1).
- Cuervo, G. R. V. (2001). Amenazas geológicas del departamento del Huila.
- Duque Escobar, G. (2007). Amenazas naturales en los Andes de Colombia. Departamento de Matemáticas y Estadística.
- Fajardo Fonseca, O. E. (2016). Evaluación geológica, geomorfológica y caracterización geotécnica del deslizamiento El Cairo en el municipio de San Luis de Gaceno en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor (Corpochivor).
- Forero Dueñas, C. A. (1994). En: *Conceptos y Metodología Básica de Zonificación Geotécnica*. V Congreso Colombiano de Geotecnia. Medellín.
- Iriondo, M. (2007). *Introducción a la Geología*. Editorial Brujas.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2014). *Mecánica de suelos*.

Keipi, K., Castro, S. M., & Bastidas, P. (2005). Gestión de riesgo de amenazas naturales en proyectos de desarrollo Lista de preguntas de verificación ("Checklist"). Serie de informes de buenas prácticas del Departamento de Desarrollo Sostenible. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Largaespada, K., & Henríquez, C. (2015). Distribución espacial de la humedad y su relación con la textura en un suelo. *Agronomía Costarricense*, 39, 137-147.

Leoni, A. (2015). Propiedades físicas de los suelos. Ing. Leoni & Asociados, 90.

López Florez, L. V., & Robayo Gonzalez, F. A. (2007). Zonificación geotécnica preliminar del casco urbano del municipio de Barrancabermeja, Santander.

López Florez, L. V., & Robayo Gonzalez, F. A. (2007). Zonificación geotécnica preliminar del casco urbano del municipio de Barrancabermeja, Santander.

Memorias del 1er Seminario en Desastres Socionaturales: Experiencias y Desafíos para la Psicología y las Ciencias Sociales. Editores: Rodrigo Mardones Carrasco/Carolina Flores/Jorge Fischer Facultad de Ciencias Sociales. Departamento de Psicología. Universidad de Chile. 2013.

Polo, J. G. (2000). Estudios geotécnicos.

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay.

Saavedra, M. D. R., & Jaramillo Guerra, P. S. Desastre y riesgo: actores sociales en la reconstrucción de Armero y Chinchiná [reseña]. *Subjetividades e identidades*.

Salas, J. A. J., & de Justo Alpañes, J. L. (1975). Geotecnia y cimientos: Propiedades de los suelos y de las rocas. Rueda.

Sarmiento Espinoza, W. E. (2017). Determinación indirecta de la permeabilidad del suelo mediante el ensayo edométrico (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).

Sedano Cruz, R. K. (2013). Gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia.

Sevruk, B. (Ed.). (1992). Snow cover measurements and areal assessment of precipitation and soil moisture (p. 283). Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization.

Tellez Vargas, L. M. (2017). Caracterización de las zonas donde las condiciones geotécnicas son adecuadas para la construcción de infraestructura.

Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). Soil mechanics in engineering practice. John Wiley & Sons.

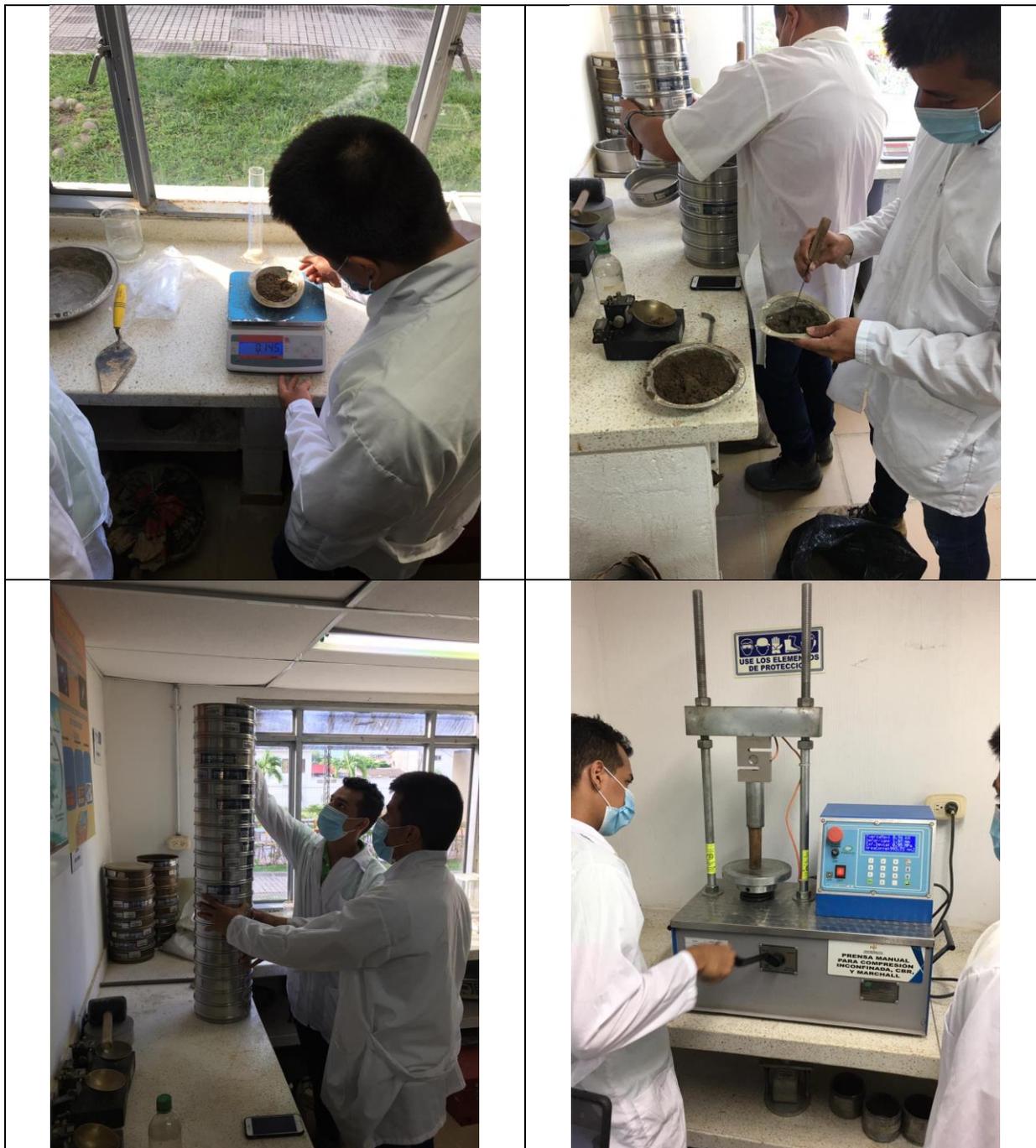
Yamin, L., Guesquiere, F., Cardona, O. D., & Ordaz, M. G. (2013). Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre. Banco Mundial, Universidad de Los Andes.

