

**DIAGNÓSTICO DE ZONAS INESTABLES POR PROCESOS DE REMOCIÓN  
EN MASA EN LA AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLES 19 Y 45 EN  
LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**JESSICA KATHERINE ORDUÑA PINZON  
ERIKA RINCON GONZALEZ  
LAURA MARIANA CRUZ PERALTA**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ  
2015**

**DIAGNÓSTICO DE ZONAS INESTABLES POR PROCESOS DE REMOCIÓN  
EN MASA EN LA AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLES 19 Y 45 EN  
LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**JESSICA KATHERINE ORDUÑA PINZON  
ERIKA YERALDIN RINCON GONZALEZ  
LAURA MARIANA CRUZ PERALTA**

**Trabajo de Grado presentado como requerimiento parcial para optar al  
título de Ingeniero Civil**

**Asesor disciplinar: Gutiérrez Angulo Christian Camilo  
Ing. Civil  
Asesor metodológico: Morales Roy  
Licenciado**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ  
Junio de 2015**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
3.1	<i>OBJETIVO GENERAL</i>	14
3.2	<i>OBJETIVO ESPECÍFICOS</i>	14
<b>4</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>MARCO REFERENCIAL</b>	<b>16</b>
5.1	<i>MARCO CONCEPTUAL</i>	16
5.2	<i>MARCO GEOGRÁFICO</i>	19
		20
		21
5.3	<i>MARCO LEGAL</i>	24
<b>6</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO</b>	<b>26</b>
6.1	<i>ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN</i>	26
6.2	<i>TIPO DE INVESTIGACIÓN</i>	26
6.3	<i>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</i>	26
6.4	<i>FASES DE LA INVESTIGACIÓN</i>	27
6.4.1	Fase I: Recolección de información secundaria	27
6.4.1.1	Reconocimiento del lugar	27
6.4.1.2	Realización de planos topográficos esta información se obtuvo	27
6.4.2	Fase II: Trabajo en campo	27
6.4.2.1	Realización de visitas técnicas de campo	27
6.4.2.2	Unificación y análisis de la información	27
6.4.3	Fase III: Digitalización	28
6.4.3.1	Digitalización del mapa	28
<b>7</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	<b>29</b>
7.1	<i>FASE I: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA</i>	29
7.1.1	LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN	29
7.1.2	EXPLORACIÓN DE CAMPO	30
7.1.3	LOCALIZACIÓN DE SONDEOS	30
7.1.4	PERFILES ESTRATIGRÁFICOS Y ENSAYOS DE LABORATORIO	31
7.1.4.1	Bd Bacata - Calle 19 # 5-20	32
7.1.4.2	Recolecta san Diego - calle 26 con carrera 5	33
7.1.4.3	Casa losada – Carrera 6B # 32-24	34
7.1.4.4	Canchas Universidad Javeriana – Calle 39 con Carrera 5	35
7.1.4.5	Facultad de artes Universidad Javeriana - calle 40	35

7.1.4.6	Restaurante –Calle 41 #7-52	36
7.1.4.7	Cataluña - Calle 42#4-05	37
7.1.5	GENERALIDADES Y CRITERIOS PARA LA EXPLORACIÓN	38
7.1.5.1	Toma de datos por medio de una visita panorámica:	38
7.1.5.2	Recolección y recorrido de campo:	38
7.1.6	GEOLOGÍA REGIONAL	39
7.1.7	DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES Y LOS DEPÓSITOS	39
7.1.8	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	40
7.1.9	MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA ESTABILIDAD DE TALUDES	41
<b>7.2</b>	<b>FASE II: TRABAJO EN CAMPO</b>	<b>42</b>
7.2.1	IDENTIFICACIÓN EN CAMPO DE POSIBLES MOVIMIENTOS EN MASA	42
7.2.1.1	TRAMO No. 1: CALLE 45-42	42
7.2.1.2	TRAMO No. 2: CALLE 43-40BIS	44
7.2.1.3	TRAMO No. 3: CALLE 40 BIS- QUEBRADA EL CHULO	45
7.2.1.4	TRAMO No. 4: QUEBRADA EL CHULO –CANAL LA PERSEVERANCIA	46
7.2.1.5	TRAMO No. 5: CANAL LA PERSEVERANCIA – CALLE 34	47
7.2.1.6	TRAMO No. 6: CALLE 34 – CALLE 33	49
7.2.1.7	TRAMO No. 7: CALLE 33 – CALLE 31	50
7.2.1.8	TRAMO No. 8: CALLE 31 – CALLE 30	51
7.2.1.9	TRAMO No. 9: CALLE 30 – CALLE 26B	52
7.2.1.10	TRAMO No. 10: CALLE 26B – CALLE 26 A	53
7.2.1.11	TRAMO No. 11: CALLE 26ª – CALLE 23	54
7.2.1.12	TRAMO No. 12: CALLE 23 – QUEBRADA SANTO DOMINGO	55
7.2.1.13	TRAMO No. 13: QUEBRADA SANTO DOMINGO – CALLE 19	55
<b>7.3</b>	<b>FASE III: DIGITALIZACIÓN</b>	<b>57</b>
7.3.1	PERFILES DE PENDIENTES	57
7.3.1.1	Abscisa 0+100	59
7.3.2	EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE	59
7.3.3	PERFILES MODELACIÓN ESTÁTICO	60
7.3.3.1	Abscisa 0+100	61
7.3.3.2	Abscisa 0+100	62
7.3.4	PERFILES MODELACIÓN SEUDO-ESTÁTICA	62
7.3.4.1	Abscisa 0+100	62
7.3.4.2	Abscisa 0+100	63
7.3.5	FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS	63
7.3.5.1	Abscisa 0+300	65
7.3.6	ZONIFICACIÓN POR AMENAZA	65
7.3.7	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE AMENAZA POR PRM	73
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>77</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>79</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> ESQUEMA MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS.	9
<b>FIGURA 2:</b> MATRIZ SÍNTESIS DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA CUENCA LLAMINCHAN.	10
<b>FIGURA 3:</b> FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INESTABILIDAD DE UNA LADERA.	12
<b>FIGURA 4:</b> <i>MAPA DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA PARA RESPUESTA SÍSMICA.</i>	13
<b>FIGURA 5:</b> MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.	18
<b>FIGURA 6:</b> PLACAS TECTÓNICAS CONTINENTE SURAMERICANO.	19
<b>FIGURA 7:</b> MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ.	20
<b>FIGURA 8:</b> MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ.	21
<b>FIGURA 9:</b> MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO EN TALUDES NO INTERVENIDOS.	22
<b>FIGURA 10:</b> ZONA DE ESTUDIO.	23
<b>FIGURA 11:</b> FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.	24
<b>FIGURA 12:</b> UBICACIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO.	29
<b>FIGURA 13:</b> LOCALIZACIÓN DE SONDEOS.	31
<b>FIGURA 14:</b> GEOLOGÍA DE LA ZONA.	39
<b>FIGURA 15:</b> CONSTANTES DE SISMOS.	41
<b>FIGURA 16:</b> ZONAS CON POSIBLES MOVIMIENTOS NO. 1 Y NO. 2	42
<b>FIGURA 17:</b> ZONA CON POSIBLE MOVIMIENTO NO. 3.	44
<b>FIGURA 18:</b> ZONA CON POSIBLE MOVIMIENTO NO. 4.	45
<b>FIGURA 19:</b> ZONAS CON POSIBLES MOVIMIENTOS NO. 5 Y NO. 6.	46
<b>FIGURA 20:</b> ZONAS CON POSIBLE MOVIMIENTO NO. 7 Y NO. 8	47
<b>FIGURA 21:</b> ZONAS CON POSIBLES MOVIMIENTO NO. 9 Y NO. 10	49
<b>FIGURA 22:</b> ZONA CON POSIBLE MOVIMIENTO.	50
<b>FIGURA 23:</b> ZONAS CON POSIBLES MOVIMIENTOS NO. 11 Y NO. 12	51
<b>FIGURA 24:</b> ZONA CON POSIBLE MOVIMIENTO NO. 13.	52
<b>FIGURA 25:</b> ZONAS CON POSIBLES MOVIMIENTOS NO. 14 Y NO. 15.	53
<b>FIGURA 26:</b> ZONAS CON POSIBLES MOVIMIENTOS NO. 17 Y NO. 18.	54
<b>FIGURA 27:</b> ZONAS CON POSIBLES MOVIMIENTOS	55
<b>FIGURA 28:</b> ZONAS CON POSIBLES MOVIMIENTOS NO. 19.	55
<b>FIGURA 29:</b> PLANO DE INVENTARIO DE PRM	58
<b>FIGURA 30:</b> PERFIL NO 1- CIRCUNVALACIÓN CON CLL 19	59
<b>FIGURA 31:</b> MODELO	61
<b>FIGURA 32:</b> MODELACIÓN ESTÁTICA 1- CIRCUNVALACIÓN CON CL 19.	62
<b>FIGURA 33:</b> MODELACIÓN.	62
<b>FIGURA 34:</b> MODELACIÓN SEUDO-ESTÁTICA 1- CIRCUNVALACIÓN # 19.	63
<b>FIGURA 35:</b> MODELACIÓN - CIRCUNVALACIÓN CON CALLE 20	65
<b>FIGURA 36:</b> MAPA DE ZONIFICACIÓN POR PENDIENTES.	66
<b>FIGURA 37:</b> MAPA ESTADO ESTÁTICO.	67
<b>FIGURA 38:</b> MAPA ESTADO SEUDO-ESTÁTICA.	68
<b>FIGURA 39:</b> ESTÁTICO VS PENDIENTE (80-20)	69
<b>FIGURA 40:</b> ESTÁTICO VS PENDIENTE (60-40)	70
<b>FIGURA 41:</b> SEUDO-ESTÁTICO VS PENDIENTE (80-20)	71
<b>FIGURA 42:</b> SEUDO-ESTÁTICO VS PENDIENTES (60-40)	72

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> FACTORES INHERENTES A LA ESTABILIDAD DE TALUDES.	16
<b>TABLA 2:</b> TABLA DE CORRELACIÓN DE NÚMERO DE PENETRACIÓN CON QU.	32
<b>TABLA 3:</b> DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO- BD BACATA.	32
<b>TABLA 4:</b> DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO – SAN DIEGO.	33
<b>TABLA 5:</b> DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO - CASA LOSADA.	34
<b>TABLA 6:</b> DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO - U. JAVERIANA.	35
<b>TABLA 7:</b> DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO - F. ARTES.	35
<b>TABLA 8:</b> DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO - CLL 41.	37
<b>TABLA 9:</b> DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO - CATALUÑA.	37
<b>TABLA 10:</b> ZONA NO. 1.	42
<b>TABLA 11:</b> ZONA NO.2.	43
<b>TABLA 12:</b> ZONA NO. 3.	44
<b>TABLA 13:</b> ZONA NO. 4	45
<b>TABLA 14:</b> ZONA NO. 5	46
<b>TABLA 15:</b> ZONA NO. 6.	47
<b>TABLA 16:</b> ZONA NO. 7.	48
<b>TABLA 17:</b> ZONA NO. 8	48
<b>TABLA 18:</b> ZONA NO. 9	49
<b>TABLA 19:</b> ZONA NO. 10	50
<b>TABLA 20:</b> ZONA NO. 11	51
<b>TABLA 21:</b> ZONA NO. 12	51
<b>TABLA 22:</b> ZONA NO. 13	52
<b>TABLA 23:</b> ZONA NO. 14.	53
<b>TABLA 24:</b> ZONA NO. 15.	54
<b>TABLA 25:</b> ZONA NO.17	54
<b>TABLA 26:</b> ZONA NO. 18	55
<b>TABLA 27:</b> ZONA NO. 19.	56
<b>TABLA 28:</b> INVENTARIO DE INTERVENCIONES EN EL TRAMO DE ESTUDIO.	57
<b>TABLA 29:</b> FACTORES DE SEGURIDAD EN CONDICIONES NORMALES.	60
<b>TABLA 30:</b> FACTORES DE SEGURIDAD EN CONDICIONES EXTREMAS.	60
<b>TABLA 31:</b> DIVISIÓN DE PERFILES PARA EL ABSCISADO.	61
<b>TABLA 32:</b> TABLA DE PENDIENTES.	65
<b>TABLA 33:</b> RESULTADOS OBTENIDOS.	73
<b>TABLA 34:</b> MATRIZ DE AMENAZA.	74

## INTRODUCCIÓN

Los procesos de remoción en masa son consecuencia de la inestabilidad en las laderas, y esta a su vez se ocasiona por factores del suelo; tales como el tipo de material, las propiedades físicas, químicas y mecánicas o factores externos como el clima, el uso del suelo, actividades antrópicas y fenómenos naturales. La ciudad de Bogotá cuenta con sectores inestables debido a estos factores, como es el caso de la avenida circunvalación, zona perteneciente a los cerros orientales y de gran importancia ya que es una vía de acceso rápido a cualquier punto de la ciudad.

Se hace necesario realizar un diagnóstico de las zonas inestables por procesos de remoción en masa en la avenida circunvalación entre calles 19 y 45 y así determinar amenaza alta, media y baja evaluados por medio de la geometría de las laderas (pendientes), el tipo y comportamiento del material. Para ello se generaran una serie de mapas que representen diferentes estados de la zona de estudio por medio de datos obtenidos de un modelo determinístico. Mediante el traslapo de estos, se obtendrán mapas finales que muestren la zonificación de amenaza alta, media y baja en escenarios pseudo-estático (condiciones extremas) y estáticos (condiciones normales).

Finalmente se podrá identificar los diferentes procesos por remoción en masa teniendo en cuenta la geología de la zona, la microzonificación sísmica y las modelaciones realizadas de esto dependerá la clasificación entre alta media y baja amenaza por PRM.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la topografía y geología presente en Colombia, la cual posee numerosas laderas y que por efectos del mismo suelo y agentes externos sufren procesos de remoción en masa, resulta necesario el estudio en detalle sobre la estabilidad de ellas. Los procesos de remoción en masa (PRM) pueden llegar a ser evidenciados en deslizamientos, volcamientos o movimientos de tierras en general, los cuales afectan a la población a causa de los daños viales, en algunos casos con pérdidas de vidas humanas y daños a la infraestructura. El departamento de Cundinamarca forma parte de La Cordillera Oriental, donde se ubica la ciudad de Bogotá; la zona de la Avenida Circunvalación entre las calles 19 y 45 en sentido sur – norte y norte - sur han presentado según información preliminar emitidas por entidades públicas, diferentes procesos que han desencadenado tales movimientos de masa. El uso del suelo de la zona está definido por sectores de vivienda, centros educativos y de reserva natural.

Los suelos de los Cerros de la Avenida Circunvalación provenientes de la Cordillera Oriental están formados por un “macizo rocoso muy fallado y por la formación de Guaduas constituida por arcillas y lutitas blandas, y areniscas poco cementadas<sup>1</sup>. Teniendo en cuenta lo anterior se formula la siguiente pregunta ¿Qué factores inciden en la estabilidad de las laderas de los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá en el tramo comprendido entre las calles 19 a 45 de la Avenida Circunvalación?

---

<sup>1</sup> GARCÍA, Manuel. Manual de Estabilidad de Taludes. Instituto Nacional de Vías. Descripción general de la geología física de Colombia. Editorial de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 1998. p. 4 y 7.

## 2. ANTECEDENTES

Existen diferentes estudios realizados sobre como evaluar riesgos y amenazas por deslizamientos en laderas entre los que se encuentran los adelantados por Bonachea<sup>2</sup> y Varnes<sup>3</sup>, sobre clasificación de deslizamientos siendo fundamento de la clasificación y diagnóstico de la amenaza. Para el análisis de amenazas es importante tener en cuenta la susceptibilidad definida por Bonachea<sup>4</sup> como la “predisposición del terreno de verse afectado por deslizamientos sin tener en cuenta el factor tiempo”; este término es empleado para designar zonas que son más propensas que otras a la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

Son diversos los autores que han trabajado en la evaluación de la susceptibilidad y amenaza por deslizamiento, por ejemplo, en Europa Van Den Eeckhaut<sup>5</sup>, llevó a cabo un estudio de inventario combinado de deslizamientos y cálculo de la susceptibilidad basado en diferentes unidades de mapeo, generando mapas donde se muestra el mapa final de susceptibilidad del terreno evaluado; este se muestra a continuación en la Figura 1.

Cardinali et al<sup>6</sup>, realizaron una metodología geomorfológica para la estimación de amenaza y riesgo por deslizamientos en la zona central de Italia basados en un inventario multitemporal de deslizamientos identificados desde el año 1941 a 1999. Con esta metodología recomendaron definir el área de estudio, clasificar y hacer un inventario de los deslizamientos, determinar zonas de amenaza, cálculo de amenaza, realizar mapas de elementos de riesgo y cálculo de vulnerabilidad y finalmente hacer la evaluación de riesgo.

---

<sup>2</sup> BONACHEA, J. Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos. Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada. Universidad de Cantabria. Tesis Doctoral.2006

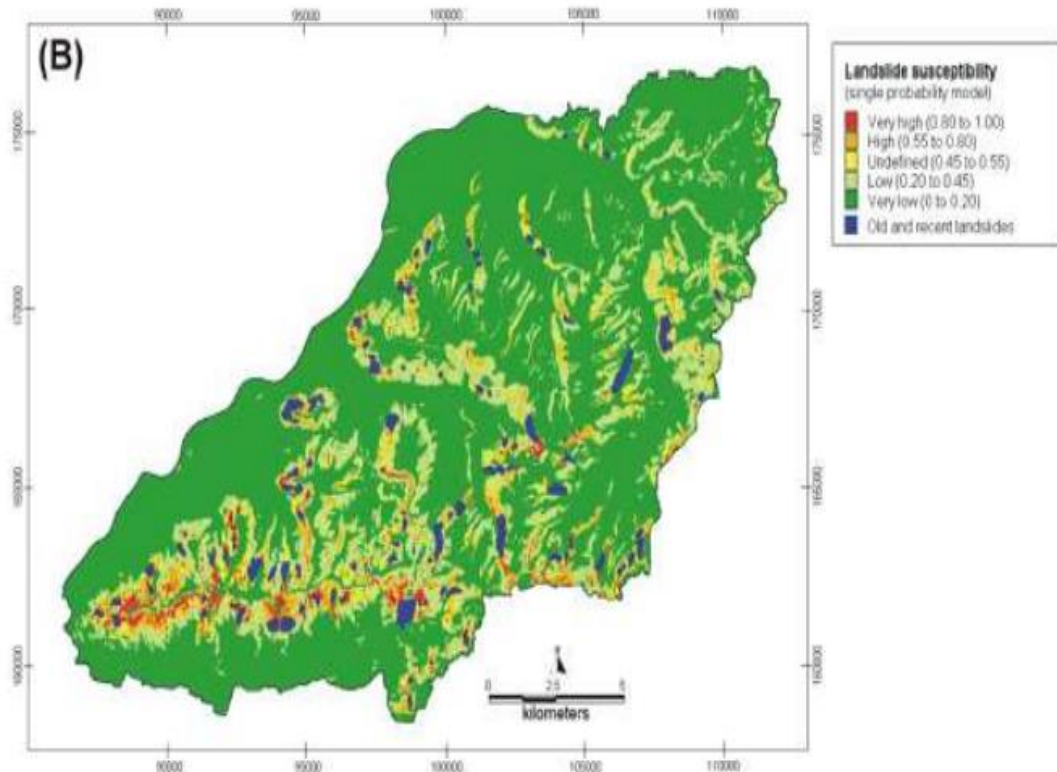
<sup>3</sup> VARNES, David. Inestabilidad de laderas, mapas de amenaza. Publicación de proyecto. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), 2005.

<sup>4</sup> BONACHEA, Op. cit.

<sup>5</sup> VAN DEN EECKHAUT, M. Combined landslide inventory and susceptibility assessment based on different mapping units: an example from the Flemish Ardennes, Belgium. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, P. 507–521.

<sup>6</sup>CARDINALI, M., REICHENBACH, P., GUZZETTI, F., ARDIZZONE, F., ANTONINI, G., GALLI, M., CACCIANO, M. A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*.2002. P. 57–72.

**Figura 1:** Esquema mapa de susceptibilidad a deslizamientos.



Fuente: Van den eekhaut, ibíd.

Ahmad y McCalpin<sup>7</sup> elaboraron algunos mapas de susceptibilidad a deslizamientos en Jamaica. Este estudio emplea básicamente una matriz de susceptibilidad a deslizamientos para identificar áreas que puedan presentar futuras zonas de generación de deslizamientos. Esta metodología se basa principalmente en realizar un mapa de inventario de deslizamientos y de los principales factores que contribuyen a la generación de los procesos de remoción en masa para generar una superposición de estos y finalmente generar el mapa general de susceptibilidad. Las principales variables utilizadas por los autores para la elaboración de la metodología son el ángulo de inclinación del talud, el aspecto de la ladera, la geología, vegetación y uso del suelo, además del inventario de deslizamientos.

<sup>7</sup> AHMAD, R; MCCALPIN, J. P.,. Landslide Susceptibility Maps for the Kingston Metropolitan Area, Jamaica with Notes on Their Use. University of the West Indies, Unit for Disaster Studies.1999.

Villacorta<sup>8</sup>, realizó un análisis de susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del río Llaminchán en Perú. Este estudio fue elaborado mediante la ayuda de sistemas de información geográfica empleando como variables el inventario de deslizamientos, la topografía, litología e hidrogeología de la zona en estudio. Para la obtención final de resultados, el autor genera una matriz de susceptibilidad combinando los datos de topografía (Pendiente) con las unidades litológicas, asignando a la matriz rangos entre 1 y 5, siendo el valor de 1 el correspondiente a una susceptibilidad muy baja y el valor de 5 a una susceptibilidad muy alta como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2:** Matriz síntesis del mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca Llaminchán.

MATRIZ DE SUSCEPTIBILIDAD		UNIDADES LITOLÓGICAS									
		RS3	DS4	RV6	RV4, DS5	RS1, RV1, RV5, DS3	RV3	RS4, RV2	DS1	RS2	DS2
PENDIENTES	<10°	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
	10 a 20°	1	1	2	1	2	3	3	2	3	2
	20 a 40°	1	2	2	2	3	3	4	3	3	4
	40 a 60°	2	3	3	4	4	4	4	4	5	5
	> 60°	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5

Fuente: Villacorta 2007

En Colombia algunos de deslizamiento están dados por eventos de lluvia de diferentes duraciones y magnitudes, produciendo grandes pérdidas tanto humanas como económicas. Aun realizándose varios estudios acerca de relacionar la lluvia con los tipos de deslizamientos ha sido incierto hacer dicha

<sup>8</sup> VILLACORTA, S. Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del río Llaminchán (Cajamarca, Perú). R Inst. investig. Fac. minas metalcienc. geogr, 10(19).2007.p.103–112.

asociación. Terlien<sup>9</sup>, realizó un estudio en la ciudad de Manizales para establecer la dependencia de los deslizamientos a partir de la lluvia acumulada de 25 días y la del día del evento, generando un umbral donde se discriminan los deslizamientos profundos de los superficiales. Los parámetros utilizados en la metodología son, la lluvia diaria, la lluvia acumulada de 25 días y el inventario de deslizamientos (Identificando un deslizamiento de hasta 1,5 m como superficial y mayor a este valor como profundo).

Crozier<sup>10</sup>, establece algunos factores que sirven de guía para determinar las condiciones de estabilidad de una ladera teniendo en cuenta el material presente y su uso. Véase Figura 3.

En la ciudad de Bogotá desde el año 1993 se están realizando estudios de microzonificación sísmica<sup>11</sup> en el cual se busca establecer zonas que ante un fenómeno sísmico tengan un comportamiento similar, estas zonas estarán determinadas por unos requisitos de diseño sísmico los cuales cumplan con los requerimientos mínimos en respuesta a estos fenómenos naturales; inicialmente el mapeo se realizó con la información que brindaron los acelerómetros instalados en la ciudad, sondeos de aproximadamente 50 zonas de estudio que no contaban con perforaciones mayores a 50 m de profundidad entre otra información que posteriormente se fue actualizando con la tecnología en el año 2010. Finalmente lo que se consiguió con la recopilación de esta información fue encontrar similitudes de zonas las cuales se tomaron como base para determinar parámetros para el diseño de edificaciones dependiendo de la intensidad sísmica; este mapa clasifica la ciudad de Bogotá con los diferentes materiales y sus profundidades generando el mapa de la Figura 4.

---

<sup>9</sup> TERLIEN, M. Hydrological landslide triggering in ash-covered slopes of Manizales (Colombia). *Geomorphology*, 20(1-2).1997.p.165–175.

<sup>10</sup> CROZIER, M. J. *Landslides: causes, consequences & environment*. Taylor & Francis.1986.

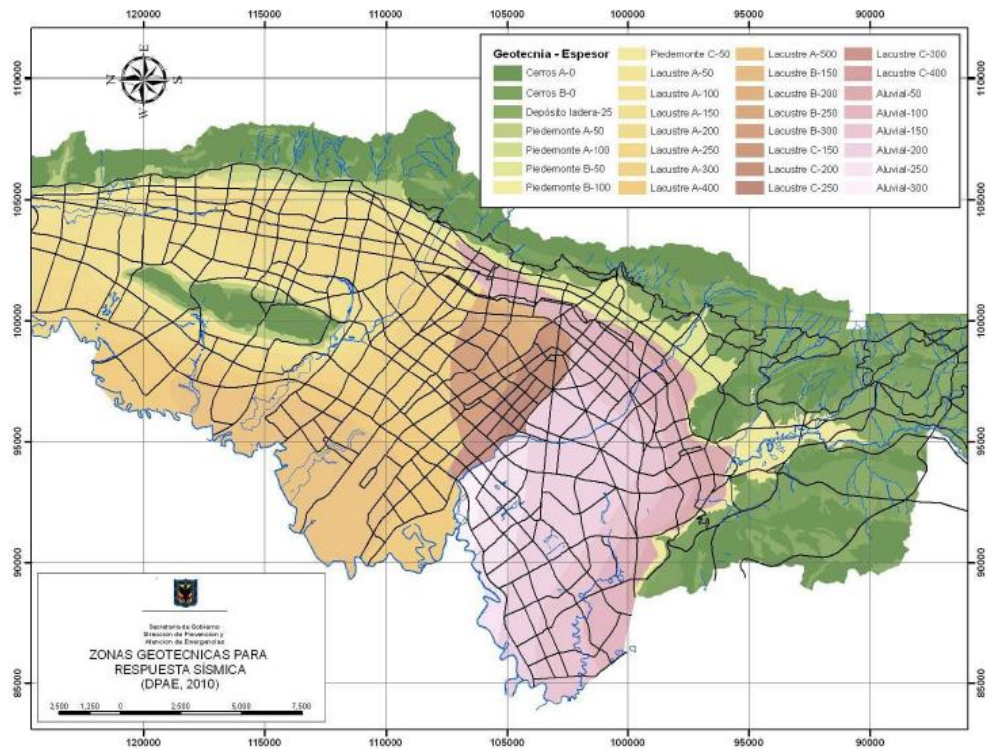
<sup>11</sup> FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA. *Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones*. Bogotá: subdirección de técnica y gestión coordinación de investigación y desarrollo, Informe final. 2010.

Figura 3: Factores que influyen en la inestabilidad de una ladera.

FACTOR	POTENCIALMENTE ESTABLE	POTENCIALMENTE INESTABLE
<b>RELIEVE</b>		
Profundidad del valle	Pequeña	Muy grande
Pendiente de laderas	Suave	Fuerte
Escarpes	Ausentes	Presentes
Diferencia de alturas entre valles	Pequeña	Muy grande
Forma de las vertientes	Convexa	Cóncava
<b>DRENAJE</b>		
Densidad de drenaje	Baja	Muy Alta
Gradiente del río	Suave	Muy fuerte
Flujo concentrado	Ausente	Presente
Agua empozada, empozamientos, pantanos	Ausente	Presente con drenaje rápido
Incisión reciente	Ausente	Grande
Presión de poros	Baja	Muy Alta
Área de drenaje	Pequeña	Grande
<b>MACIZO ROCOSO</b>		
Densidad de discontinuidades	Baja	Muy Alta
Abertura de discontinuidades	Escasa	Ancha
Relleno entre discontinuidades	Blando	Resistente
Vegetación y suelo entre discontinuidades	Ausentes	Presentes
Grietas de tensión	Ausentes	Presentes
Rumbo del plano de discontinuidad con respecto a la dirección de la pendiente	Ángulo recto	Paralelo
Ángulo de buzamiento del plano de discontinuidad con respecto al ángulo de inclinación	Grande	Pequeño
Estrato competente sobre estrato incompetente	Ausente	Presente
Grado de meteorización	Nulo	Alto
Resistencia a la compresión	Alta	Muy baja
<b>SAPROLITO Y SUELO</b>		
Sitio	Plano	Pendiente fuerte
Material duro sobre material blando	Ausente	Presente
Profundidad	Pequeña	Muy grande
Resistencia al corte	Alta	Muy Alta
Índice de plasticidad	Bajo	Alto
Límite líquido	Bajo	Alto
Actividad	Baja	Alta
Grietas de desecación	Ausentes	Presentes
Material permeable sobre material impermeable	Ausentes	Presentes
Naturaleza del contacto saprolito/roca	Gradacional	Abrupto
Depresiones subsuperficiales y surcos de drenaje	Ausente	Muchas
Erosión	Leve	Intensa
<b>EVIDENCIA DE FENÓMENOS ANTIGUOS</b>		
Evidencia de soliflucción	Ausente	Muchas
Antiguas hondonadas	Ausente	Muchas
Deslizamientos antiguos	Ausente	Muchos
Profundidad de meteorización	Ninguna	Grande
<b>CLIMA</b>		
Lluvias	Baja intensidad	Alta intensidad
Variabilidad del total de lluvias	Baja	Alta
Episodios de sequía	No común	Común
Descongelamiento de cobertura de nieve o hielo	Lenta	Rápida
Ciclo de contracción-expansión (secado-humedecimiento)	Pocos	Muchos
<b>VEGETACIÓN</b>		
Plantas hidrófilas	Ausente	Presente
Biomasa en pendientes >45°	Baja	Alta
Biomasa en pendientes <45°	Alta	Baja
Alteración reciente de la biomasa	Ninguna	Numerosa
<b>ACTIVIDADES ANTRÓPICAS</b>		
Exavaciones profundas	Ninguna	Grandes
Posición de la excavación	En el tope	En la base
Compactación de rellenos	Alta	Ninguna
Embalses	Ausentes	Presentes
Fluctuación del nivel del embalse	Pequeña	Grande
Sobrecarga en la parte superior del talud	Ninguna	Alta
Drenaje impedido	Ausente	Presente
Descarga de aguas	Ausente	Presente
Deforestación	Ausente	Presente
Cultivo hidrófilo	Ausente	Presente
Sobrepastoreo	Bajo	Muy alto

Fuente: Crozier 1986

**Figura 4: Mapa de zonificación geotécnica para respuesta sísmica.**



Fuente: zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diagnosticar zonas inestables por procesos de remoción en masa en la Avenida Circunvalación comprendida entre las calles 19 y 45 en la ciudad de Bogotá D.C.

#### **3.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS**

- 3.2.1 Identificar los diferentes procesos de remoción en masa presentes en el sector de estudio.
- 3.2.2 Determinar las zonas con influencia de inestabilidad por PRM.
- 3.2.3 Proponer un mapa de diagnóstico con las zonas de amenaza alta, media y baja por PRM en la zona de estudio.

## 4 JUSTIFICACIÓN

La Cordillera Oriental se caracteriza por ser un macizo rocoso fracturado que puede reaccionar con factores desencadenantes y detonantes haciendo de este más vulnerable a presentar procesos por remoción en masa, por lo cual se pretende realizar un estudio en las laderas de los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá en el tramo de la Avenida Circunvalación comprendido entre las calles 19 y 45. Este sector se caracteriza por tener zonas residenciales como La Macarena (Av. Circunvalación por carrera 24), educativas como la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y se evidencian construcciones que pueden ser de invasión, además es una de las vías más utilizadas en la ciudad ya que comunica con rápido acceso el norte y centro de Bogotá.

Esta avenida es usada en el plan de manejo de tránsito (PMT) cuando otras vías principales están en mantenimiento o emergencias por Movilidad de Bogotá<sup>12</sup>. En la zona de estudio se han evidenciado diferentes problemas de movimientos de tierras que han generado cierre de la vía; ejemplo de ello, en el año 2011 se hace un cierre en el sector comprendido por las calles 13 y 18 en sentido sur-norte debido a la evidencia de fisuras y grietas que indican movimientos de masas o tierras<sup>13</sup>, por lo que es necesario encontrar parámetros físicos y mecánicos que definan los tipos de procesos que ocurren en esta; de tal manera que se pueda diagnosticar las zonas que presenten inestabilidad. Esto para conocer en detalle el tramo en estudio y poder desarrollar una planeación con información confiable basada en los diagnósticos realizados, la cual permite desarrollar un proyecto de mitigación adecuado. Con la información obtenida se hace un aporte de conocimiento técnico que facilita visualizar en un proyecto las zonas de amenaza debido a la inestabilidad por PRM en laderas a un equipo de profesionales de entidades públicas o privadas interesadas en realizar obras en el sector, ya sean nuevas o de remodelación. Este estudio se podrá incorporar en la planeación de la ciudad en los sectores que se van a estudiar, lo cual servirá para tener una base para proyectar obras de mitigación a futuro.

---

<sup>12</sup> SECRETARIA DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ, Contraflujo en av. circunvalar entre la calle 20 y la carrera 3, habrá reversible en av. circunvalar entre el funicular y la calle 34. (en línea). (Consultado febrero 2015). Disponible en: <http://www.movilidadbogota.gov.co/?pag=825>, <http://www.movilidadbogota.gov.co/?pag=595>. 2011.

<sup>13</sup> SECRETARIA DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ, Cerrada av. circunvalar por calle 18. (en línea). (Consultado febrero 2015). Disponible en: <http://www.movilidadbogota.gov.co/?pag=922>. Noviembre,

## 5 MARCO REFERENCIAL

### 5.1 MARCO CONCEPTUAL

En Colombia es frecuente que ocurra un deslizamiento ya que es un país afectado por fallas geológicas, clima, topografía, actividad sísmica, acción humana y otros agentes; estos fenómenos se hacen más notorios en las áreas localizadas en las cordilleras. Para saber si un talud es susceptible a un deslizamiento se realiza un análisis de inestabilidad en los que se tienen en cuenta los factores que contribuyen a la falla; pueden clasificarse en factores contribuyentes o desencadenantes que hacen que se incrementen los esfuerzos cortantes y se disminuya la resistencia al corte. Como factores contribuyentes se tienen las condiciones del terreno (tipo de material, discontinuidades o fallas, contraste de permeabilidad y de rigidez), los procesos geomorfológicos (sismos, actividad volcánica, socavación, erosión, remoción de la vegetación), los procesos físicos (precipitación, descongelamiento, meteorización), y los procesos humanos (excavación, cargas, irrigación, explotación minera, vibración); y los factores disparadores tienen en cuenta los mismos procesos a excepción de las condiciones naturales del terreno<sup>14</sup>(ver tabla 1).

**Tabla 1:** Factores inherentes a la estabilidad de taludes.

Factores internos	Geológicos
	Geomorfológicos
	Geotécnicos
	Vegetación
Factores Externos	Climatológicos
	Sísmicos
	Antropogénicos

Fuente: Rodríguez 2006

Las principales señales de movimiento son:

- Deformación de estructuras adyacentes.
- Drenaje deficiente de agua superficial.
- Drenaje deficiente de agua subsuperficial.
- Erosión.
- Grietas de tracción.