## Anexos

## Anexo 1

## Referencias fotográficas de trabajo de campo



**Anexo 2***Referencias fotográficas de trabajo de laboratorio*

## Ensayo de laboratorio

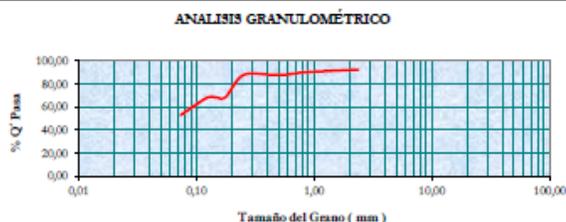
### Anexo 3

#### Tablas de resultados de laboratorio

<b>GRANULOMETRIA</b>					
<i>Ensayo :</i> ANALISIS GRANULOMETRICO POR LAVADO TAMIZ # 200					
<i>Norma :</i> INV-123-13					
<i>Fecha de Muestreo :</i> GIRARDOT CUNDINAMARCA 20 ABRIL 2021		<i>SONDEO:</i> 1		<i>MUESTRA:</i> 1	
<b>ANALISI GRANULOMETRICO POR LAVADO</b>					
Peso Inicial de la Muestra Seca		378,90	Gr	Ubicación :	
Peso de la Muestra Después del LaVado		182,40	Gr	Estrato :	
Pérdida por Lavado		196,50	Gr	Potencia:	
Tolerancia		51,86	%	D60 = 87,97	
				D30 = 87,41	
				D10 = 51,86	
				Cu = 1,696	
				Cc = 1,673	
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retenido (gr.) (%)</b>		<b>% Q' Pasa</b>	
8	2,380	27,9	7,36	92,64	
20	0,840	8,8	2,32	90,31	
30	0,590	8,90	2,35	87,97	
40	0,420	0,00	0,00	87,97	
60	0,250	2,10	0,55	87,41	
80	0,177	71,30	18,82	68,59	
100	0,149	0,00	0,00	68,59	
120	0,125	0,00	0,00	68,59	
200	0,074	63,40	16,73	51,86	
<b>Cazoleta</b>		0,00	0,00		
<b>Total Retenido :</b>		182,40	48,14		

<b>GRANULOMETRIA</b>					
<i>Ensayo :</i> ANALISIS GRANULOMETRICO POR LAVADO TAMIZ # 200					
<i>Norma :</i> INV-123-07					
<i>Fecha de Muestreo :</i> GIRARDOT CUNDINAMARCA 20 ABRIL 2021		<i>SONDEO:</i> 1		<i>MUESTRA:</i> 2	
<b>ANALISI GRANULOMETRICO POR LAVADO</b>					
Peso Inicial de la Muestra Seca		321,20	Gr	Ubicación :	
Peso de la Muestra Después del LaVado		153,50	Gr	Estrato :	
Pérdida por Lavado		167,70	Gr	Potencia:	
Tolerancia		52,21	%	D60 = 89,10	
				D30 = 88,61	
				D10 = 52,21	
				Cu = 1,707	
				Cc = 1,688	
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retenido (gr.) (%)</b>		<b>% Q' Pasa</b>	
8	2,380	20,4	6,35	93,65	
20	0,840	7,4	2,30	91,34	
30	0,590	7,20	2,24	89,10	
40	0,420	0,00	0,00	89,10	
60	0,250	1,60	0,50	88,61	
80	0,177	62,30	19,40	69,21	
100	0,149	0,00	0,00	69,21	
120	0,125	0,00	0,00	69,21	
200	0,074	54,60	17,00	52,21	
<b>Cazoleta</b>		0,00	0,00		
<b>Total Retenido :</b>		153,50	47,79		

GRANULOMETRIA					
Ensayo : ANALISIS GRANULOMETRICO POR LAVADO TAMIZ # 200					
Norma : INV-123-07					
Fecha de Muestreo : GIRARDOT CUNDINAMARCA 20 ABRIL 2021			SONDEO: 1 MUESTRA: 3		
ANALISI GRANULOMETRICO POR LAVADO					
Peso Inicial de la Muestra Seca		456,80	Gr	Ubicación :	
Peso de la Muestra Después del Lavado		215,40	Gr	Estrato :	
Pérdida por Lavado		241,40	Gr	Potencia:	
Tolerancia		52,85	%	Desechar Ensayo	
D60 =		87,98		Cu = 1,665	
D30 =		87,37		Cc = 1,642	
D10 =		52,85			
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (gr.)	(%)	% Q' Pasa	
8	2,380	34,8	7,62	92,38	
20	0,840	10,8	2,36	90,02	
30	0,590	9,30	2,04	87,98	
40	0,420	0,00	0,00	87,98	
60	0,250	2,80	0,61	87,37	
80	0,177	87,90	19,24	68,13	
100	0,149	0,00	0,00	68,13	
120	0,125	0,00	0,00	68,13	
200	0,074	89,80	15,28	52,85	
Cazoleta		0,00	0,00		
Total Retenido :		215,40	47,15		



GRANULOMETRIA					
Ensayo : ANALISIS GRANULOMETRICO POR LAVADO TAMIZ # 200					
Norma : INV-123-07					
Fecha de Muestreo : GIRARDOT CUNDINAMARCA 20 ABRIL 2021			SONDEO: 1 MUESTRA: 4		
ANALISI GRANULOMETRICO POR LAVADO					
Peso Inicial de la Muestra Seca		300,00	Gr	Ubicación :	
Peso de la Muestra Después del Lavado		135,30	Gr	Estrato :	
Pérdida por Lavado		164,70	Gr	Potencia:	
Tolerancia		54,90	%	Desechar Ensayo	
D60 =		89,53		Cu = 1,631	
D30 =		89,07		Cc = 1,614	
D10 =		54,90			
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (gr.)	(%)	% Q' Pasa	
8	2,380	18,9	6,30	93,70	
20	0,840	6,7	2,23	91,47	
30	0,590	5,80	1,93	89,53	
40	0,420	0,00	0,00	89,53	
60	0,250	1,40	0,47	89,07	
80	0,177	56,80	18,93	70,13	
100	0,149	0,00	0,00	70,13	
120	0,125	0,00	0,00	70,13	
200	0,074	45,70	15,23	54,90	
Cazoleta		0,00	0,00		
Total Retenido :		135,30	45,10		