---

<sup>14</sup> PAPESCU, M. A suggested method for reporting landslides causes. International association of engineering geology. N° 50. Paris, Francia. 1994.

- Hundimientos de subrasante.
- Detritos en la vía.
- Abultamientos.
- Cambios de forma.

Según el tipo de movimiento de falla que se presente en el deslizamiento se puede catalogar dentro de un sistema de clasificación de movimiento; según Varnes<sup>15</sup> es el siguiente:

- Caídas: masa de cualquier tamaño que se desprende de un talud y desciende a través del aire por caída libre.
- Volcamiento: rotación hacia delante de una o varias unidades alrededor de un punto de giro.
- Deslizamientos: movimiento de cizalladura a lo largo de una o varias superficies de falla. Puede ser rotacional (superficie de falla cóncava hacia arriba) o traslacional (superficie de falla plana).
- Propagación Lateral: el movimiento se distribuye extendiéndose lateralmente en una masa fracturada.
- Flujos: desplazamiento de la parte superficial del terreno que depende de la velocidad con que esta se mueva; lenta: creep, rápida: flujo de detritos o tierra, alta: flujo de lodo, muy alta: avalancha.
- Movimientos Complejos: es una combinación de todos los movimientos anteriores.

Otras posibles clasificaciones pueden ser:

#### **Clasificación según procesos de inestabilidad**

- Deslizamientos nuevos.
- Deslizamientos reactivos.
- Los causados por movimientos sísmicos.

#### **Clasificación desde el punto de vista geológico**

- Que afecten la capa meteorizada.
- Los masivos o profundos (lentos o rápidos).

Luego de realizar la identificación del posible tipo de movimiento de un talud se hace un análisis de estabilidad para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales, escogiendo la superficie de falla en la que el factor de seguridad sea el menor. Se puede analizar el talud por medio de dos tipos de análisis, una es por medio del equilibrio límite (no hay relaciones de esfuerzo-

---

<sup>15</sup> VARNES, D. Slope movement types and processes. 1978.

deformación) y por elementos finitos (si hay relaciones esfuerzo-deformación) (ver figura 5).

**Figura 5:** Métodos de Análisis de Estabilidad de taludes.

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección $F_0$ para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma de la superficie de falla.	De fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma de la superficie de falla.	De fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinados a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
Spencer (1967)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficiente sísmico. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales.
Elementos finitos	Cualquier forma de la superficie de falla.	Analiza esfuerzos y deformaciones.	Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.
Espiral logarítmica	Espiral logarítmica	Momentos y fuerzas.	Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio.

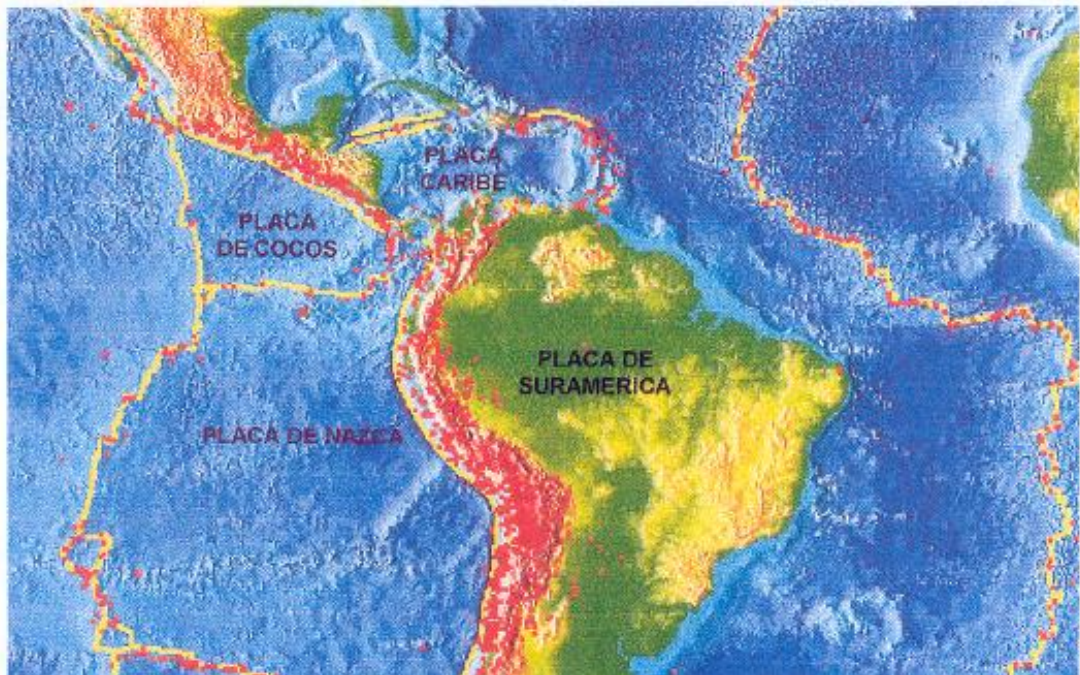
Fuente: convenio interadministrativo

Se puede evaluar una zona como susceptible a un deslizamiento por medio de una clasificación en la que se tenga en cuenta el tipo de movimiento, los factores que lo causaron, las obras civiles que hayan alrededor del talud y se identifica las características y procesos dominantes con el fin de informar si es una zona alta, media o baja.

Bogotá está ubicada en una zona la cual no posee gran historia con respecto a sismos presentados, pero no está exento de sufrir estos fenómenos ya que se

encuentra en la zona Andina de Colombia la cual se considera propensa a actividades sísmicas y se encuentra afectada por un sistema de fuerzas tectónicas de las placas de Nascar, Suramericana y la placa del Caribe (ver Figura 6).

**Figura 6:** Placas tectónicas continente suramericano.



Fuente: convenio interadministrativo 01-93

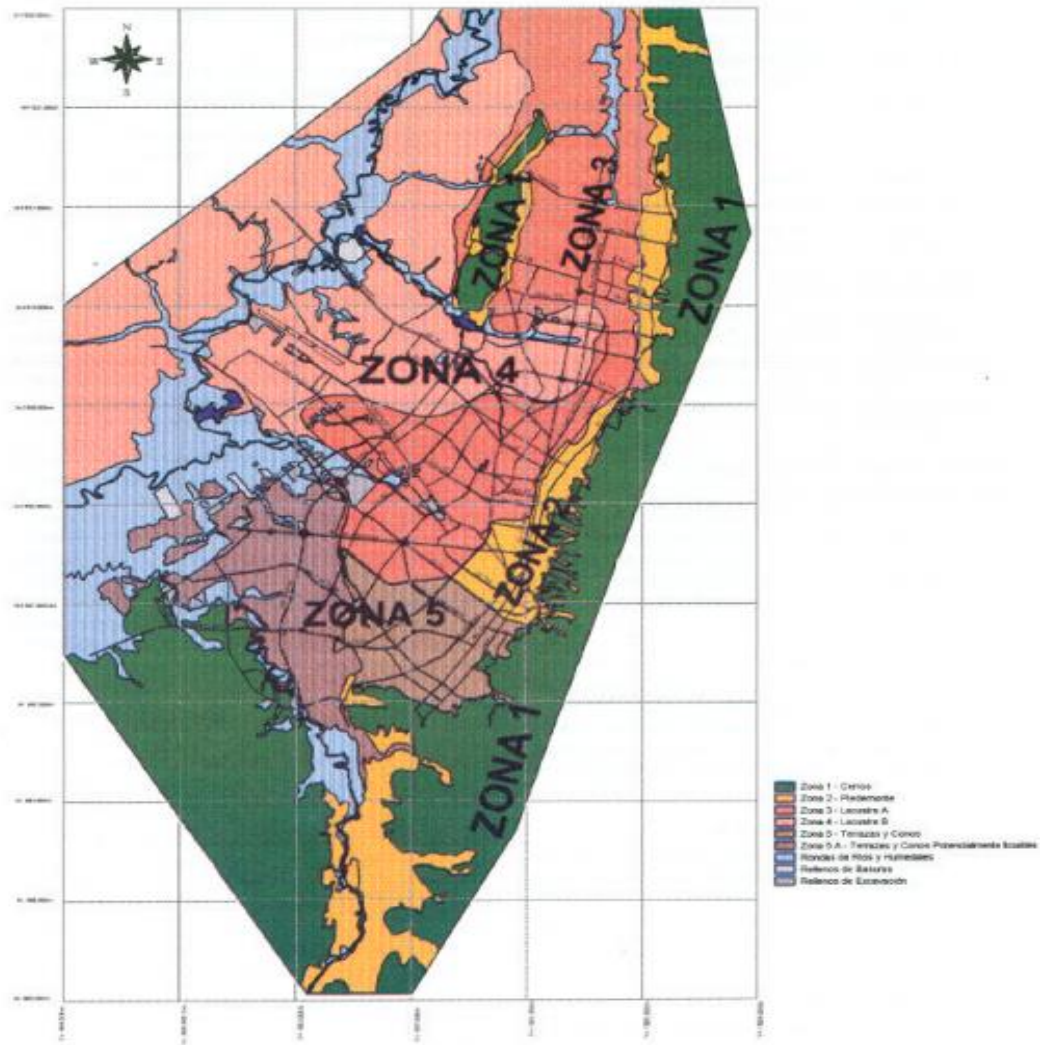
## 5.2 MARCO GEOGRÁFICO

Bogotá tiene terrenos conformados por suelos blandos de origen lacustre los cuales tienen propiedades de amplificar la respuesta del subsuelo cuando es afectada por ondas sísmicas (ver figura 7).

La microzonificación hecha en la ciudad de Bogotá está determinada por diferentes variables que intervienen como lo son los hechos históricos de los sismos, la geología local y perfiles estratigráficos (propiedades básicas del subsuelo).



**Figura 8:** Mapa de microzonificación sísmica de Bogotá.



Fuente: convenio interadministrativo 01-93

**Figura 9:** Mapa de susceptibilidad al deslizamiento en taludes no intervenidos.



Fuente: convenio interadministrativo 01-93

La zona de análisis de este proyecto se caracteriza por ser un terreno montañoso debido a que hace parte de la Cordillera Oriental, con una topografía de hasta 2600 m.s.n.m. Se encuentra ubicado dentro de los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá D.C., comprendido entre las calles 19 y 45

abarcando las localidades de Santa Fe y Chapinero; la distancia a analizar es de aproximadamente 4,1 kilómetros (ver Figura 10).

**Figura 10:** Zona de estudio.



Fuente: Google earth

Es un terreno que se encuentra en su mayoría en estado natural aunque hay excepción en tramos los cuales han tenido proyectos realizados sobre urbanización representados por un estrato socioeconómico medio – alto (es decir; 3, 4 y 5). Algunos tramos en estado natural han sido intervenidos con estructuras de contención para tratar el tema de remoción en masa. (ver Figura 11).

**Figura 11:** Fotografías de la zona de estudio.



Fuente: Propia

### **5.3 MARCO LEGAL**

Este trabajo está fundamentado con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) ya que este exige como requisito previo para el trámite de radicación de documentos de proyectos a realizar, que se haya realizado las obras de mitigación propuestas en el estudio detallado de amenaza y riesgo por fenómeno de remoción en masa, ya que el problema principal de esta investigación se basa en los Cerros Orientales los cuales son posibles potenciales para estos fenómenos de remoción.

Por medio de la resolución No 227 del 13 de Julio de 2006 se estandarizan parámetros que se deben tener en cuenta al momento se realizar una zonificación dependiendo el alcance del estudio que se quiera realizar.

Estos estudios previos que se exigen tienen que estar avalados por entidades públicas que los aprueben previamente como lo son la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias DPAE hoy FOPAE los cuales por medio del decreto 364 del 26 de Agosto de 2013 se modifica las normas urbanísticas del POT donde se encuentra una subsección de amenazas por fenómenos de remoción en masa determinando las principales características para la zonificación. Para estos estudios previos se tiene como base teórica el manual de estabilidad de taludes<sup>16</sup> el cual especifica los pasos y variables que intervienen en una ladera y cuales son métodos más apropiados para su análisis e intervención.

En el año 2012 se aprobó la ley 1523 la cual reglamenta que todas las autoridades del territorio colombiano tienen como responsabilidad la gestión de riesgo de desastres el cual está orientado a la prevención, formulación, seguimiento, estrategias y planes para hacer una contribución en la seguridad y el bienestar de las personas y el desarrollo sostenible. Esta ley no solo acoge a las entidades públicas, también a las empresas privadas con ánimo o sin ánimo de lucro y a la comunidad integrándolos en una misma misión de responsabilidad en la gestión del desarrollo social.

---

• <sup>16</sup> GARCÍA, Manuel *et al.* Op cit.

## **6 DISEÑO METODOLÓGICO**

### **6.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

Este trabajo tiene un enfoque cualitativo ya que se basa en métodos de recolección de datos sin medición numérica como las descripciones y las observaciones.

### **6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Este trabajo tiene un enfoque correlacional <sup>17</sup> ya que trata de la recolección de datos, descripciones, observaciones y estadísticas. La manera de establecer el enfoque se debe a que mediante observaciones se determinarán los distintos PRM ocurridos en el terreno de la vía avenida circunvalación desde la calle 19 a la 45. Con esta recolección de datos se puede llegar a determinar las zonas de alta, media y baja amenaza en términos de deslizamientos.

Los tipos de investigación son; descriptiva ya que se presentará el estado actual del objeto de estudio que es el terreno, de esta manera, y por medio del tipo de investigación correlacional se podrán desarrollar diferentes técnicas para explicar su funcionamiento y así predecir diferentes fallas a un futuro; lo cual permitirá el diagnóstico y clasificación de las zonas de alta, media y baja amenaza a lo largo del tramo de la zona de estudio.

### **6.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

6.3.1 Análisis de documentos: se recolectarán datos encontrados en planos, y bases de datos en donde se muestren comportamientos comunes del terreno en esta zona.

6.3.2 Observación: se programarán visitas técnicas de campo para poder diagnosticar los diferentes fallas presentadas; para ello se utilizará la observación directa en sus dos ramas, casual ya que mediante conocimientos e intereses se desarrollarán varios de los temas, y

---

<sup>17</sup> HERNANDEZ. SAMPIERI, Roberto. Metodología de la investigación. Capítulo 1: El proceso de investigación y los enfoques cuantitativo y cualitativo hacia un modelo integral. McGraw Hill. México, D. F. 2003. P. 4 – 20.

estructurada teniendo en cuenta que se debe tener control sobre las observaciones para poder llevar un registro confiable de cada suceso observado.

- 6.3.3 Operacionalización de variables: se tendrán en cuenta variables como la estratigrafía de suelos y diferentes tipo de cargas alrededor de la ladera, fotografías aéreas de la zona y la digitalización de estas en un sistema de posición geográfica, para así determinar el tipo de PRM que se presenta y poder determinar si es una zona de alta, media o baja amenaza.

## **6.4 FASES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **6.4.1 Fase I: Recolección de información secundaria**

- 6.4.1.1 **Reconocimiento del lugar** de análisis para el trabajo de tesis: Se realiza una o dos visitas si es necesario al lugar elegido y se recorre el tramo de estudio, en este caso los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá entre las calles 19 y 45 a lo largo de la Avenida Circunvalación; y se observa de una manera general el estado actual de las laderas y proyectos civiles alrededor de la zona de estudio.

- 6.4.1.2 **Realización de planos topográficos** esta información se obtuvo mediante orto fotos, ingresándolas a un software de diseño y así obtener las curvas de nivel del terreno.

### **6.4.2 Fase II: Trabajo en campo**

- 6.4.2.1 **Realización de visitas técnicas de campo** en las cuales se hacen las observaciones del estado de las laderas y poder caracterizar los problemas identificados. Dichas observaciones se registrarán en formatos de campo como se muestran en el Anexo 1.

- 6.4.2.2 **Unificación y análisis de la información** obtenida para evaluación del nivel de riesgo por remoción en masa: Una vez hechas todas las visitas programadas se unifica la información de los formatos y se analizan a fin de poder realizar una descripción en detalle de la zona de estudio.

### **6.4.3 Fase III: Digitalización**

**6.4.3.1 Digitalización del mapa** de clasificación de zonas de amenaza por inestabilidad de laderas: Teniendo en cuenta el plano topográfico de la zona se realiza un mapa de pendientes, con la estratigrafía y propiedades del suelo se generarán otros mapas donde se muestra la amenaza por factores de seguridad. De los anteriores se realiza un traslapeo con diferentes porcentajes de participación y así encontrar y clasificar la amenaza alta, media y baja por PRM.

## 7 ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 7.1 FASE I: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

#### 7.1.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN

El área en estudio de investigación está localizada en los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá por la Avenida Circunvalación desde la calle 19 hasta la 45. Debido a que el tramo de estudio es de una longitud considerable, se divide por subtramos para poder identificar fácilmente en la visita de campo zonas donde se presenten PRM (ver Figura 11 y 12).

**Figura 12:** Ubicación del tramo de estudio.



Fuente: Portal de mapas de Bogotá Bogotá.

Fuente: Portal de mapas de Bogotá.

Por medio de visitas de campo y fotografías aéreas de la zona, se determinó que la zona de estudio es un área donde se encuentra grandes zonas de reserva natural y otros tramos que se encuentran urbanizados. Se evidenció

que algunas laderas ya han sufrido PRM los cuales algunos de estos ya han sido intervenidos.

### 7.1.2 EXPLORACIÓN DE CAMPO

Se realizaron dos visitas de campo; una donde se observa la zona de estudio en general y se hacen tomas de fotografías a lo largo del recorrido sin realizar una parada en algún sitio especial. En la segunda visita de campo se divide la zona de estudio por tramos para poder describir de manera detallada, tomar datos en los formatos y fotografías de los PRM si se identifican.

### 7.1.3 LOCALIZACIÓN DE SONDEOS

Para la caracterización geotécnica, se analizó los estudios geotécnicos realizados en proyectos de grado de años anteriores de la Universidad La Gran Colombia y de empresas privadas de Ingeniería de Suelos, de los cuales los siguientes fueron los pertinentes para la caracterización estratigráfica y de propiedades del suelo de la zona:

1. Bacata BD – Calle 19 # 5-20<sup>18</sup>
2. Recolecta san Diego – calle 26 con carrera 5<sup>19</sup>
3. Casa Losada – Carrera 6B # 32-24<sup>20</sup>
4. Canchas Universidad Javeriana – Calle 39 con Carrera 5<sup>21</sup>
5. Restaurante – Calle 41#7-52<sup>22</sup>
6. Facultad de Artes U. Javeriana – calle 40 con carrera 6<sup>23</sup>
7. Cataluña- Calle 42 · 4-05<sup>24</sup>

La ubicación de los sondeos se muestran en la Figura No. 13.

---

<sup>19</sup> ESPINOSA Y RESTREPO INGENIERÍA DE SUELOS. Bd Bacata, Junio, 2014. Bogotá D.C.

<sup>20</sup> TORRES FOSECA, Oscar Erminsol. Impacto de la normatividad geotécnica y modelo del subsuelo para la ciudad de Bogotá D.C. Proyecto de Grado. Universidad la Gran Colombia. Bogotá D.C. 2006. P. 477 – 480.

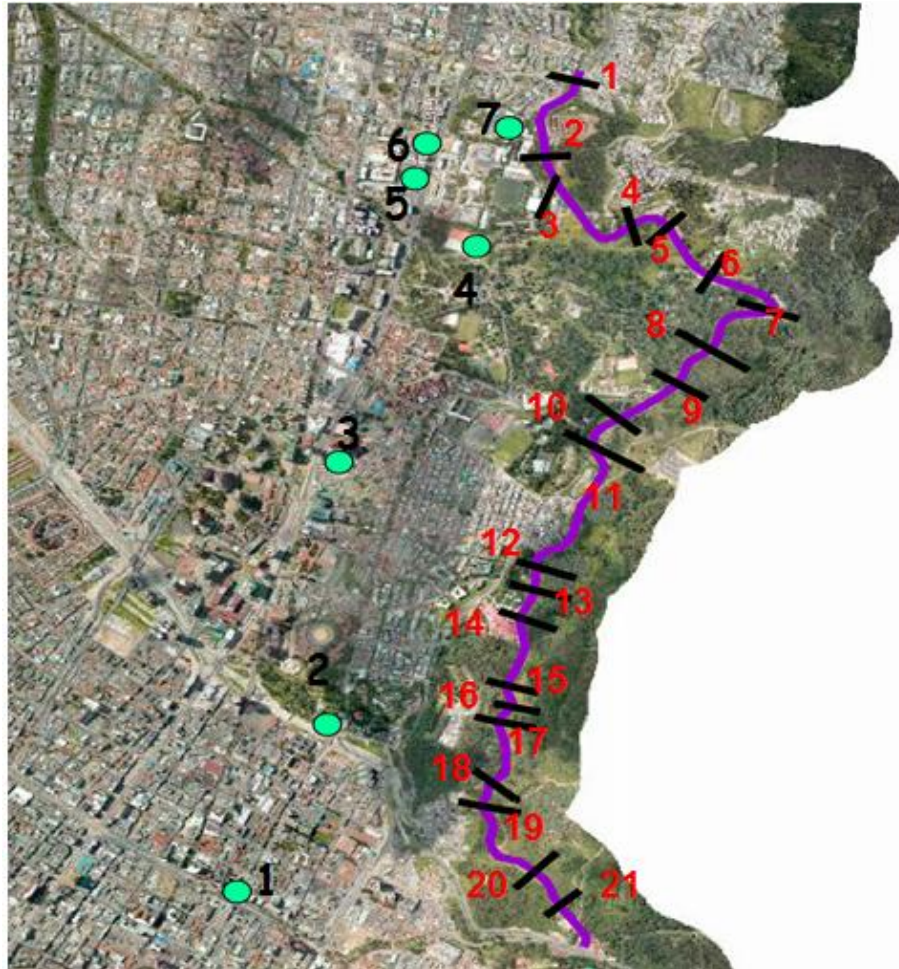
<sup>21</sup> ESPINOSA Y RESTREPO INGENIERÍA DE SUELOS. Canchas Javeriana. Noviembre, 2014. Bogotá D.C.

<sup>22</sup> TORRES FOSECA, Oscar Erminsol. Op. Cit. P.267 – 270.

<sup>23</sup> INGENIEROS CIVILES S.A. Proyecto Edificio Facultad de Artes Universidad Javeriana. Enero, 2011. Bogotá D.C.

<sup>24</sup> CASTRO GONZALEZ, Gerardo. Impacto de la normativa geotécnica y modelo del subsuelo para la ciudad de Bogotá D.C. Proyecto de Grado. Universidad la Gran Colombia. Bogotá D.C. 2006.

**Figura 13:** Localización de sondeos.



Fuente: Portal de mapas de Bogota.

- Perfiles.
- Estudios de suelos.

#### 7.1.4 PERFILES ESTRATIGRÁFICOS Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Los perfiles estratigráficos que se adquirieron de los estudios de suelos no tenían parámetros que son fundamentales para la modelación, por lo cual se utilizó la correlación que se hace en el libro de BOWLES<sup>25</sup> (ver tabla 2), el cual relaciona la variable del número de penetración estándar de materiales

<sup>25</sup> BOWLES, Joseph. Foundation analysis and design. Edición No. 5. McGrawHill. 1996. P. 101

cohesivos con la carga última ( $q_u$ ), de esa manera se determinó la cohesión de algunos materiales faltantes.

**Tabla 2:** Tabla de correlación de número de penetración con  $q_u$ .

Consistency	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Very stiff	Hard
qu Ksf	0	0.5	1	2	4	8
(kPa)		(25)	(50)	(100)	(200)	(400)
N, standard penetration resistance	0	2	4	8	16	32

Fuente: Bowles.

#### 7.1.4.1 Bd Bacata - Calle 19 # 5-20

El estudio de suelos de BD Bacata se realizó por medio de sondeos con una máxima de perforación de 57.0 m perforados con un equipo de roto-percusión; a las muestras se midió resistencia al corte de los mantos arcillosos con penetrómetro manual y ensayos de penetración estándar con medida de densidad de los suelos granulares e índices de consistencias de los suelos arcillosos. De la información suministrada en el estudio se tomaron los pesos unitarios, el Ángulo de fricción, la cohesión y el número de golpes (ver Tabla 3).

**Tabla 3:** Descripción de materiales y resultados de los ensayos de laboratorio-Bd Bacata.

ESTRATO	MATERIAL	P (m)	PESOS UNITARIOS (kN/M3)	$\Phi$ (°)	C (kN/m <sup>2</sup> )	No de golpes
1	Relleno de limo, arcilla, arena y gravas.	0.0 - 0.8	20.79	-	150	10
2	Limo arcillo arenoso y/o arcilla limo arenosa carmelita habana y/o amarillo de consistencia blanda a dura. Con vetas rojizas y de óxido.	0.8 - 6.5	21.08		49	2-17
	Conglomerado carmelito de gravas de arenisca en matriz arcillosa, limosa y/o arenosa de densidad suelta a muy compacta	6.5 - 18	14.32	28		8-91
4	Coluvión conformado por arenisca habana en matriz arcillosa y/o limo arenoso	18 - 20	20.50	30	-	24

ESTRATO	MATERIAL	P (m)	PESOS UNITARIOS (kN/M3)	$\phi$ (°)	C (kN/m <sup>2</sup> )	No de golpes
5	Limo arcillo arenoso carmelito habano de consistencia medio firme a dura con pintas negras y gravas y/o conglomerado de arena arcilla y gravas	20-24.5	19.40		73.54	21-88
6	Coluvión conformado por arenisca habana en matriz limo arenoso y/o arena limosa	24.5 - 54.5	21.73	30		25-71
7	Arcillolita rojiza de consistencia muy dura con vetas de color gris.	54.5 - 57	24.05	10	1206.21	

Fuente: Espinosa y Restrepo - Bd Bacata

#### 7.1.4.2 Recolecta san Diego - calle 26 con carrera 5

El estudio de suelos de San diego se realizó por medio de sondeos de hasta 20.0 m de profundidad con equipo de roto-percusión donde se midió la resistencia al corte de los mantos arcillosos con un penetrómetro manual y ensayos de penetración estándar con medida de densidad de los suelos granulares e índices de consistencias de los suelos arcillosos. Se consideró necesario la toma de muestras alteradas e inalteradas para la humedad natural y límites de Atterberg, pesos unitarios y granulometría (ver tabla 4).

**Tabla 4:** Descripción de materiales y resultados de los ensayos de laboratorio – San Diego.

ESTRATO	MATERIAL	P (m)	PESOS UNITARIOS (kN/M3)	$\phi$ (°)	C (kN/m <sup>2</sup> )	No de golpes
1	Relleno conformado por limo, arena, escombros y gravas hasta de 5" de diámetro	0-3.5	20.99	-	200	16-31
2	Arcilla limosa y/o arenosa gris y/o habana amarilla de consistencia blanda a dura con algunas gravas.	3.5-8.3	14.71	-	36.77	4-19

ESTRATO	MATERIAL	P (m)	PESOS UNITARIOS (kN/M3)	$\phi$ (°)	C (kN/m <sup>2</sup> )	No de golpes
3	Conglomerado de gravas de densidad media a muy compacta, en matriz de arcilla arenosa y/o arena arcillosa gris.	8.3-12	16.67	30	200	17-56
4	Formación de arenisca a arcillolita carmelita oscura y/o amarilla muy compacta con algo de matriz arenosa.	12-20	19.61	32	600	

Fuente: Espinisa y Restrepo – Recolecta san Diego

#### 7.1.4.3 Casa losada – Carrera 6B # 32-24

El estudio de suelos de Casa Losada se realizó por medio de sondeos de hasta 6.0 m de profundidad donde se obtuvieron resultados de  $q_u$ , humedad y densidades húmeda y seca (ver tabla 5).

**Tabla 5:** Descripción de materiales y resultados de los ensayos de laboratorio - Casa Losada.

P (m)	MATERIAL	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	W %	DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>2</sup> )	DENSIDAD SECA (g/cm <sup>2</sup> )
0 - 0.9	Limo orgánico de color negro, presencia de raíces.	76.49	21	1.95	1.61
0.9 - 2.1	Arcilla limosa dura, color habano con carmelito.	168.67	19.3	2.16	1.81
2.1 - 3.5	Arcilla arenosa dura color marrón y betas carmelitas.	174.55	18	2.08	1.77
3.5 - 5.3	Arena limo arcillosa color habano.	147.09	15	2.1	1.89

Fuente: Impacto de la normativa geotécnica y modelo del subsuelo para la ciudad de Bogotá D.C.

#### 7.1.4.4 Canchas Universidad Javeriana – Calle 39 con Carrera 5

El estudio de suelos realizado por medio de sondeos con profundidades máximas de 6.0 m perforados con barreno manual, los cuales se le realizaron ensayos de penetración estándar con índices de consistencia y la resistencia al corte con un penetrometro manual de los suelos arcillosos y limos, también la densidad de estratos granulares, límites de Atterberg, humedad natural, pesos unitarios y granulometría (ver tabla 6).

**Tabla 6:** Descripción de materiales y resultados de los ensayos de laboratorio - u. Javeriana.

ESTRATO	MATERIAL	P (m)	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	qu (kN/m <sup>2</sup> )	c (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	N (golpes/pie)
1	Relleno con limo orgánico de color carmelito oscuro y amarillo, con raíces y gravas de arenisca.	0.00 - 2.00	1.4	196.13	1.00	---	9
2	Limo orgánico de color negro con trazos de arenisca de consistencia firme.	2.00 - 3.00	1.8	353.03	1.80	---	21
3	Arcilla arenosa de color carmelito, con algunas gravas, de consistencia muy dura.	3.00 - 6.00	1.9	-----	-----	32	62

Fuente: Espinosa y Restrepo – Canchas U Javeriana.

#### 7.1.4.5 Facultad de artes Universidad Javeriana - calle 40

El estudio de suelos se realizó por medio de sondeos de hasta 35.0 m de profundidad a los cuales se le realizaron laboratorios de humedad natural, límites de consistencia, resistencia a la compresión confinada, ensayo de corte directo, pesos unitarios, cohesión y ángulo de fricción. De los cuales se extrajeron los necesarios para generar el modelo determinístico (ver tabla 7).

**Tabla 7:** Descripción de materiales y resultados de los ensayos de laboratorio - F. Artes.

ESTRATO	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	PESOS UNITARIOS (kN/M <sup>3</sup> )	$\Phi$ (°)	C (KN/m <sup>2</sup> )
1	Relleno heterogéneo (escombros y material de excavación)	0-1.5	18.73		73.54
2	Arcilla arenosa habana con óxido.	1.5-2	21.67		66.68

ESTRATO	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	PESOS UNITARIOS (kN/M3)	$\Phi$ (°)	C (KN/m <sup>2</sup> )
3	PROFUNDIDAD (M)	2-3.4	20.59		392.26
4	Arena habana con fragmentos de arenisca con lentes de arcilla y oxido.	3-4.1	19.61	26	0.95
5	Fragmentos y bloques de arenisca habana con matriz arcillosa	4.1-5.8	20.10	26	-
6	Gravas arenisca en matriz de arcilla habana (coluvión).	5.8-7.3	20.10	26	30.89
7	Arcillolita roja y habana (afectada por humedad)	7.3-12.8	22.85	26	128.46
8	Arcillolita roja con vetas moradas y habana (consistencia media).	12.8-16.3	23.24	-	5.395
9	Arcillolita roja con vetas moradas y habana (consistencia dura).	16.3-17.8	24.71	-	5.395
10	Arcillolita habana con vetas rojas y moradas (disminuye grado de meteorización del material).	17.8-33.3	23.44	-	4.985

Fuente: SRC Ingenieros Civiles- U Javeriana.

#### 7.1.4.6 Restaurante –Calle 41 #7-52

El estudio de suelos de Restaurante se realizó por medio de sondeos de hasta 7.50 m de profundidad perforados con barreno manual con tubería de 5 cm de diámetro. Se realizaron ensayos de penetración estándar, resistencia a la compresión confinada y de consolidación; donde se obtuvieron resultados de límites de Atterberg, densidades (húmeda y seca),  $q_u$  y cohesión (ver tabla 8).

**Tabla 8:** Descripción de materiales y resultados de los ensayos de laboratorio - CII 41.

P (m)	MATERIAL	Wn	WI	WP	IP	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )		(KN/m <sup>2</sup> )		
						HUMEDAD	SECA	qu	Cu	qu spt
1.0-1.50	Relleno compacto (recebo)	26.99	68.42	27.36	41.06	1.92	1.51	180.44	90.22	
1.5-2.0	Arcilla carmelita con betas habanas	21.03	49.09	21.05	28.04	1.94	1.60	83.35	41.18	104.93
2.0-4.0	Arcilla roja con vetas amarillas y grises.	27.31	58.53	24.66	33.87	1.99	1.56	294.19	147.09	
4.0-7.5	Arcillolita abigarrada	19.58	35.29	17.76	17.53	1.76	1.49	66.68	33.34	

Fuente: Impacto de la normativa geotécnica y modelo del subsuelo para la ciudad de Bogotá D.C.

#### 7.1.4.7 Cataluña - Calle 42#4-05

El estudio de suelos de Cataluña se realizó por medio de sondeos de hasta 10.70 m de profundidad. Se obtuvieron resultados de límites de Atterberg, humedad natural (ver tabla 9).

**Tabla 9:** Descripción de materiales y resultados de los ensayos de laboratorio - Cataluña.

P (m)	L.L	L.P	WN	CLASIFICACION	P (m)	MATERIAL
0-1.5	27	15	13.2	CL	0.0 - 1.0	Rellenos en tierras varias con escombros
1.5 - 1.8	27	17	12.6	SC	1.0 - 4.8	Escombros con piedras
2.1 - 2.4	19	19	0	SM	4.8 - 6.3	Arcilla de color café con gravas y piedras
2.7 - 3.0	35	18	17	GC	6.3 - 6.6	Arcilla de color café
3.4 - 3.7	25	15	16	CL	6.6 - 6.9	Arcilla de color café con gravas y piedras

P (m)	L.L	L.P	WN	CLASIFICACIÓN
4.0 - 4.3	26	14	12	CL
6.1 - 6.4	33	17	16	CL
8.2 - 8.5	55	24	31	CH
10.4 - 10.7	40	21	19	CL

P (m)	MATERIAL
6.9 - 7.5	Arena café con grava gruesa
7.5 - 10.7	Roca arcillolita de color morado, rojo y amarillo

Fuente: Impacto de la normativa geotécnica y modelo del subsuelo para la ciudad de Bogotá D.C.

### 7.1.5 GENERALIDADES Y CRITERIOS PARA LA EXPLORACIÓN

La exploración consiste en hacer un recorrido en el tramo de estudio con el fin de analizar elementos representativos de la zona en donde se presentan los PRM, haciendo una observación y recolectando datos de descripciones geológicas, fotografías, de uso del suelo para realizar una descripción detallada del estado de las laderas y si estas ya se encuentran intervenidas y funcionan.

Las actividades realizadas en la visita de campo son:

#### 7.1.5.1 Toma de datos por medio de una visita panorámica:

Se analizó la zona de estudio en escala 1: 5000, donde se dividió en 13 tramos, determinando los principales puntos de estudio y se establece una ruta para el recorrido en campo. (Ver Figura 11).

#### 7.1.5.2 Recolección y recorrido de campo:

Se realizó el levantamiento de la información en la zona de estudio: Toma de fotografías en los puntos seleccionados, la descripción del sector con información geológica, uso del suelo, presencia de estructuras, intervenciones en las laderas y demás observaciones que ayuden a describir la zona. Para la recolección de información se crea un formato que lleva por nombre "Formato de Campo: Registro de estado de las laderas". Este se debe diligenciar por cada punto que ya se determinaron anteriormente.