<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>							
<b>Ensayo: LIMITES DE CONSISTENCIA</b>							
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>		Norma : INV.E-125-13					
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		Norma : INV.E-126-13					
Fecha de Muestreo:		GIRARDOT CUINDINAMERICA 20 ABRIL 2021					
PROYECTO							
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>		SONDEO: 1			PROFUNDIDAD: 1.00-1.50 MTS		
		MUESTRA: 1					
		<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>			<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		<b>Límites de Consistencia</b>
<b>Tara Numero</b>	<b>Unidad</b>	1	2	3	1	2	
Peso Tara + Muestra Humeda	Gr	24,60	22,00	20,80	9,10	10,60	Límite Líquido: LL = 25,53%
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	22,00	20,50	18,90	8,80	10,30	Límite Plástico: LP = 14,90%
Peso de la Tara	Gr	11,50	14,80	11,40	7,00	8,00	Índice de Plasticidad : IP = 10,65%
Peso de la Muestra Seca	Gr	10,50	5,70	7,50	1,80	2,30	
Peso del Agua	Gr	2,60	1,50	1,90	0,30	0,30	
Contenido de Humedad	%	24,76	26,32	25,33	16,67	13,04	
Numero de Golpes		15	17	25	Promedio :		14,9
		<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>					
<b>Numero de Golpes</b>	<b>Contenido de Humedad (%)</b>						
15	24,76						
17	26,32						
25	25,33						
25	25,546						
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>		SONDEO: 1			PROFUNDIDAD: 2.00-2.50 MTS.		
		MUESTRA: 2					
		<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>			<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		<b>Límites de Consistencia</b>
<b>Tara Numero</b>	<b>Unidad</b>	1	2	3	1	2	
Peso Tara + Muestra Humeda	Gr	19,80	20,50	21,20	8,70	6,70	Límite Líquido: LL = 25,59%
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	18,20	18,80	19,30	8,50	6,60	Límite Plástico: LP = 15,00%
Peso de la Tara	Gr	12,00	12,00	12,00	7,00	6,00	Índice de Plasticidad : IP = 10,59%
Peso de la Muestra Seca	Gr	6,20	6,80	7,30	1,50	0,60	
Peso del Agua	Gr	1,60	1,70	1,90	0,20	0,10	
Contenido de Humedad	%	25,81	25,00	26,03	13,33	16,67	
Numero de Golpes		21	28	34	Promedio :		15,0
		<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>					
<b>Numero de Golpes</b>	<b>Contenido de Humedad (%)</b>						
21	25,81						
28	25,00						
34	26,03						
25	25,594						

<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>																																																																																										
Ensayo : <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>																																																																																										
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>			Norma : INV E-125-13																																																																																							
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>			Norma : INV E-126-13																																																																																							
Fecha de Muestreo :			GIRARDOT CUNDINAMRCA 20 ABRIL 2021																																																																																							
PROYECTO:																																																																																										
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>		SONDEO: 1		PROFUNDIDAD: 2.50-3.00 MTS																																																																																						
		MUESTRA: 3																																																																																								
		<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>		<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		Límites de Consistencia																																																																																				
Tara Número	Unidades	1	2	3	1		2																																																																																			
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	31,10	29,70	30,80	14,30	13,20	Límite Líquido: LL = 25,46%																																																																																			
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	28,00	26,70	27,50	14,00	12,80	Límite Plástico: LP = 14,60%																																																																																			
Peso de la Tara	Gr	15,90	14,80	14,60	12,00	10,00	Índice de Plasticidad : IP = 10,86%																																																																																			
Peso de la Muestra Seca	Gr	12,10	11,90	12,90	2,00	2,80																																																																																				
Peso del Agua	Gr	3,10	3,00	3,30	0,30	0,40																																																																																				
Contenido de Humedad	%	25,62	25,21	25,58	15,00	14,29																																																																																				
Número de Golpes:		20	25	29	Promedio : 14,6																																																																																					
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>																																																																																										
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)																																																																																									
20	25,62																																																																																									
25	25,21																																																																																									
29	25,58																																																																																									
25	25,464																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"><b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b></th> <th colspan="2">SONDEO: 1</th> <th colspan="3">PROFUNDIDAD: 3.00-3.50 MTS</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">MUESTRA: 4</th> <th colspan="3"></th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2"><b>LÍMITE LÍQUIDO</b></th> <th colspan="2"><b>LÍMITE PLÁSTICO</b></th> <th rowspan="2">Límites de Consistencia</th> </tr> <tr> <th>Tara Número</th> <th>Unidades</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso Tara + Muestra Húmeda</td> <td>Gr</td> <td>31,20</td> <td>28,70</td> <td>32,70</td> <td>14,50</td> <td>12,30</td> <td>Límite Líquido: LL = 25,78%</td> </tr> <tr> <td>Peso Tara + Muestra Seca</td> <td>Gr</td> <td>27,80</td> <td>25,70</td> <td>29,00</td> <td>14,00</td> <td>11,90</td> <td>Límite Plástico: LP = 14,00%</td> </tr> <tr> <td>Peso de la Tara</td> <td>Gr</td> <td>14,40</td> <td>14,20</td> <td>14,60</td> <td>10,50</td> <td>9,00</td> <td>Índice de Plasticidad : IP = 11,78%</td> </tr> <tr> <td>Peso de la Muestra Seca</td> <td>Gr</td> <td>13,40</td> <td>11,50</td> <td>14,40</td> <td>3,50</td> <td>2,90</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso del Agua</td> <td>Gr</td> <td>3,40</td> <td>3,00</td> <td>3,70</td> <td>0,50</td> <td>0,40</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido de Humedad</td> <td>%</td> <td>25,37</td> <td>26,09</td> <td>25,69</td> <td>14,29</td> <td>13,79</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de Golpes:</td> <td></td> <td>15</td> <td>24</td> <td>31</td> <td colspan="2">Promedio : 14,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							<b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>		SONDEO: 1		PROFUNDIDAD: 3.00-3.50 MTS					MUESTRA: 4							<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>		<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		Límites de Consistencia	Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	31,20	28,70	32,70	14,50	12,30	Límite Líquido: LL = 25,78%	Peso Tara + Muestra Seca	Gr	27,80	25,70	29,00	14,00	11,90	Límite Plástico: LP = 14,00%	Peso de la Tara	Gr	14,40	14,20	14,60	10,50	9,00	Índice de Plasticidad : IP = 11,78%	Peso de la Muestra Seca	Gr	13,40	11,50	14,40	3,50	2,90		Peso del Agua	Gr	3,40	3,00	3,70	0,50	0,40		Contenido de Humedad	%	25,37	26,09	25,69	14,29	13,79		Número de Golpes:		15	24	31	Promedio : 14,0		
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>		SONDEO: 1		PROFUNDIDAD: 3.00-3.50 MTS																																																																																						
		MUESTRA: 4																																																																																								
		<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>		<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		Límites de Consistencia																																																																																				
Tara Número	Unidades	1	2	3	1		2																																																																																			
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	31,20	28,70	32,70	14,50	12,30	Límite Líquido: LL = 25,78%																																																																																			
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	27,80	25,70	29,00	14,00	11,90	Límite Plástico: LP = 14,00%																																																																																			
Peso de la Tara	Gr	14,40	14,20	14,60	10,50	9,00	Índice de Plasticidad : IP = 11,78%																																																																																			
Peso de la Muestra Seca	Gr	13,40	11,50	14,40	3,50	2,90																																																																																				
Peso del Agua	Gr	3,40	3,00	3,70	0,50	0,40																																																																																				
Contenido de Humedad	%	25,37	26,09	25,69	14,29	13,79																																																																																				
Número de Golpes:		15	24	31	Promedio : 14,0																																																																																					
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>																																																																																										
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)																																																																																									
15	25,37																																																																																									
24	26,09																																																																																									
31	25,69																																																																																									
25	25,783																																																																																									

<b>CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN SUCS</b>			
<b>CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN S.U.C.S</b>			
SONDEO:	1	PROFUNDIDAD:	1.00-1.50 mts
MUESTRA:	1		
% Que Pasa la Malla N° 200		51,86	
		92,64	
Límite Líquido	LL =	25,55 %	
Límite Plástico	LP =	14,9 %	
Índice de Plasticidad	IP =	10,65 %	
Tipo de Suelo Según su Granulometría : Suelo Fino			
Baja Plasticidad			
Tipo de Simbología : Simbología Normal			
Tipo de Suelo : CL , ML , OL			
Suelo : CL			
<b>Características del Suelo : CL</b>			
<b>CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN S.U.C.S</b>			
SONDEO:	1	PROFUNDIDAD:	2.00-2.50 mts
MUESTRA:	2		
% Que Pasa la Malla N° 200		52,21	
		93,65	
Límite Líquido	LL =	25,59 %	
Límite Plástico	LP =	15 %	
Índice de Plasticidad	IP =	10,59 %	
Tipo de Suelo Según su Granulometría : Suelo Fino			
Baja Plasticidad			
Tipo de Simbología : Simbología Normal			
Tipo de Suelo : CL , ML , OL			
Suelo : CL			
<b>Características del Suelo : CL</b>			
<b>CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN S.U.C.S</b>			
SONDEO:	1	PROFUNDIDAD:	2.50-3.00 mts
MUESTRA:	3		
% Que Pasa la Malla N° 200		52,85	
		92,38	
Límite Líquido	LL =	25,46 %	
Límite Plástico	LP =	14,6 %	
Índice de Plasticidad	IP =	10,86 %	
Tipo de Suelo Según su Granulometría : Suelo Fino			
Baja Plasticidad			
Tipo de Simbología : Simbología Normal			
Tipo de Suelo : CL , ML , OL			
Suelo : CL			
<b>Características del Suelo : CL</b>			

<b>CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN SUCS</b>			
<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S</b>			
SONDEO:	1	PROFUNDIDAD:	3.00-3.50 mts
MUESTRA:	4		
% Que Pasa la Malla Nº 200		54,90	
		93,70	
Límite Líquido	LL =	25,78 %	
Límite Plástico	LP =	14 %	
Índice de Plasticidad	IP =	11,78 %	
Tipo de Suelo Según su Granulometría: Suelo Fino			
Baja Plasticidad			
Tipo de Simbología: Simbología Normal			
Tipo de Suelo: CL, ML, OL			
Suelo: CL			
Características del Suelo: CL			

<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN A.A.S.H.T.O.</b>			
<b>CLASIFICACIÓN AASHTO</b>			
Parámetros Usados		SONDEO:	1
% Que Pasa la Malla Nº 200	51,86	Profundidad:	1.00-1.50 mts
% Que Pasa la Malla Nº 40	87,97	MUESTRA:	1
% Que Pasa la Malla Nº 10	92,64	Determinación del Índice de Grupo IG	
Límite Líquido	LL = 25,55 %	a =	16,86
Límite Plástico	LP = 14,90 %	b =	36,86
Índice de Plasticidad : IP =	10,65 %	c =	0,00
		d =	0,65
Tipo de Suelo: Material Lamo Arcilloso			
Clasificación de Suelos: A - 6			
Suelo: (4)			
Tipo de Material: Suelo Arcilloso			
Terreno de Fundación: Regular a Malo			
<b>CLASIFICACIÓN AASHTO</b>			
Parámetros Usados		SONDEO:	1
% Que Pasa la Malla Nº 200	52,21	Profundidad:	2.00-2.50
% Que Pasa la Malla Nº 40	89,10	MUESTRA:	2
% Que Pasa la Malla Nº 10	93,65	Determinación del Índice de Grupo IG	
Límite Líquido	LL = 25,59 %	a =	17,21
Límite Plástico	LP = 15,00 %	b =	37,21
Índice de Plasticidad : IP =	10,59 %	c =	0,00
		d =	0,59
Tipo de Suelo: Material Lamo Arcilloso			
Clasificación de Suelos: A - 6			
Suelo: (4)			
Tipo de Material: Suelo Arcilloso			
Terreno de Fundación: Regular a Malo			

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN A.A.S.H.T.O.			
<b>CLASIFICACIÓN AASHTO</b>			
<b>Parámetros Usados</b>		<b>SONDEO:</b> 1	Profundidad: 2.50-3.00
% Que Pasa la Malla N° 200	52,85	<b>MUESTRA:</b> 3	
% Que Pasa la Malla N° 40		Determinación del Índice de Grupo IG	
% Que Pasa la Malla N° 10	92,38	a = 17,85	IG = 4,00
Límite Líquido	LL = 25,46 %	b = 37,85	
Límite Plástico	LP = 14,60 %	c = 0,00	
Índice de Plasticidad	IP = 10,86 %	d = 0,86	
Tipo de Suelo : Material Limo Arcilloso			
Clasificación de Suelos : A - 6			
Suelo : ( 4 )			
Tipo de Material : Suelo Arcilloso			
Temperatura de Fundación : Regular a Malo			
<b>CLASIFICACIÓN AASHTO</b>			
<b>Parámetros Usados</b>		<b>SONDEO:</b> 1	Profundidad: 3.00-3.50
% Que Pasa la Malla N° 200	54,90	<b>MUESTRA:</b> 4	
% Que Pasa la Malla N° 40		Determinación del Índice de Grupo IG	
% Que Pasa la Malla N° 10	93,70	a = 19,90	IG = 5,00
Límite Líquido	LL = 25,78 %	b = 30,90	
Límite Plástico	LP = 14,00 %	c = 0,00	
Índice de Plasticidad	IP = 11,78 %	d = 1,78	
Tipo de Suelo : Material Limo Arcilloso			
Clasificación de Suelos : A - 6			
Suelo : ( 5 )			
Tipo de Material : Suelo Arcilloso			
Temperatura de Fundación : Regular a Malo			

HUMEDAD NATURAL					
Ensayo : <b>CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD : Norma : INV E-122-13</b>					
Fecha de Muestreo : GIRARDOT CUNDINAMARCA 20 ABRIL 2021					
CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD :					
Observaciones :		sondeo: 1	sondeo: 1	sondeo: 1	sondeo: 1
		muestra: 1	muestra: 2	muestra: 3	muestra: 4
		profundidad 1,50	profundidad 2,00	profundidad 3,00	profundidad 3,50
<b>Tara Número</b>	<b>Unidades</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	546,30	562,50	600,60	453,30
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	478,90	500,00	545,70	416,70
Peso de la Tara	Gr	5,00	8,60	8,20	5,00
Peso de la Muestra Seca	Gr	473,90	491,40	537,50	411,70
Peso del Agua	Gr	67,40	62,50	54,90	36,60
Contenido de Humedad	%	14,22	12,72	10,21	8,89