El trabajo de campo se realizó así:

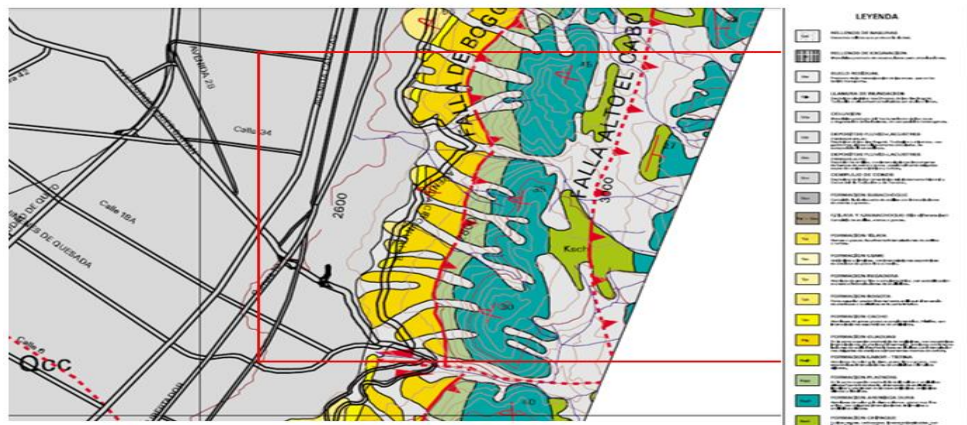
- Estudio de la información primaria.
- Se establecen los puntos a describir del tramo de estudio con una vista panorámica de la zona mediante fotografías aéreas.

- Se realiza un recorrido por la zona de estudio pasando por los puntos de interés.
- Finalmente se termina el recorrido con toma de fotografías , características geológicas de la zona y el inventario de los PRM que se han generado en el tramo de estudio, diligenciando los formatos de campo por cada zona identificada como se muestran en el anexo No. 1.

### 7.1.6 GEOLOGÍA REGIONAL

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro de las siguientes formaciones y depósitos: Formación Bogotá (Tpb), Formación Cacho (Tpc), Formación Chipaque (Ksch), Formación Guaduas (Ktg), Formación Plaeners (Ksgp), Formación Arenisca Dura (Ksgd) y el Complejo de Conos (Qcc) (ver Figura 13).

**Figura 14:** Geología de la zona.



Fuente: Portal de mapas de Bogotá.

### 7.1.7 DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES Y LOS DEPÓSITOS

El terciario esta representado por las formaciones

- **FORMACIÓN BOGOTÁ (Tpb):** La parte superior es predominantemente arcillosa, se estima que su porosidad primaria efectiva es muy baja y por lo tanto con grandes limitaciones para transmitir y almacenar agua; hay alternancia de areniscas y arcillolitas en la parte inferior. Las areniscas son gris claras a gris verdosas y amarillas por alteración, cuarzo-feldespáticas de grano fino hacia la base y conglomeráticas hacia el tope, subredondeados esfericidad media, moderadamente sorteadas y altamente friables. Las arcillolitas son de color gris oscuro a negro

cuando están frescas y violáceo a amarillo al estar meteorizadas; son blandas y altamente plásticas.

- FORMACIÓN CACHO (Tpc): Areniscas de grano grueso a conglomerático, friables, con intercalaciones esporádicas de arcillolitas.
- FORMACIÓN CHIPAQUE (Ksch): Lutitas negras, carbonosas, finamente laminadas con intercalaciones esporádicas de arenisca de grano fino.
- FORMACIÓN GUADUAS (Ktg): En la parte superior hay predominio de arcillolitas con esporádicas intercalaciones de arenisca; en la parte intermedia hay areniscas con intercalaciones de arcillolitas; y en la parte inferior hay arcillolitas con intercalaciones delgadas de arenisca e importantes mantos de carbón.
- FORMACIÓN PLAENERS (Ksgp): En la parte superior hay predominio de limolitas y arcillolitas silíceas; en la parte intermedia hay alternancia de arcillolitas, limolitas y areniscas; en la parte inferior hay arcillolitas, arcillolitas silíceas y limolitas.
- FORMACIÓN ARENISCA DURA (Ksgd): Areniscas de color gris claro a blanco, grano muy fino a fino, con delgadas intercalaciones de limolitas y arcillolitas silíceas.

El Cuaternario está representado en el área de estudio por Depósitos Coluviales

- COMPLEJO DE CONOS (Qcc): Depósitos de flujos torrenciales del Piedemonte Oriental y conos del río Tunjuelito y de Terreros. Se componen de material granular grueso, principalmente gravas, cantos y bloques de arenisca, con matriz fina de arcilla y limo, producto del desgaste y fracturamiento de las rocas que componen los Cerros Orientales de Bogotá. El espesor de estos depósitos oscila como máximo entre 10 y 12 m.

### **7.1.8 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

La parte central de la Cordillera Oriental está conformada por unidades sedimentarias del Cretácico y Paleógeno, dispuestas en amplios sinclinales y estrechos anticlinales, algunos invertidos, con sus ejes en sentido NE. Las rocas de estas unidades están fracturadas y sus contactos desplazados por fallas, en especial de cabalgamiento, con dirección predominante al NE.

En el área de estudio se presentan pliegues y fallas los cuales tienen dos orientaciones preferenciales. Algunas de ellas se orientan entre N45E a nort-sur, siguiendo el rumbo de la cordillera. Por el contrario existen otras estructuras transversales con dirección NW, que cortan a las anteriores y en general transforman el contexto estructural de la zona.

Como estructuras geológicas se tiene la falla de Bogotá, que es una falla de cabalgamiento con rumbo entre N15E y N25E y buzando suavemente al oriente entre 15 a 20 grados.

La acción y desplazamiento de la Falla de Bogotá, causa la inversión de la secuencia estratigráfica, permitiendo que los estratos tengan una inclinación favorable entre 20 y 22 grados hacia el interior de la ladera.

### 7.1.9 MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA ESTABILIDAD DE TALUDES

El modelo geotécnico se basará en los sondeos y la caracterización suministrados en los estudios de suelos de la zona y los perfiles de pendientes en los tramos seleccionados. Otro parámetro a considerar es la clasificación de zonas de amenaza sísmica la cual estará determinada por la norma NSR-10 en donde determina los siguientes parámetros (ver Figura 14):

**Figura 15:** Constantes de sismos.

Ciudad	$\Lambda_a$	$\Lambda_v$	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta

Tomada de: NSR 10

## 7.2 FASE II: TRABAJO EN CAMPO

### 7.2.1 IDENTIFICACIÓN EN CAMPO DE POSIBLES MOVIMIENTOS EN MASA

Se realizó recorrido por tramos en el que se identificaron los posibles movimientos por remoción en masa, se detectaron en cada tramo las zonas inestables y en las tablas mostradas a continuación se dará descripción de ellas.

#### 7.2.1.1 TRAMO No. 1: CALLE 45-42

**Figura 16:** Zonas con posibles movimientos No. 1 y No. 2



Fuente: Portal de mapas de Bogotá

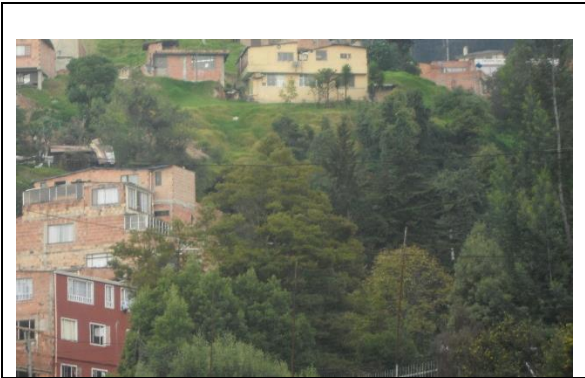

**Tabla 10:** Zona No. 1.

	<p>Se encuentra un área inestable con material de relleno de tipo antrópico, con una longitud de 15m. En la cicatriz presenta semivegetación con una cobertura menor al 40%. La vegetación del depósito es arbórea y semivegetada con una cobertura mayor del 70%.</p>
--	--

	<p>Su grado de fracturación es alto, meteorización baja y semisaturado,</p>
	<p>En la corona se encuentra una zanja en buen estado. En la ladera no es perceptible la erosión, hay escalones visibles y es una removilización antrópica. Presencia de material cohesivo con incrustaciones de raíces muy delgada y manto superficial de color verdoso producido por la humedad del material.</p>

Fuente: Propia

**Tabla 11:** Zona No.2.

	<p>Superficie inestable con cobertura arbórea, una longitud de 10 metros; en la corona presenta carga de varias viviendas de uno y dos pisos. La ladera se encuentra en su estado natural pero son evidentes las cargas a las que se encuentra sometida.</p>
	<p>El material es arcilla semisaturada, con meteorización baja.</p>

Fuente: Propia

**7.2.1.2 TRAMO No. 2: CALLE 43-40BIS**

**Figura 17:** Zona con posible movimiento No. 3.



Fuente: Portal de mapas de Bogotá

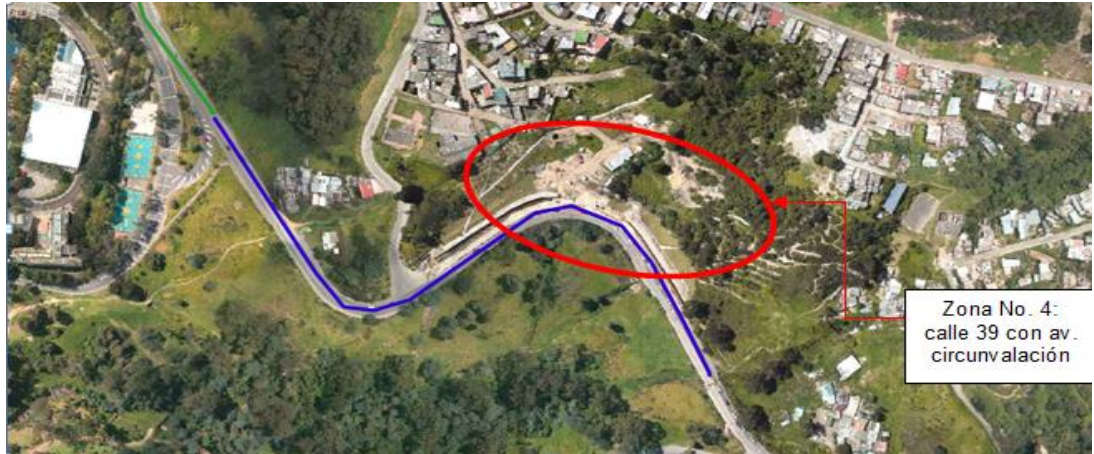
**Tabla 12:** Zona No. 3.

	<p>El tipo de movimiento es rotacional, inactivo. Los factores desencadenantes son la erosión en la base, actividad antrópica por corte.</p> <p>Los factores condicionantes son la presencia de litologías plásticas (arcillas).</p>
	<p>El material presente es suelo de tipo arcillas con intercalación de rocas con una longitud de 30 m.</p> <p>Grado de fracturación alto, meteorización media y semisaturado.</p> <p>La cicatriz se encuentra semivegetada con una cobertura del 40% a 70%, el deposito es semivegetado y arbóreo también con una cobertura del 70%</p>

Fuente: Propia

**7.2.1.3 TRAMO No. 3: CALLE 40 BIS- QUEBRADA EL CHULO**

**Figura 18:** Zona con posible movimiento No 4.



Fuente. Portal de mapas de Bogotá

**Tabla 13:** Zona No. 4

	<p>Talud intervenido con muro de contención en la pata y anclajes en la parte frontal.</p>
	<p>Su longitud es de 30 metros, y totalmente cubierto con una capa vegetativa. El material presente es arcilla con intercalaciones de roca, presenta meteorización media y semisaturado.</p>

Fuente: Propia

**7.2.1.4 TRAMO No. 4: QUEBRADA EL CHULO –CANAL LA PERSEVERANCIA**

**Figura 19:** Zonas con posibles movimientos No. 5 y No. 6.



Fuente: Portal de mapas de Bogotá

**Tabla 14:** Zona No. 5

	<p>Talud de 8 metros de longitud, cubierto con arbustos, material arcilla con intercalación de raíces, meteorización baja, humedad alta considerando su cobertura, se encuentra en su estado natural.</p> <p>Uno de los factores desencadenantes son la erosión en la base de la ladera, además la actividad biológica.</p> <p>Los factores condicionantes son la presencia de litologías plásticas.</p> <p>Su cobertura es mayor que el 70%</p>

Fuente: Propia

**Tabla 15:** Zona No. 6.

	<p>Talud intervenido con muro de gravedad (gaviones), se evidencia en la cicatriz del movimiento menos del 40% con capa arbórea.</p> <p>La ladera del 40% al 70% se encuentra con cobertura vegetal.</p>
	<p>Longitud de 25 m, material arcilla con intercalaciones de roca, medianamente fracturado y semisaturado.</p>

Fuente: Propia



**7.2.1.5 TRAMO No. 5: CANAL LA PERSEVERANCIA – CALLE 34**

**Figura 20:** Zonas con posible movimiento No. 7 y No. 8



Fuente: Portal de mapas de Bogotá

**Tabla 16:** Zona No. 7.

	<p>Talud con cobertura arbórea, material plástico (arcilla), semisaturado, meteorización baja.</p> <p>Su longitud es de 10 metros.</p>
	

Fuente: Propia

**Tabla 17:** Zona No. 8

	<p>Talud en su estado natural, se evidencia movimiento y su cicatriz esta descubierta, cobertura de la ladera es arbórea, longitud de 15 metros material arcilla semisaturada, meteorización baja</p>
	

Fuente: Propia

**7.2.1.6 TRAMO No. 6: CALLE 34 – CALLE 33**

**Figura 21:** Zonas con posibles movimiento No. 9 y No. 10



Fuente: Portal de mapas de Bogotá.

**Tabla 18:** Zona No. 9

	<p>Talud intervenido con muro de gravedad (gaviones), cobertura arbórea, longitud de 10 metros.</p>
	<p>En la zona predominan las arcillas, semisaturado, meteorización baja.</p>

Fuente: Propia

**Tabla 19:** Zona No. 10

	<p>Talud en su estado natural, longitud de 15 metros, cobertura arbórea, vegetada mayor del 70%, grado de meteorización medio, semisaturado.</p>
---	--

Fuente: Propia

**7.2.1.7 TRAMO No. 7: CALLE 33 – CALLE 31**

**Figura 22:** Zona con posible movimiento.



Fuente: Portal de mapas de Bogotá

No se identificaron

**7.2.1.8 TRAMO No. 8: CALLE 31 – CALLE 30**

**Figura 23:** Zonas con posibles movimientos No. 11 y No. 12



Fuente: Portal de mapas de Bogotá

**Tabla 20:** Zona No. 11

	<p>Parte de la ladera se encuentra intervenida con muro de gravedad (gaviones), longitud de 17 metros, cobertura arbórea.</p>
--	---

Fuente: Propia

**Tabla 21:** Zona No. 12

	<p>Ladera en su estado natural, material arcilla con incrustación de raíces, grado de fracturación medio, meteorización media y semisaturado. Cobertura semivegetada y arbórea mayor al 70%</p>
--	---

Fuente: Propia

### 7.2.1.9 TRAMO No. 9: CALLE 30 – CALLE 26B

**Figura 24:** Zona con posible movimiento No. 13.



Fuente: Portal de mapas de Bogotá

**Tabla 22:** Zona No. 13



Fuente: Propia

### 7.2.1.10 TRAMO No. 10: CALLE 26B – CALLE 26 A

**Figura 25:** Zonas con posibles movimientos No. 14 y No. 15.



Fuente: Portal de mapas de Bogotá

**Tabla 23:** Zona No. 14.

	<p>Talud intervenido con muro de gravedad (gaviones), con cobertura arbórea, su longitud es de 12 metros.</p>
--	---

Fuente: Propia

**Tabla 24:** Zona No. 15.

	<p>Talud intervenido con muro de gravedad (gaviones), con cobertura arbórea, su longitud es de 12 metros.</p>
---	---

Fuente: Propia


**7.2.1.11 TRAMO No. 11: CALLE 26ª – CALLE 23**

**Figura 26:** Zonas con posibles movimientos No. 17 y No. 18.





Fuente: Fuente propia

**Tabla 25:** Zona No.17

	<p>Cobertura arbórea, humedad media, material arcilloso con intercalaciones de raíces cobertura de un 80% a 100%</p>
---	--

Fuente: Propia

**Tabla 26:** Zona No. 18

	<p>Se evidencia cicatriz, material arcilloso con intercalaciones de roca, presenta carga en la corona de la avenida circunvalación, Meteorización y fracturación media, material semisaturado, cobertura semivejetada.</p>
	

Fuente: Propia

**7.2.1.12 TRAMO No. 12: CALLE 23 – QUEBRADA SANTO DOMINGO**

**Figura 27:** Zonas con posibles movimientos



Fuente: Portal de mapas de Bogotá

No se identificaron

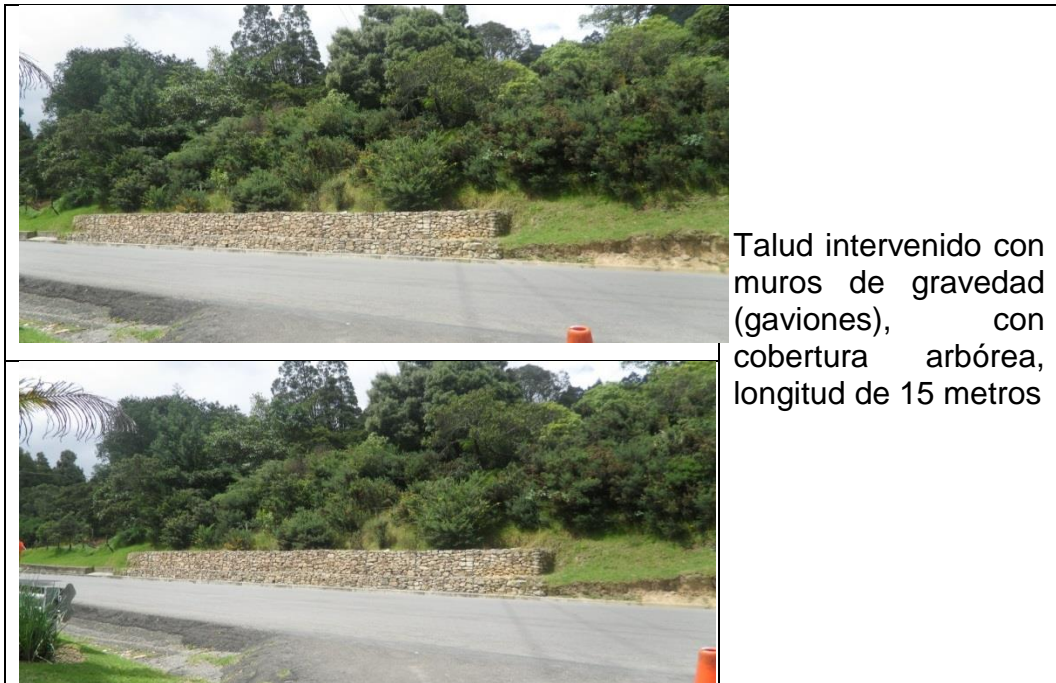
**7.2.1.13 TRAMO No. 13: QUEBRADA SANTO DOMINGO – CALLE 19**

**Figura 28:** Zonas con posibles movimientos No 19.



Fuente: Portal de mapas de Bogotá

**Tabla 27:** Zona No. 19.



Fuente: Propia

## 7.3 FASE III: DIGITALIZACIÓN

### 7.3.1 PERFILES DE PENDIENTES

Se establece por medio de las curvas de nivel, los perfiles de pendientes generando el abscisado desde la calle 19 con circunvalación determinando este como punto inicial donde la abscisa es 0+000 y finalizando en la calle 45 con circunvalación con la abscisa 4+273.78.