PERFIL ESTRATIGRAFICO CLASIFICACION DE SUELOS						GRÁFICA DE HUMEDADES Y CARTA DE PLASTICIDAD	
SONDEO No: <u>1</u>				CONVENCIONES			
PROFUNDIDAD (m): <u>3,50</u>							
OBRA: <u>IDENTIFICACION DE LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS Y EVALUACION DEL RIESGO DE LAS CONSTRUCCIONES REALIZADAS SOBRE LA MARGEN DERECHA DEL RIO MAGDALENA</u>				NIVEL FREÁTICO (m): <u>N.P</u>			
DIRECCIÓN: <u>BARRIO SAN MIGUEL</u>				FECHA: <u>20/04/2021</u>			
UBICACIÓN: <u>GIRARDOT-CUNDINAMARCA</u>				INFORME PC No.: <u>829</u>			
				HUMEDAD NATURAL <b>X</b>			
				LÍMITE LIQUIDO <b>L</b>			
				ÍNDICE PLÁSTICO <b>P</b>			

PROFUNDIDAD (m)	CORTEZADO FOTO Y	MUESTRA DE CLASIFICACIÓN SUELO	CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	SPT	IND. COMPRESION a 1 MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	consistencia	HUMEDAD EN %	WATER B.L. No.	LÍMITES Y HUMEDAD NATURAL									
									10	30	50	70	90					
0,00			ARENA BIEN GRADADA CON POCOS FINOS															
-0,15																		
-0,30																		
-0,45																		
-0,60																		
-0,75																		
-0,90																		
-1,05			CL	ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD	45													
-1,20				CONSISTENCIA Rígida	52	5,8	Rígida	14,22										
-1,35				HUMEDAD MEDIA	56													
-1,50				58														
-1,65				61	6,5	Rígida	14,22											
-1,80				62														
-1,95				63														
-2,10				64	8,8	Rígida	12,72											
-2,25				65														
-2,40				66	7,2	Rígida	10,21											
-2,55				68														
-2,70				70														
-2,85				71	7,8	Rígida	8,80											
-3,00				73														
-3,15																		
-3,30																		
-3,45																		
-3,60																		
-3,75																		
-3,90																		
-4,05																		
-4,20																		
-4,35																		
-4,50																		
-4,65																		
-4,80																		
-4,95																		
-5,10																		
-5,25																		
-5,40																		
-5,55																		
-5,70																		
-5,85																		
-6,00																		
			FIN DEL SONDEO															

OBSERVACIONES:

---



---



---

LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LAS MUESTRAS ENSAMBLADAS.

### COMPRESIÓN NO-CONFINADA SUELOS COHESIVOS

NORMA: INVIAS 152-13

Proyecto:	Identificación de las características geotécnicas y evaluación del riesgo de las construcciones realizadas sobre la rivera de la margen derecha del río Magdalena ubicadas dentro del municipio de Girardot Cundinamarca		
Profundidad:	100 - 150 cm	Muestra N°:	M1
Localización:	BARRIO SAN MIGUEL	Fecha Test:	19 abril-2021
Descripción Visual de la Muestra:	arcilla de baja compresibilidad	Sondeo:	51
Método:	- Deformación Controlada	Espeleomen Tipo:	Compacto
		Forma:	Cilíndrico

Defoimetro $\Delta H$ 0.001 Pulg.	Def. Unit. Strain, $\epsilon$ [ $\Delta H/H_0$ ]	1.0-Def. Unit. [ 1.0- $\epsilon$ ]	Anillo de Carga	Carga, P kg	Área Correg., $A_c$ cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Desviador Stress: $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma$		Dimensiones Promediadas de la Muestra (Tamaño de la Probeta ya Tallada)
						kg/cm <sup>2</sup>	kPa	
10,0	0,00175	0,9982	1,4	0,229	9,6380	0,0237	2,3262	Díametro. Prom. Base, $D_0$ (m) : 3,50
15,0	0,00263	0,9974	2,7	0,080	9,6465	0,0083	0,8133	Altura Promedio, $H_0$ (m) : 14,50
20,0	0,00350	0,9965	4,5	0,735	9,6550	0,0761	7,4640	Relación Altura/Díametro: 4,14
40,0	0,00701	0,9930	6,8	1,110	9,6890	0,1146	11,2392	Ok, Diámetro Prom. Base, $D_0 \geq 35$ mm. (1.4")
60,0	0,01051	0,9895	8,0	1,306	9,7233	0,1344	13,1760	Ok, Cumple con la Relación $H_0/D_0 \geq 2$
80,0	0,01401	0,9860	11,4	1,862	9,7579	0,1908	18,7093	Área Sección Transv. $A_0$ (cm <sup>2</sup> ) : 9,6211
100,0	0,01752	0,9825	13,5	2,205	9,7927	0,2251	22,0770	Volumen, $V_0$ (cm <sup>3</sup> ) : 139,5063
120,0	0,02102	0,9790	15,6	2,547	9,8277	0,2592	25,4202	<b>Determinación del Contenido de Agua</b>
140,0	0,02452	0,9755	18,8	3,070	9,8630	0,3113	30,5250	Peso Suelo Húmedo + Cazuela: 269,80
160,0	0,02803	0,9720	21,4	3,495	9,8986	0,3530	34,6217	Peso Suelo Seco + Cazuela: 237,60
180,0	0,03153	0,9685	24,5	4,001	9,9344	0,4027	39,4942	Peso de la Cazuela: 14,70
200,0	0,03503	0,9650	29,8	4,866	9,9704	0,4881	47,8640	Peso del Suelo Seco: 222,90
220,0	0,03854	0,9615	32,4	5,291	10,0068	0,5287	51,8511	Peso del Agua: 32,20
240,0	0,04204	0,9580	38,8	6,336	10,0434	0,6309	61,8671	% de Humedad: 14,5 %
260,0	0,04554	0,9545	43,5	7,104	10,0802	0,7047	69,1076	<b>Pesos Unitarios</b>
280,0	0,04905	0,9510	47,9	7,822	10,1174	0,7731	75,8185	Peso Unit. Húmedo, $\gamma$ (tontr <sup>3</sup> ) : 1,828
300,0	0,05255	0,9474	54,5	8,900	10,1548	0,8764	85,9475	Peso Unit. Seco, $\gamma_d$ (tontr <sup>3</sup> ) : 1,688
320,0	0,05606	0,9439	58,9	9,618	10,1925	0,9437	92,5429	
340,0	0,05956	0,9404	63,4	10,353	10,2304	1,0120	99,2435	<b>Constante del Anillo de Carga</b>
360,0								Factor K [Kg/10 <sup>-4</sup> pg.] : 0,1633
380,0								Resist. Comp. No-confinada, $Max(\sigma_1 - \sigma_3)_f$
400,0								$Q_u = 1,01$ kg/cm <sup>2</sup> = 99,24 Kpa
420,0								Resistencia al Corte No Drenada, $\tau_f$
440,0								$C_u = S_u = 0,51$ kg/cm <sup>2</sup> = 49,62 Kpa
460,0								Ángulo de fricción interna, $\phi = 0,0$
480,0								Deformación promedio a la falla
500,0								$\epsilon$ a la Falla: 5,96%
520,0								Área Corregida:

Gravedad Especifica Asumida, $G_s$ :	2,66
Relación de Vacíos Inicial, $e_0$ :	0,66
Grado de Saturación Inicial, $S_r$ :	57,8 %
Módulo de Young's, $E = 1631,11000$ Kpa	
Calificación de la Consistencia del Suelo :	
Consistente o Fina	

## Anexo 4

## Fichas de vulnerabilidad sísmica

	<b>CONCEPTOS TÉCNICOS PARA SUPERVISIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES</b>	Versión: <u>  1  </u> Formato N°: <u>  1  </u>
<p>NOTA: Esta guía está dirigida para aquellas personas que deseen realizar la inspección visual de una edificación con el fin de diagnosticar lesiones patológicas básicas presentes en su infraestructura. En este documento se presentan conceptos guiados a través del uso de síntesis de varios autores por la revisión sistémica del libro "Patologías de la construcción" escrito por Carlos Broto Comerma y la "Guía Técnica para Inspección de Edificaciones Después de un Sismo" creada por la AIS.</p>		
<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>		
Nombre de quien inspecciona: <u>JOSE MORENO, FAIVEL VALBUENA, JUAN HERNANDEZ</u>		
Fecha de creación: <u>30/04/2021</u> Nombre de la edificación: <u>ANTIGUA PISCINA EMBAICARON (BASE MILITAR)</u>		
Dirección de la edificación: <u>CALLE 12 ZARRERAIL D/SAN MIGUEL</u>		
<b>MATERIAL DE APOYO Y EQUIPO</b>		
Para una ejecución óptima de los procedimientos pertinentes para la evaluación visual de una edificación se recomiendan contar con los siguientes elementos y/o equipos:		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Guía técnica para la inspección de la edificación.</li> <li>2. Documentos pertinentes con los permisos adjuntos y necesarios para la realización de la inspección.</li> <li>3. Cuaderno para notas, lápiz y/o bolígrafo.</li> <li>4. Cintas con la inscripción PELIGRO para restringir acceso a las áreas de estudio <b>(Si es necesaria)</b>.</li> <li>5. Cámara fotográfica.</li> <li>6. Teléfono celular o radio.</li> <li>7. Linterna <b>(Si es necesaria)</b>.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>8. Flexómetro.</li> <li>9. Decámetro.</li> <li>10. Calculadora <b>(Si es necesaria)</b>.</li> </ol>	
<b>ARTÍCULOS PERSONALES</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificación personal</li> <li>2. Botas de seguridad</li> <li>3. Casco de seguridad</li> <li>4. Gafas de seguridad</li> </ol>		
pág. 1		

### Guía Técnica Para la Supervisión de Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones

IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN				Formato N° <u>2</u>
<b>Dirección</b>				<b>Tipo de Inspección</b>
Calle <u>72</u>	Trans _____	Carrera <u>72</u>	Avda _____	Exterior e interior <input type="checkbox"/>
Número _____	Ciudad _____	Departamento _____		No se pudo entrar <input checked="" type="checkbox"/>
Nombre de la Edificación _____				
<b>Uso de la Edificación</b>				<b>Número de Pisos</b>
1. Residencial _____	5. Hotelero _____	9. Estacionamientos _____	Niveles sobre el terreno <u>1</u>	
2. Comercial _____	6. Oficinas _____	10. Otros _____	Niveles debajo del terreno <u>1</u>	
3. Institucional <input checked="" type="checkbox"/>	7. Industrial _____		Total <u>3</u>	
4. Salud _____	8. Bodegas _____			
<b>Dimensiones de la Edificación</b>		Frente (m) <u>55</u>	Fondo (m) <u>30</u>	<b>Año de construcción</b> <u>(1852-1880)</u>
<b>Zona de amenaza sísmica</b>		Baja _____	Intermedia <input checked="" type="checkbox"/>	Alta _____

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA			
1. Concreto reforzado:	1.1 pórticos de concreto	<input checked="" type="checkbox"/>	4. Madera: 4.1 Pórticos y paneles en madera _____
	1.2 Muros estructurales	<input checked="" type="checkbox"/>	4.2 Pórticos en madera y paneles en otros materiales _____
	1.3 Sistema duales	_____	
	1.4 Prefabricados	_____	
2. Mampostería:	2.1 Mampostería confinada	<input checked="" type="checkbox"/>	5. Bahareque o tapia: 5.1 Muros en bahareque _____
	2.2 Mampostería reforzada	<input checked="" type="checkbox"/>	5.2 Muros en tapia _____
	2.3 Mampostería no reforzada	_____	
3. Acero:	3.1 Pórticos arriostrados	_____	Otros: _____
	3.2 Pórticos no arriostrados	_____	
<b>Tipo de Entrepiso</b>			
1. Concreto reforzado:	1.1 Placa maciza	<input checked="" type="checkbox"/>	3. Madera: 3.1 Vigas _____
	1.2 Placa aligerada	_____	3.2 Mixta _____
	1.3 Reticular celularado	_____	
2. Acero:	2.1 Lamina colaborante (steel deck)	_____	Otros: _____
	2.2 Vigas	<input checked="" type="checkbox"/>	
	2.3 Cerchas	<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>Tipo de cubierta</b>			
1. Cubiertas planas:	1.1 Cubierta Deck o Industrial	_____	2. Lucernarios: 2.1 Lucernarios de policarbonato _____
	1.2 Cubierta Autoprottegida No Transitable	_____	2.2 Lucernarios de vidrio _____
3. Cubiertas inclinadas:	3.1 Cubiertas de Tejas	<input checked="" type="checkbox"/>	
	3.2 Cubiertas de Placas de Fibrocemento	_____	
	3.3 Cubiertas de Derivados Plásticos	_____	
	3.4 Cubiertas de Chapas Metálicas Lisas	_____	

### Guía Técnica Para la Supervisión de Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones

#### LESIONES MECÁNICAS

Daños Elementos Arquitectónicos	Ninguno	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	No se pudo determinar
1. Muros de fachadas o antepechos	—	—	X	—	—	—
2. Muros divisores	—	—	X	—	—	—
3. Cielo rasos y luminarias	—	—	—	—	—	X
4. Cubiertas	—	—	—	—	—	X
5. Escaleras	—	—	—	—	—	X
6. Instalaciones (acueductos, alcantarillado, energía y gas)	—	X	—	—	—	—
7. Tanques elevado	X	—	—	—	—	—
Daños Elementos Estructurales	Ninguno	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	No se pudo determinar
1. Vigas, columnas y muros en concreto reforzado	—	—	—	—	—	—
2. Mampostería	—	—	X	—	—	—
3. Muros de tapia, adobe o bahareque	X	—	—	—	—	—
4. Vigas, columnas y conexiones de acero	—	—	—	—	—	X
5. Vigas, columnas y uniones en madera	X	—	—	—	—	—
6. Entrepisos	—	—	—	—	—	X

**Ninguno:** Sin defectos visibles; **Leve:** Daños menores y fisuras con un ancho igual o menor a 1.0 mm; **Moderado:** Daños como agrietamiento diagonal con un ancho entre 1.0 mm y 3.0 mm; **Fuerte:** Agrietamiento severo con anchos mayores de 3.0 mm y dislocación de mampostería; **Severo:** Desprendimiento de partes de piezas severas, aplastamiento, deformaciones, desplome o inclinación del muro.