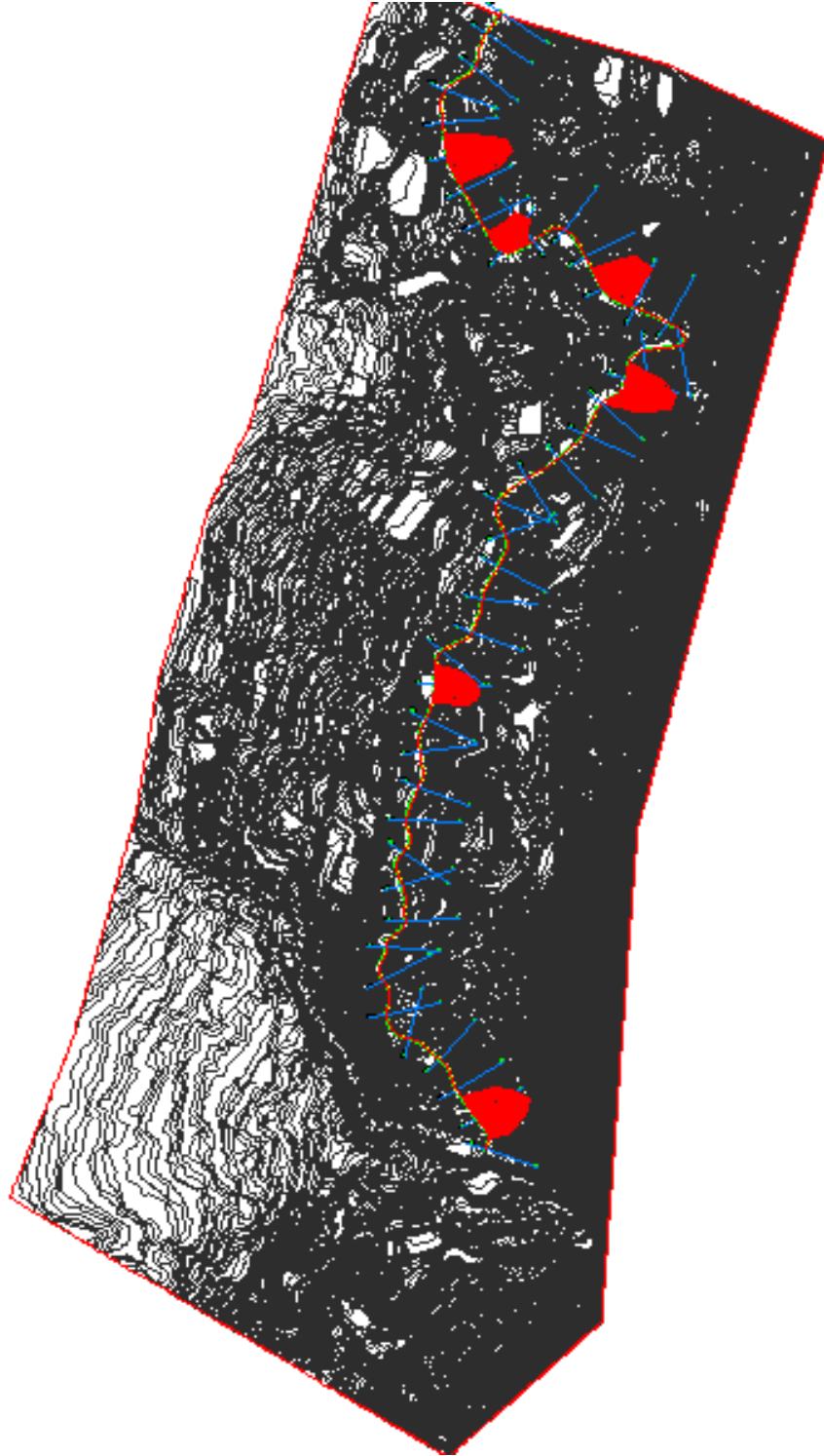
Se generaron 21 perfiles (ver Anexo 2) que están determinados por la visita de campo los cuales muestran sectores importantes de la zona ya que en algunos de ellas ya se efectuaron PRM y han sido intervenidos, se muestran los perfiles escogidos y el estado de intervención en el que se encontró (ver tabla 28). Con este inventario se generó un mapa donde se especifica los tramos que han sufrido PRM, los cuales están clasificados en amenaza alta y se deberá tener en cuenta al momento de análisis final con los traslajos.(ver anexo 3)

**Tabla 28:** Inventario de intervenciones en el tramo de estudio.

No	ABSCISA	INTERVENIDO		TIPO DE INTERVENCIÓN
		SI	NO	
1	4+100		x	
2	3+800	x		Muro de gravedad
3	3+500	x		Muro de contención
4	3+400		x	
5	3+100	x		Muro de gravedad
6	2+800		X	
7	2+600	x		Muro de gravedad
8	2+400		X	
9	2+200		X	
10	2+000		X	
11	1+500	X		Muro de gravedad
12	1+400		X	
13	1+200		X	
14	1+100		X	
15	1+000		X	
16	0+900		X	
17	0+800		X	
18	0+700		X	
19	0+600		X	
20	0+300		X	
21	0+100	x		Muro de gravedad

Fuente: Propia

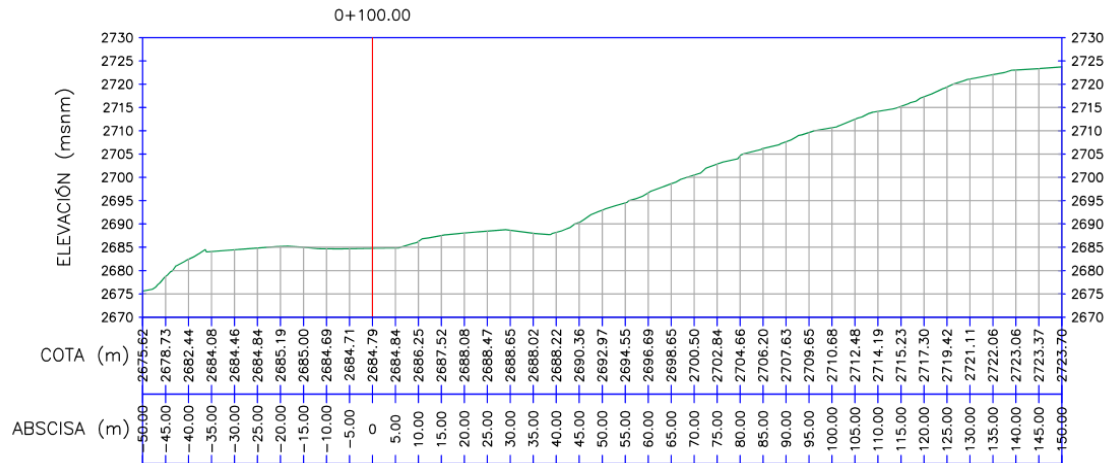
**Figura 29:** Plano de inventario de PRM



Fuente: Propia

### 7.3.1.1 Abscisa 0+100

Figura 30: Perfil No 1- Circunvalación con cll 19



Fuente: Propia

### 7.3.2 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE

Para la evaluación de la estabilidad de taludes se realizaron 21 perfiles los cuales se caracterizaron con la estratificación de las perforaciones realizadas en los estudios de suelos; se realizaron por medio de modelos determinístico en el cual se consideraron superficies de falla circulares para varias condiciones calculando los factores de seguridad utilizando los parámetros en la teoría de Mohr- Coulomb que son la cohesión y el ángulo de fricción del material y modelado por la teoría de Bishop simplificado donde el talud es dividido por rebanadas y analizadas cada una de ellas.

Se modelaran dos aspectos los cuales estarán determinados por la condición actual o normal y una condición extrema donde se tendran en cuenta el nivel freático y el espectro sísmico para la zona que se especifica en la NSR-10 (ver Figura 16).

La modelación estática esta determinada por la condición actual de la ladera, considerando la caracterización de los materiales encontrados en la estratificación escogida para cada perfil y el nivel de agua encontrado en el estudio de suelo. La zonificación de esta modelación se determinará por los rangos que se especifica en la resolución 227 del 13 de Julio de 2006 donde se determinan los siguientes rangos (ver tabla 30):

**Tabla 29:** Factores de Seguridad en Condiciones Normales.

<b>CONDICIONES NORMALES</b>	
AMENAZA BAJA	>1.9
AMENAZA MEDIA	1.2 - 1.9
AMENAZA ALTA	<1.2

Fuente: Resolución 227

La modelación pseudo-estática evalúa un caso extremo donde se tiene en cuenta un escenario donde la ladera se encuentra saturada y con presencia de sismo; para esta condición se determinan los siguientes rangos (ver tabla 31):

**Tabla 30:** Factores de Seguridad en Condiciones Extremas.

<b>CONDICIÓN EXTREMA</b>	
AMENAZA BAJA	>1.30
AMENAZA MEDIA	1.0 - 1.30
AMENAZA ALTA	<1.0

Fuente: Resolución 227

### **7.3.3 PERFILES MODELACIÓN ESTÁTICO**

Por medio de los perfiles generados con las curvas de nivel del tramo de estudio, se generaron unos modelos que se caracterizaron con los diferentes perfiles estratigráficos de los estudios de suelos divididos por zonas (ver tabla 32).

**Tabla 31:** División de perfiles para el abscisado.

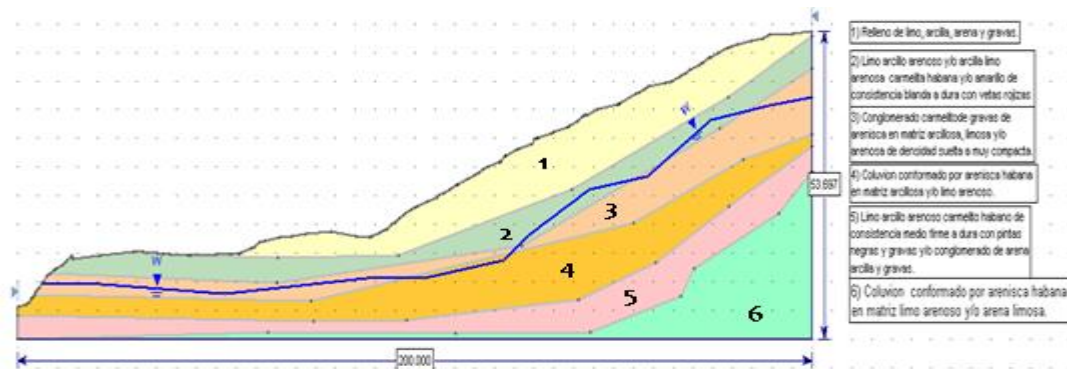
No	ABSCISA DE LA VÍA	PERFIL DE CARACTERIZACIÓN (estudio de suelos)
1	4+100	U. javeriana
2	3+800	U. javeriana
3	3+500	U. javeriana
4	3+400	U. javeriana
5	3+100	U. javeriana
6	2+800	U. javeriana
7	2+600	U. javeriana
8	2+400	U. javeriana
9	2+200	U. javeriana
10	2+000	San Diego
11	1+500	San Diego
12	1+400	San Diego
13	1+200	San Diego
14	1+100	San Diego
15	1+000	San Diego
16	0+900	San Diego
17	0+800	San Diego
18	0+700	San Diego
19	0+600	San Diego
20	0+300	Bd. Bacata
21	0+100	Bd. Bacata

Fuente: Propia

Se generó el esquema del perfil el cual posteriormente se complementó con los parámetros característicos del suelo determinados en los estudios de suelos como el peso unitario, cohesión,  $\Phi$  y el nivel freático, para modelarlos en estado estático.(ver Anexo 4).

### 7.3.3.1 Abscisa 0+100

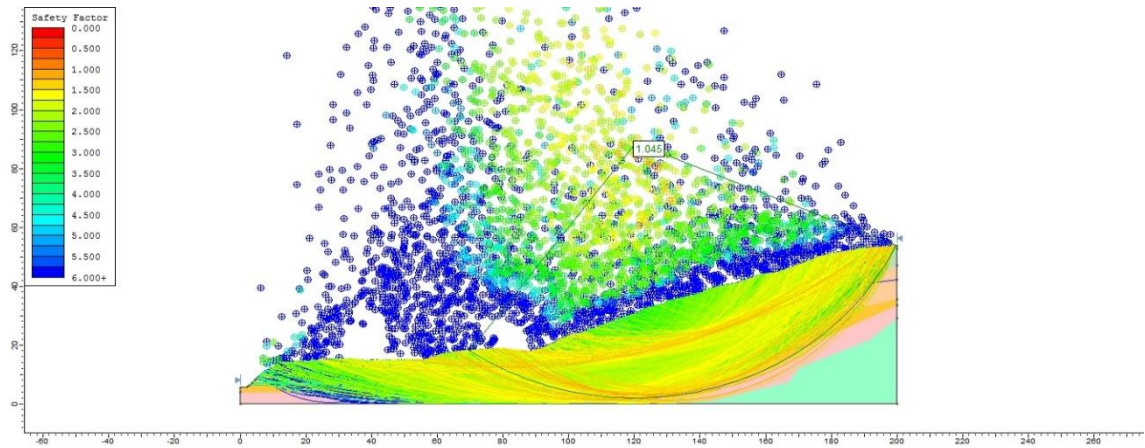
**Figura 31:** Modelo



Fuente: Propia

### 7.3.3.2 Abscisa 0+100

Figura 32: Modelación estática 1- Circunvalación con cl 19.



Fuente: Propia

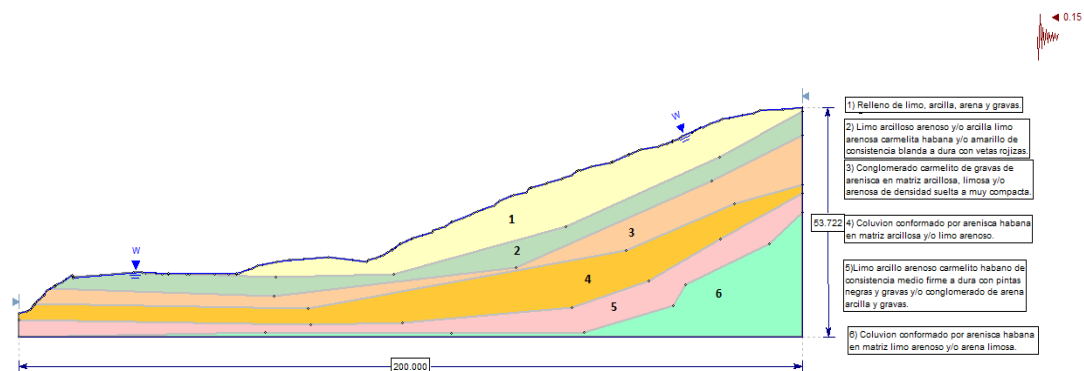
Por medio de estas modelaciones se determinó que este perfil está en condición estable ya que su mínimo factor de seguridad está en 1.045; se puede evidenciar que por medio de la modelación de aproximadamente 5000 superficies de falla se encuentran zonas en las cuales la amenaza varía de media a baja.

### 7.3.4 PERFILES MODELACIÓN SEUDO-ESTÁTICA

Para la modelación seudo-estática se tomaron los mismos parámetros de la estática, pero se le agregó las constantes de sismos y se asumió una condición de saturación del suelo. (ver Anexo 5).