#### LESIONES FÍSICAS EN ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS Y ESTRUCTURALES

1. Humedad:	1.1 De obra	—	3. Procesos biofísicos:	3.1 Hongos	X
	1.2 Capilar	—		3.4 Insectos xilófagos	—
	1.3 De filtración	X			
	1.4 Accidental	—	4. Suciedad:	4.1 Por deposito	X
	1.4 De condensación	—		4.2 Por lavado diferencial	—
2. Erosiones:	2.1 Agua y sol	X			
	2.3 Viento	—			

#### LESIONES QUÍMICAS

1. Procesos bioquímicos:	1.1 Agentes biológicos animales presentes en fachadas	—			
	1.2 Agentes biológicos vegetales presentes en fachadas	X			
2. Oxidación:	2.1 Puertas o divisiones metálicas	X	3. Corrosión:	3.1 Puertas o divisiones metálicas	X
	2.2 Vigas metálicas	—		3.2 Vigas metálicas	—
	2.3 Columnas metálicas	—		3.3 Columnas metálicas	—

Guía Técnica Para la Supervisión de Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones

**ESTADO DE LA EDIFICACIÓN**

**General**

1. Existe colapso: No  Parcial  Total

2. Desviación o inclinación de la edificación o de algún entre piso: No  Si  No se pudo determinar

3. Falla o asentamiento de la cimentación: No  Si  No se pudo determinar

**Problemas Geotécnicos**

1. Falla en talud o movimiento en masa:  
Puntual  General   
No se pudo determinar  Sin falla

2. Asentamiento, subsidencia o licuación:  
Puntual  General   
No se pudo determinar  Sin falla

**Clasificación Global del Daño y Habitabilidad de la Edificación**

Ninguno  Habitable (verde)  
Leve  Habitable (verde)  
Moderado  Uso restringido (amarillo)  
Fuerte  No habitable (naranja)  
Severo  Peligro de colapso (rojo)

**Se Necesita Visita Especializada por**

Estructura  Geotécnicos   
Servicios públicos  No se necesita

**Medida de Seguridad**

Demoler elementos en peligro de caer   
Desconectar servicios públicos   
Evacuar totalmente la edificación   
Evacuar parcialmente la edificación

**Condiciones Pre-Existentes**

1. Calidad de construcción  
Buena  Regular  Mala

2. Posición de la edificación en la manzana  
Esquina  Libre por un costado   
Intermedia  Libre por dos costados

3. Configuración en planta  
Buena  Regular  Mala

4. Configuración en altura  
Buena  Regular  Mala

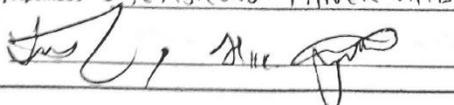
5. Configuración estructural  
Buena  Regular  Mala

6. Hay indicios de daños por sismos anteriores  
si  no

7. Hubo remodelación  
Total  Parcial  Ninguna

**Comentarios:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Nombre y Apellidos JOSE MORENO - FAIVER VAIBUENA - JUAN HERNANDEZ Fecha de Inspección 30/04/2021

Firma 

NOTA: Esta guía está dirigida para aquellas personas que deseen realizar la inspección visual de una edificación con el fin de diagnosticar lesiones patológicas básicas presentes en su infraestructura. En este documento se presentan conceptos guiados a través del uso de síntesis de varios autores por la revisión sistemática del libro "Patologías de la construcción" escrito por Carlos Broto Comerma y la "Guía Técnica para Inspección de Edificaciones Después de un Sismo" creada por la AIS.

#### INFORMACIÓN GENERAL

Nombre de quien inspecciona: JOSE EDUARDO MORENO, FAJER VALBUENA, Juan Hernandez

Fecha de creación: 30/04/2021 Nombre de la edificación: \_\_\_\_\_

Dirección de la edificación: CARRERA 11 N° 11-00 B/SAN MIGUEL

#### MATERIAL DE APOYO Y EQUIPO

Para una ejecución óptima de los procedimientos pertinentes para la evaluación visual de una edificación se recomiendan contar con los siguientes elementos y/o equipos:

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| 1. Guía técnica para la inspección de la edificación.  | 8. Flexómetro.                     |
| 2. Documentos pertinentes con los permisos adjuntos y necesarios para la realización de la inspección. | 9. Decámetro.                      |
| 3. Cuaderno para notas, lápiz y/o bolígrafo.   | 10. Calculadora (Si es necesaria). |
| 4. Cintas con la inscripción PELIGRO para restringir acceso a las áreas de estudio (Si es necesaria).  |                                    |
| 5. Cámara fotográfica.   |                                    |
| 6. Teléfono celular o radio.   |                                    |
| 7. Linterna (Si es necesaria).   |                                    |

#### ARTÍCULOS PERSONALES

1. Identificación personal
2. Botas de seguridad
3. Casco de seguridad
4. Gafas de seguridad

### Guía Técnica Para la Supervisión de Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones

IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		Formato N°	2
<b>Dirección</b>			
Calle	Trans	Carrera	11 Avda
Número	17-00	Ciudad	612ARRUJ
Nombre de la Edificación		Departamento	(UNIDINAMARCA)
		Exterior e interior	<input type="checkbox"/>
		No se pudo entrar	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Uso de la Edificación</b>		<b>Número de Pisos</b>	
1. Residencial	<input checked="" type="checkbox"/>	5. Hotelero	<input type="checkbox"/>
2. Comercial	<input type="checkbox"/>	6. Oficinas	<input type="checkbox"/>
3. Institucional	<input type="checkbox"/>	7. Industrial	<input type="checkbox"/>
4. Salud	<input type="checkbox"/>	8. Bodegas	<input type="checkbox"/>
		9. Estacionamientos	<input type="checkbox"/>
		10. Otros	<input type="checkbox"/>
		Niveles sobre el terreno	2
		Niveles debajo del terreno	
		Total	2
<b>Dimensiones de la Edificación</b>		Frente (m)	20
		Fondo (m)	15
		Año de construcción	(1850-1880)
<b>Zona de amenaza sísmica</b>		Baja	<input type="checkbox"/>
		Intermedia	<input checked="" type="checkbox"/>
		Alta	<input type="checkbox"/>