#### 7.3.4.1 Abscisa 0+100

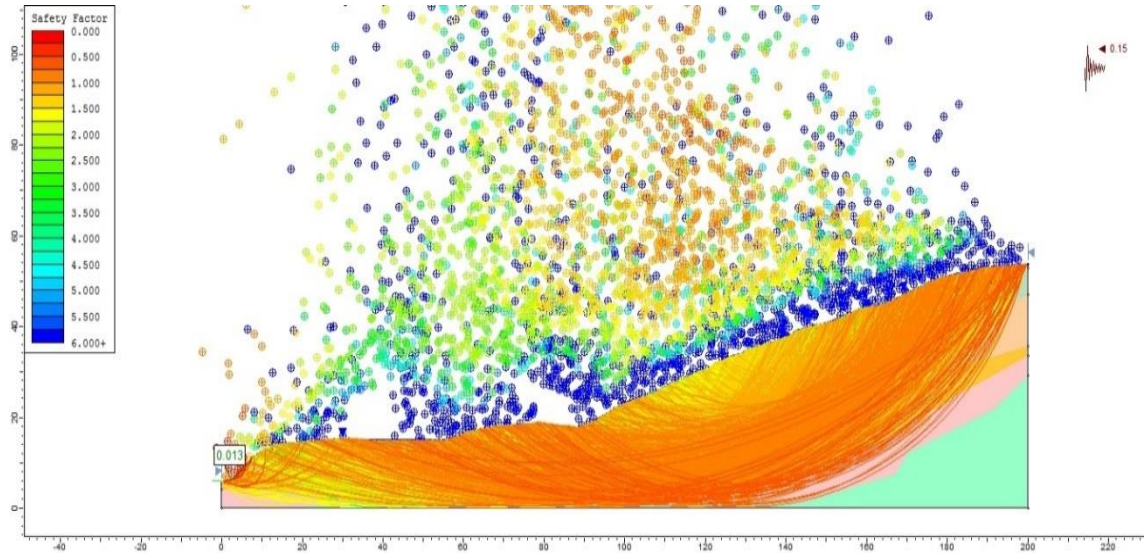
Figura 33: Modelación.



Fuente: Propia

### 7.3.4.2 Abscisa 0+100

Figura 34: Modelación seudo-estática 1- Circunvalación # 19.



Fuente Propia

Se determinó que este perfil en condición seudo-estática está en amenaza alta ya que el mínimo factor de seguridad se registra en 0.013, lo cual evidencia que al momento de presentarse estas condiciones se presentaría un PRM.

### 7.3.5 FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS

Por medio de los perfiles determinísticos se generaron aproximadamente 5000 superficies de falla en cada uno de los modelos, los cuales se caracterizaron por el mínimo factor de seguridad (ver Tabla 32); se determinó las secciones que se encuentran en amenaza baja, media y alta dependiendo de las características de estático y seudo-estática determinada por la resolución 227; por medio de esta clasificación se generaron mapas de zonificación de estos dos estados, los cuales posteriormente se utilizaron para realizar traslapeo con las pendientes para evaluar dos posibles escenarios los cuales serán el mapa de pendientes Vs estático y el mapa de pendientes Vs seudo-estática.

**Tabla No. 32.** Relaciones de mínimo factor de seguridad en condiciones estática y pseudo-estática.

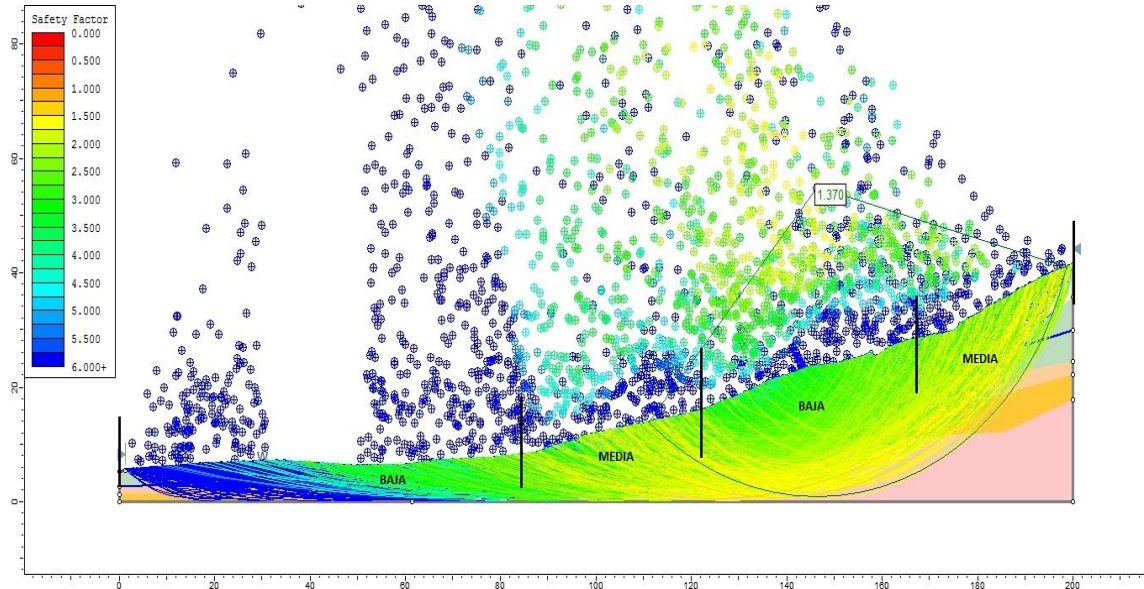
<b>FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS</b>			
<b>No</b>	<b>ABSCISA DE LA VÍA</b>	<b>ESTÁTICO</b>	<b>SEUDO-ESTÁTICA</b>
1	4+100	3.658	1.973
2	3+800	1.721	0.824
3	3+500	2.316	1.053
4	3+400	3.060	1.950
5	3+100	2.250	1.110
6	2+800	1.229	0.945
7	2+600	1.784	0.785
8	2+400	1.888	0.935
9	2+200	2.836	1.414
10	2+000	2.746	1.594
11	1+500	2.320	1.426
12	1+400	2.175	1.123
13	1+200	1.801	1.014
14	1+100	1.803	1.019
15	1+000	1.260	0.769
16	0+900	2.284	1.353
17	0+800	1.317	0.805
18	0+700	2.097	0.904
19	0+600	1.125	0.666
20	0+300	1.370	0.829
21	0+100	1.045	0.013

Fuente: propia

Se obtuvo los factores de seguridad para los 21 perfiles generados con 2000 superficies de falla, estas superficies mostraban comportamientos similares en diferentes zonas por lo cual se dividieron teniendo en cuenta los rangos de factores de seguridad para poder clasificarlo en amenaza baja, media y alta dependiendo de estado (estático o pseudo-estático), (ver Figura 33), este procedimiento se realizó en todo el tramo de estudio para las condiciones para las dos condiciones propuestas; posteriormente se ingresaron los datos dentro de un sistema de información geográfica para generar la zonificación en estado estático y pseudo-estático de la zona.

### 7.3.5.1 Abscisa 0+300

Figura 35: Modelación - Circunvalación con calle 20



Fuente: propia.

### 7.3.6 ZONIFICACIÓN POR AMENAZA

Para la zonificación de amenaza se utilizó la siguiente metodología:

7.3.6.1 Por medio de las pendientes se determinaron 3 diferentes rangos para la zonificación los cuales se tomaron como referencia del Servicio Geológico Colombiano (SGC) (ver Tabla 32).

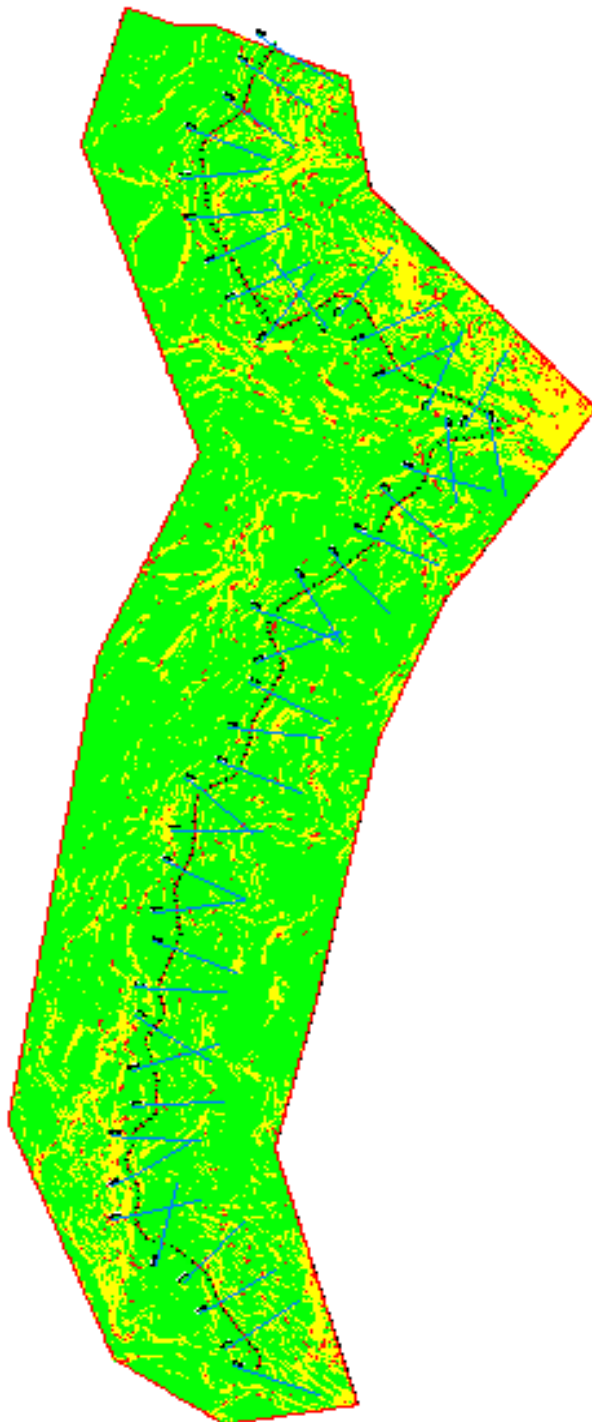
Tabla 32: Tabla de pendientes.

TABLA DE PENDIENTES							
No	ÁNGULO PENDIENTE MÍNIMA	ÁNGULO PENDIENTE MÁXIMA	PENDIENTE MÁXIMA (%)	DESCRIPCIÓN	ÁREA (m2)	Ha APROX	COLOR
1	0°	25°	47	Plana a suavemente inclinada o inclinada	1799685.60	179	Verde
2	25.1°	64°	200	Muy inclinada	365058.34	36	Amarillo
3	64.1°	-	>200	Abrupta o escarpada	10012.8	1	Rojo

Fuente : SGC (INGEOMINAS) 2011. Adaptado Alvaro Gonzalez

Por medio de estos perfil se zonificó la zona de estudio, ver Anexo 6.

**Figura 36:** Mapa de zonificación por pendientes.

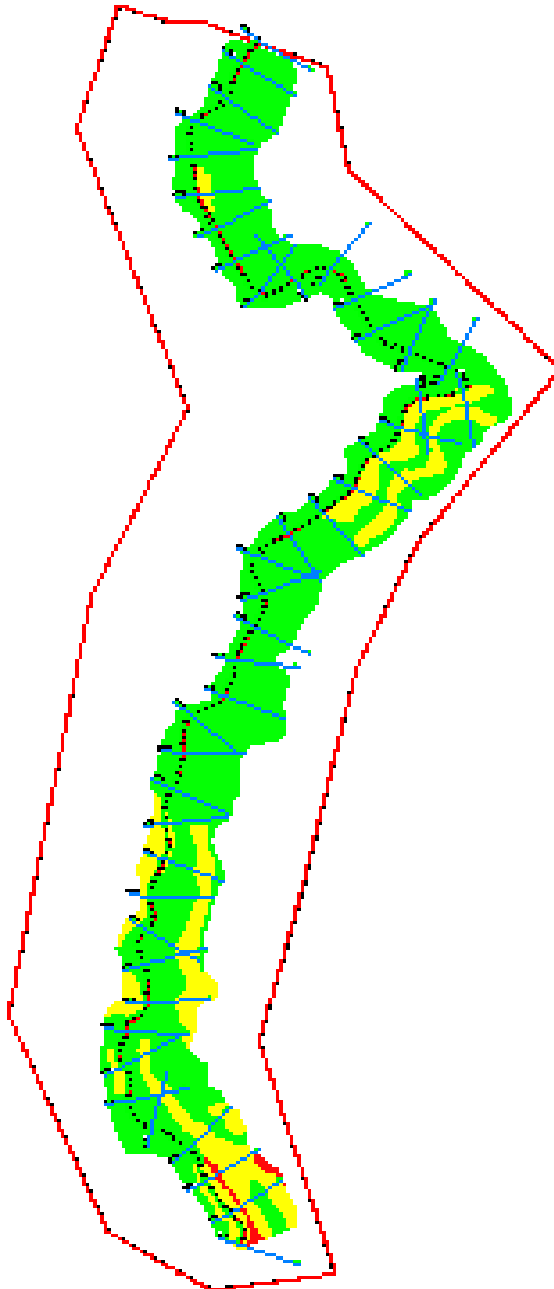


No	ÁREA (m2)	Ha APROX	%	COLOR
1	1799685.6	179	82.9	BAJA
2	365058.34	36	16.6	MEDIA
3	10012.8	1	0.50	ALTA

Fuente: Propia

7.3.6.2 Se generó la zonificación de los modelos geotécnicos en estado estático. (ver Anexo 7)

Figura 37: Mapa estado estático.

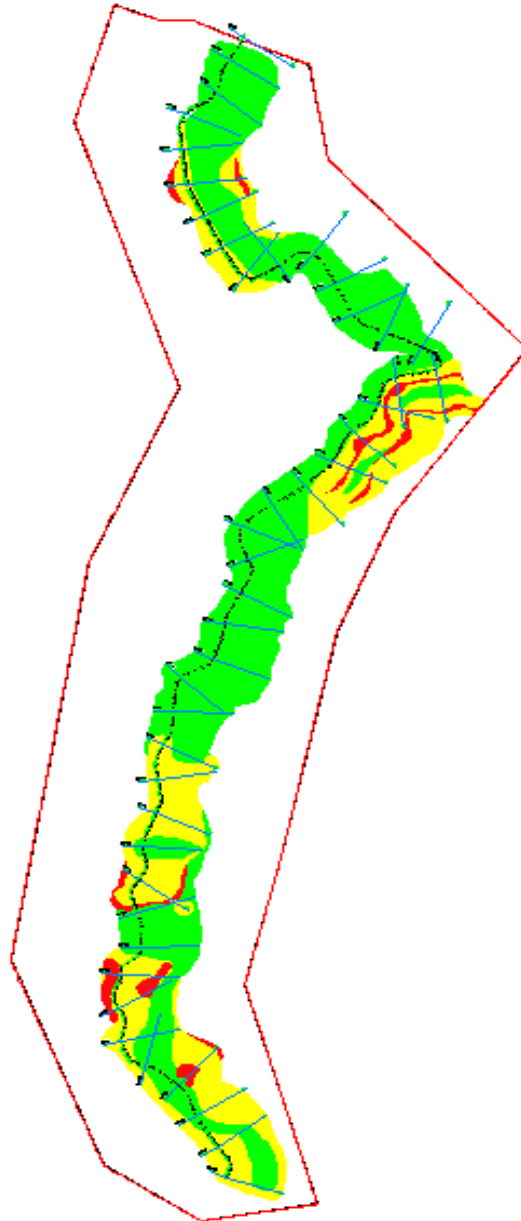


No	ÁREA (m2)	Ha APROX	%	COLOR
1	568311.315	56	82.71	BAJA
2	112506.101	11	16.24	MEDIA
3	7769.0347	0.77	1.05	ALTA

Fuente: Propia

7.3.6.3 Se generó la zonificación de los modelos geotécnicos en estado pseudo-estático. (ver Anexo 8)

Figura 38: Mapa estado pseudo-estática.



No	ÁREA (m2)	Ha APROX	%	COLOR
1	413732.742	41	60.30	BAJA
2	241435,376	24	35.30	MEDIA
3	35187.777	3	4.40	ALTA

Fuente: propia

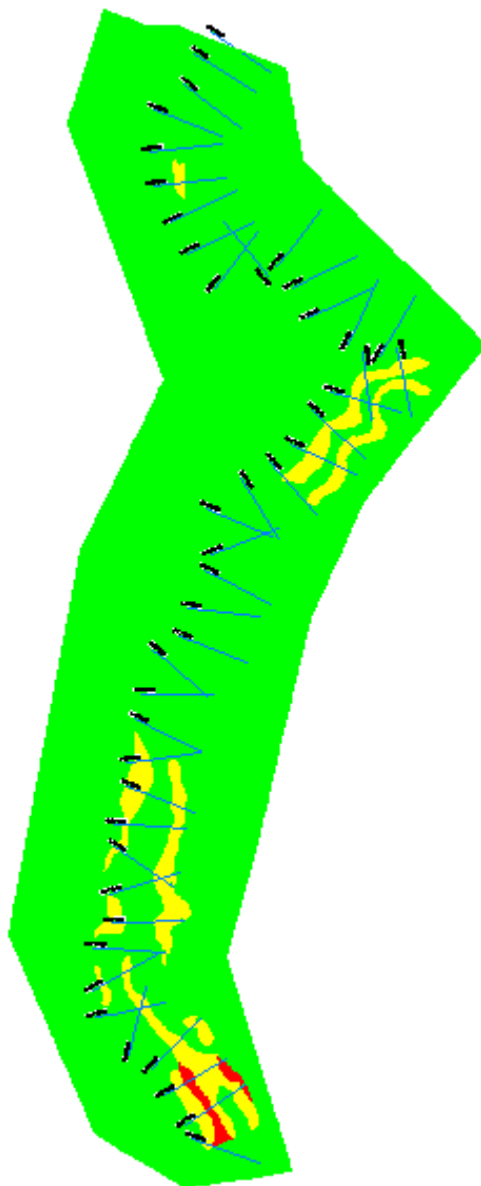
Se realizara la siguiente matriz para para obtener el la amenaza de la zona teniendo en cuenta los tres mapas generados (Figura 34, 35 y 36).