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA			
1. Concreto reforzado:	1.1 pórticos de concreto	<input checked="" type="checkbox"/>	4. Madera: 4.1 Pórticos y paneles en madera
	1.2 Muros estructurales	<input type="checkbox"/>	4.2 Pórticos en madera y paneles en otros materiales
	1.3 Sistema duales	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	1.4 Prefabricados	<input checked="" type="checkbox"/>	
2. Mampostería:	2.1 Mampostería confinada	<input type="checkbox"/>	5. Bahareque o tapia: 5.1 Muros en bahareque
	2.2 Mampostería reforzada	<input type="checkbox"/>	5.2 Muros en tapia
	2.3 Mampostería no reforzada	<input type="checkbox"/>	
3. Acero:	3.1 Pórticos arriostrados	<input type="checkbox"/>	Otros: _____
	3.2 Pórticos no arriostrados	<input type="checkbox"/>	
<b>Tipo de Entrepiso</b>			
1. Concreto reforzado:	1.1 Placa maciza	<input checked="" type="checkbox"/>	3. Madera: 3.1 Vigas
	1.2 Placa aligerada	<input type="checkbox"/>	3.2 Mixta
	1.3 Reticular celular	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Acero:	2.1 Lamina colaborante (steel deck)	<input type="checkbox"/>	Otros: _____
	2.2 Vigas	<input type="checkbox"/>	
	2.3 Cerchas	<input type="checkbox"/>	
<b>Tipo de cubierta</b>			
1. Cubiertas planas:	1.1 Cubierta Deck o Industrial	<input type="checkbox"/>	2. Lucernarios: 2.1 Lucernarios de policarbonato
	1.2 Cubierta Autoprotegida No Transitable	<input type="checkbox"/>	2.2 Lucernarios de vidrio
	3. Cubiertas inclinadas:	3.1 Cubiertas de Tejas	<input checked="" type="checkbox"/>
		3.2 Cubiertas de Placas de Fibrocemento	<input type="checkbox"/>
		3.3 Cubiertas de Derivados Plásticos	<input type="checkbox"/>
		3.4 Cubiertas de Chapas Metálicas Lisas	<input type="checkbox"/>

### Guía Técnica Para la Supervisión de Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones

#### LESIONES MECÁNICAS

Daños Elementos Arquitectónicos	Ninguno	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	No se pudo determinar
1. Muros de fachadas o antepechos	—	X	—	—	—	—
2. Muros divisores	—	—	—	—	—	X
3. Cielo rasos y luminarias	—	—	—	—	—	X
4. Cubiertas	X	—	—	—	—	—
5. Escaleras	—	—	—	—	—	X
6. Instalaciones (acueductos, alcantarillado, energía y gas)	X	—	—	—	—	—
7. Tanques elevado	—	—	—	—	—	X
Daños Elementos Estructurales	Ninguno	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	No se pudo determinar
1. Vigas, columnas y muros en concreto reforzado	—	—	—	—	—	—
2. Mampostería	—	—	—	—	—	—
3. Muros de tapia, adobe o bahareque	—	—	—	—	—	—
4. Vigas, columnas y conexiones de acero	—	—	—	—	—	—
5. Vigas, columnas y uniones en madera	—	—	—	—	—	—
6. Entrepisos	—	—	—	—	—	—

**Ninguno:** Sin defectos visibles; **Leve:** Daños menores y fisuras con un ancho igual o menor a 1.0 mm; **Moderado:** Daños como agrietamiento diagonal con un ancho entre 1.0 mm y 3.0 mm; **Fuerte:** Agrietamiento severo con anchos mayores de 3.0 mm y dislocación de mampostería; **Severo:** Desprendimiento de partes de piezas severas, aplastamiento, deformaciones, desplome o inclinación del muro.

#### LESIONES FÍSICAS EN ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS Y ESTRUCTURALES

1. Humedad:	1.1 De obra	—	3. Procesos biofísicos:	3.1 Hongos	X
	1.2 Capilar	—		3.4 Insectos xilófagos	—
	1.3 De filtración	X			
	1.4 Accidental	—	4. Suciedad:	4.1 Por deposito	X
	1.4 De condensación	—		4.2 Por lavado diferencial	—
2. Erosiones:	2.1 Agua y sol	X			
	2.3 Viento	—			

#### LESIONES QUÍMICAS

1. Procesos bioquímicos:	1.1 Agentes biológicos animales presentes en fachadas	—			
	1.2 Agentes biológicos vegetales presentes en fachadas	X			
2. Oxidación:	2.1 Puertas o divisiones metálicas	X	3. Corrosión:	3.1 Puertas o divisiones metálicas	X
	2.2 Vigas metálicas	—		3.2 Vigas metálicas	—
	2.3 Columnas metálicas	—		3.3 Columnas metálicas	—

Guía Técnica Para la Supervisión de Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones

**ESTADO DE LA EDIFICACIÓN**

**General**

1. Existe colapso: No  Parcial \_\_\_\_\_ Total \_\_\_\_\_

2. Desviación o inclinación de la edificación o de algún entre piso: No \_\_\_\_\_ Si  No se pudo determinar \_\_\_\_\_

3. Falla o asentamiento de la cimentación: No \_\_\_\_\_ Si  No se pudo determinar \_\_\_\_\_

**Problemas Geotécnicos**

1. Falla en talud o movimiento en masa:  
Puntual \_\_\_\_\_ General \_\_\_\_\_  
No se pudo determinar  Sin falla \_\_\_\_\_

2. Asentamiento, subsidencia o licuación:  
Puntual \_\_\_\_\_ General   
No se pudo determinar \_\_\_\_\_ Sin falla \_\_\_\_\_

**Clasificación Global del Daño y Habitabilidad de la Edificación**

Ninguno \_\_\_\_\_ Habitable (verde)  
Leve  Habitable (verde)  
Moderado \_\_\_\_\_ Uso restringido (amarillo)  
Fuerte \_\_\_\_\_ No habitable (naranja)  
Severo \_\_\_\_\_ Peligro de colapso (rojo)

**Se Necesita Visita Especializada por**

Estructura \_\_\_\_\_ Geotécnicos \_\_\_\_\_  
Servicios públicos \_\_\_\_\_ No se necesita \_\_\_\_\_

**Medida de Seguridad**

Demoler elementos en peligro de caer \_\_\_\_\_  
Desconectar servicios públicos \_\_\_\_\_  
Evacuar totalmente la edificación \_\_\_\_\_  
Evacuar parcialmente la edificación \_\_\_\_\_

**Condiciones Pre-Existentes**

1. Calidad de construcción  
Buena \_\_\_\_\_ Regular  Mala \_\_\_\_\_

2. Posición de la edificación en la manzana  
Esquina  Libre por un costado \_\_\_\_\_  
Intermedia \_\_\_\_\_ Libre por dos costados \_\_\_\_\_

3. Configuración en planta  
Buena \_\_\_\_\_ Regular  Mala \_\_\_\_\_

4. Configuración en altura  
Buena \_\_\_\_\_ Regular  Mala \_\_\_\_\_

5. Configuración estructural  
Buena \_\_\_\_\_ Regular  Mala \_\_\_\_\_

6. Hay indicios de daños por sismos anteriores  
si \_\_\_\_\_ no

7. Hubo remodelación  
Total \_\_\_\_\_ Parcial  Ninguna \_\_\_\_\_

**Comentarios:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nombre y Apellidos JOSE MURENO - FAIVER VAISUENA - JUAN HERMANO Fecha de Inspección 30/09/2021

Firma  