Para condiciones estáticas y pseudo-estáticas se va a tener en cuenta al momento del traslapo un primer plano donde la pendiente equivale al 10 %, considerando que la pendiente hace parte de la morfometría y además es uno de los aspectos mas influyentes cuando se quiere hacer una descripción

geomorfológica para medir susceptibilidad en un punto a determinada escala; por tanto si esta aumenta la ladera se hace inestable. Las metodologías de análisis de amenaza lo tienen en cuenta dentro del factor morfodinámico y el 80 % para calificación del análisis determinístico mediante factores de seguridad; y el 10 % restante equivalen a los PRM existentes en la zona

**7.3.6.4** Mapa estático Vs pendientes (80-10-10) (ver Anexo 9)  
 Área total: 689559.8707 m<sup>2</sup>

**Figura 39:** Estático Vs pendiente Vs inventario (80-10-10)



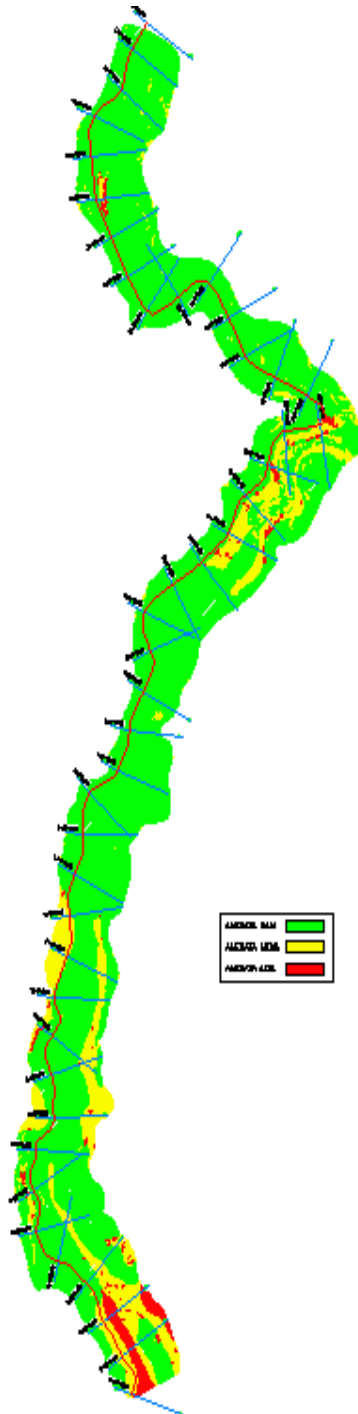
No	ÁREA	Ha	%	COLOR
	(m <sup>2</sup> )	APROX		
1	2055626.4293	205	94.57	BAJA
2	112515.4716	11	5.07	MEDIA
3	7775,0404	0.77	0.36	ALTA

Fuente: Propia

**7.3.6.5** Mapa estático Vs pendientes (60-40) (ver Anexo 10)

Área total: 688944.3747 m<sup>2</sup>

**Figura 40:** Estático Vs pendiente (60-40)

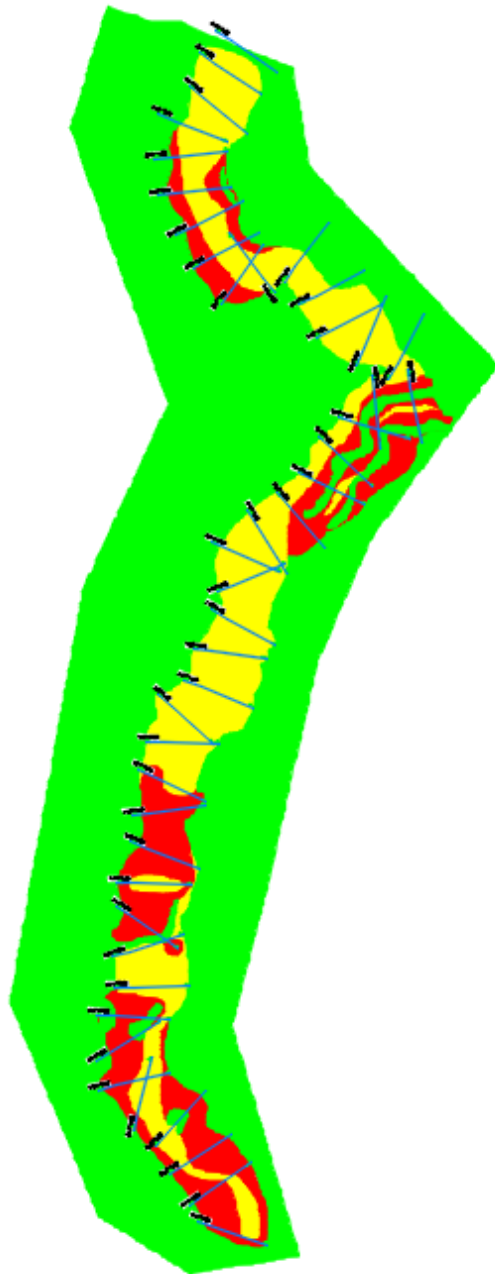


No	ÁREA (m <sup>2</sup> )	Ha APROX	%	COLOR
1	544080.8487	54	78.50	BAJA
2	136973.3789	14	20.35	MEDIA
3	7890.1471	0.79	1.15	ALTA

Fuente: Propia

**7.3.6.6** Mapa pseudo-estático Vs pendientes (80-10-10) (ver Anexo 11)  
Área total: 691914.9657 m<sup>2</sup>

**Figura 41:** Pseudo-estático Vs pendiente Vs inventario (80-10-10)

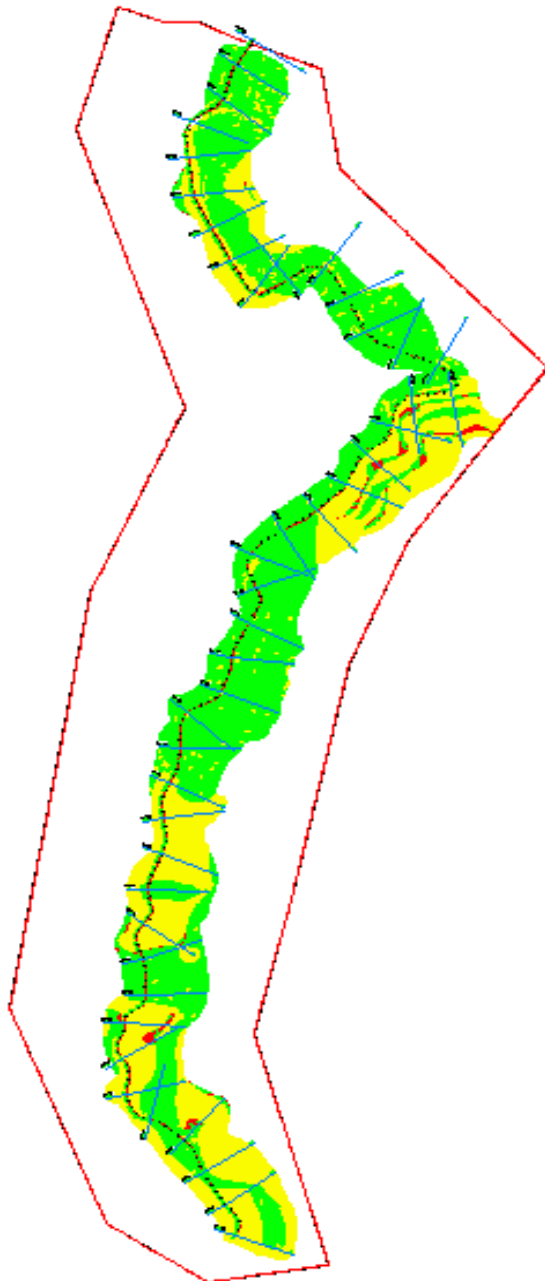


No	ÁREA (m <sup>2</sup> )	Ha APROX	%	COLOR
1	1511728.28	151	69.90	BAJA
2	413781.3383	41	18.98	MEDIA
3	244126.1829	24	11.11	ALTA

Fuente: Propia

7.3.6.7 Mapa pseudo-estático Vs pendientes (60-40) (ver Anexo 12)  
Área total: 691857.9795 m<sup>2</sup>

Figura 42: Pseudo-estático Vs pendientes (60-40)



No	ÁREA (m <sup>2</sup> )	Ha APROX	%	COLOR
1	425274.1838	42	61.76	BAJA
2	243376.0241	24	35.29	MEDIA
3	23207.7717	2	2.95	ALTA

Fuente: Propio

### 7.3.7 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE AMENAZA POR PRM

Tabla 33: Resultados obtenidos.

MÍNIMO FACTOR DE SEGURIDAD												
No	ABSCISA DE LA VÍA	ESTÁTICO			SEUDO-ESTÁTICA			COTAS (m)		PENDIENTE (°)	PENDIENTE (%)	GEOLOGÍA GENERAL
		ALTO < 1.2	MEDIO 1.2 - 1.9	BAJO > 1.9	ALTO < 1.0	MEDIO 1.0 - 1.3	BAJO > 1.3	MÍN.	MÁX.			
1	4+100	-	-	3.658	-	-	1.973	2623	2666	12	21.5	Teniendo en cuenta la geología de la zona se encuentra que en la parte superior predominan las arcillolitas con esporádicas intercalaciones de arenisca, intermedia areniscas con intercalaciones de arcilloitas, en base arcilloitas con intercalaciones delgadas de areniscas e importantes mantos de carbón
2	3+800	-	1.721	1.961	0.824	1.016	1.301	2620	2684	17	32	
3	3+500	-	-	2.316	-	1.053	1.305	2651	2690.5	11	19.75	
4	3+400	-	-	3.060	-	-	1.950	2669	2681	3	6	
5	3+100	-	-	2.250	-	1.110	1.349	2675	2715.5	11	20.25	
6	2+800	-	1.229	1.913	0.945	1.008	1.302	2685	2730.5	12	22.75	
7	2+600	-	1.784	1.937	0.785	1.011	1.302	2675	2726	14	25.5	
8	2+400	-	1.888	1.904	0.935	1.010	1.302	2680	2735	15	27.5	
9	2+200	-	-	2.836	-	-	1.414	2682	2725	12	21.5	
10	2+000	-	-	2.746	-	-	1.594	2687.5	2721	9	16.75	
11	1+500	-	-	2.320	-	-	1.426	2697	2738.5	11	20.75	
12	1+400	-	-	2.175	-	1.123	1.322	2690	2728	10	19	
13	1+200	-	1.801	1.946	-	1.014	1.307	2702	2740	10	19	
14	1+100	-	1.803	2.159	-	1.019	1.319	2694	2741	13	23.5	
15	1+000	-	1.260	1.928	0.769	1.002	1.346	2694	2749	15	27.5	
16	0+900	-	-	2.284	-	-	1.353	2702.5	2751	13	24.25	
17	0+800	-	-	2.126	0.805	1.000	1.303	2705	2745.5	11	20.25	
18	0+700	-	-	2.097	0.904	1.030	1.335	2690	2750.5	16	30.25	
19	0+600	1.125	1.277	1.905	0.666	1.021	1.306	2690	2744	15	27	
20	0+300	-	1.370	1.903	0.829	1.001	1.300	2700	2736	10	18	
21	0+100	1.045	1.224	1.906	0.013	1.001	1.301	2675.5	2724	13	24.25	

Fuente: Propia

**Tabla 34:** Matriz de amenaza.

<b>AMENAZA</b>	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL</b>
<b>ALTA</b>	Se encuentran rocas sedimentarias con suelos donde predominan las arcillolitas con intercalaciones de areniscas y mantos de carbón; según la microzonificación sísmica (Figura 8) se encuentra dentro de la zona 1 correspondiente a los cerros donde su principal efecto relacionado es la topografía. Posee pendientes $\geq$ a $64.1^\circ$ (200%), con factor de seguridad en condición estática $< 1.2$ y en condición pseudo-estática $< 1.0$ ; grado de meteorización medio – alto y grado de fracturación alto.
<b>MEDIA</b>	Se encuentran rocas sedimentarias con suelos donde predominan las arcillolitas con intercalaciones de areniscas y mantos de carbón; según la microzonificación sísmica (Figura 8) se encuentra dentro de la zona 1 correspondiente a los cerros donde su principal efecto relacionado es la topografía. Posee pendientes entre $25.1^\circ$ y $64^\circ$ (47.1% y 200%), con factor de seguridad en condición estática entre 1.2 a 1.9 y en condición pseudo-estática entre 1.0 a 1.3; grado de meteorización bajo - medio y grado de fracturación medio.
<b>BAJA</b>	Se encuentran rocas sedimentarias con suelos donde predominan las arcillolitas con intercalaciones de areniscas y mantos de carbón; según la microzonificación sísmica (Figura 8) se encuentra dentro de la zona 1 correspondiente a los cerros donde su principal efecto relacionado es la topografía. Posee pendientes hasta de $25^\circ$ (47%), con factor de seguridad en condición estática $> 1.9$ y en condición pseudo-estática $> 1.3$ ; grado de meteorización bajo y grado de fracturación bajo.

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta la información en las tablas 33 y 34 y la fase II: trabajo en campo se generalizan los resultados de la siguiente manera:

Abscisa 4+100 se encuentra con amenaza baja teniendo en cuenta que su factor de seguridad mínimo en condiciones estáticas es  $> 3$  y en condiciones pseudo-estática  $> 1.9$ , posee una pendiente de  $12^\circ$ ; relacionando dicha

información con las fotografías tomadas en el trabajo de campo (Tabla 11), se evidencia que es una zona urbana que no ha sido intervenida con meteorización baja y posee material arcilloso semisaturado.

Abscisa 3+800 se encuentra en amenaza media debido a que su factor de seguridad en condiciones estática es de 1.7 y en amenaza alta en condiciones pseudo-estática ya que su factor de seguridad es  $< 1$ ; corroborando con el trabajo de campo ha sido intervenido con muro de gravedad (tabla 28), se puede observar un movimiento de tipo rotacional inactivo, erosión en la base de la ladera, grado de meteorización media, grado de fracturación alta, presenta material arcilloso con intercalación de roca semisaturado (tabla 12).

Abscisa 3+500 a 3+100 se encuentran en amenaza baja en condiciones estáticas ya que presentan un factor de seguridad  $> 1.9$  y en condiciones pseudo-estática en amenaza media presentando un factor de seguridad  $> 1$ ; exceptuando la abscisa 3+400 la cual se encuentra en amenaza baja con un factor de seguridad de 1.9, en el trabajo de campo se evidencia que la abscisa 3+500 y 3+100 han sido intervenidos con muro de contención y gravedad respectivamente, meteorización media. (Tabla 28).

Abscisa 2+800 a 2+400 se encuentra en amenaza media en condiciones estáticas con un factor de seguridad  $> 1.2$  y en condiciones pseudo-estática se encuentra en amenaza alta, la abscisa 2+600, se encuentra intervenida con muro de gravedad (Tabla 28) notando la cicatriz del movimiento, el material es medianamente fracturado (Tabla 17).

Abscisa 2+200 a 1+400 encontrándose en amenaza baja en condición estática ya que su factor de seguridad es  $> 1.2$  y en condición pseudo-estática varía en amenaza media a baja. La abscisa 1+500 se encuentra intervenida con muro de gravedad (tabla 28) este tramo presenta cobertura arbórea y meteorización baja (Tabla 18).

Abscisa 1+2000 a 1+000 en condiciones estática y pseudo-estática se encuentra en amenaza media ya que su factor de seguridad es  $> 1.2$  y  $> 1$  respectivamente exceptuando la abscisa 1+000 la cual se encuentra en amenaza alta en condiciones pseudo-estáticas con un factor de seguridad de 0.7, en el trabajo de campo se observó que el tramo se encuentra en estado natural, con más del 70% de cobertura vegetal y arbórea (Tabla 20 y 21).

Abscisa 0+800 a 0+700 en condiciones estáticas se encuentran en amenaza baja con un factor de seguridad  $> 2$  y en estado pseudo-estático en amenaza alta con un factor de seguridad  $< 1$ , en trabajo de campo no se identificaron movimientos.

Abscisa 0+900 se encuentra en amenaza baja en condiciones estáticas y pseudo-estáticas. En el trabajo de campo no se evidencian movimientos y posee una cobertura vegetal del 100%.

Abscisa 0+600 a 0+100 este tramo se encuentra en amenaza alta tanto en condiciones pseudo-estáticas como en condiciones estáticas exceptuando la abscisa 0+300 que se encuentra en amenaza media por condiciones estáticas. La abscisa 0+100 se encuentra intervenida con muro de gravedad (Tabla 28).

## 8 CONCLUSIONES

La avenida circunvalación desde la calle 19 hasta la 45 cuenta con pendientes predominantes planas e inclinadas con una área aproximada de 179ha esta equivale al 82.9% del área total, estas pendientes no superan el 47%; seguido de un área de 36ha aproximadamente el 36% del área total con pendientes muy inclinadas, y un área minoritaria de pendientes abruptas o escarpadas de 1ha representando el 0.5% del área total, lo cual significa que en la zona de estudio la topografía no es un factor influyente en la inestabilidad de las laderas.

Evaluando las condiciones estáticas en un rango de 200 m de longitud se encontró que la amenaza más influyente es baja con un área de 56h; pocas zonas de amenaza media con un área de 11ha y una influencia mínima de amenaza alta con un área de 0.77ha, lo cual evidencia que en condiciones normales áreas que representan el 82.71%, 16.24% y 1.05% respectivamente, el área de estudio tiene un buen comportamiento geotécnico.

Evaluando la zona de estudio en condiciones extremas (sismo- saturado), predomina la zona de amenaza baja con un área de 41ha; se evidencia que el área de las zonas media y alta se incrementa con un área de 24ha y 3ha respectivamente, comparado con las áreas obtenidas en condición estática. Se infiere que en el momento de presentarse esta condición la zona de estudio se verá afectada en varios tramos por procesos de remoción en masa, lo cual tendrá afectación en la movilidad de la avenida circunvalación.

Con la información de los mapas anteriores se modelaron cuatro escenarios en los cuales se generó un traslapeo entre las condiciones estáticas y pseudo-estáticas vs la pendiente y vs inventario de procesos, cambiando los porcentajes de inclusión entre los rangos 80/10/10 y 60/40 dando prioridad al análisis determinístico.

Estático vs pendiente vs inventario 80/10/10: predominio de zona de amenaza baja con un área de 41ha equivalente al 60,29%, zona de amenaza media con un área de 24ha correspondiente al 35.29% del área total y zona de amenaza alta con un área de 3ha y un porcentaje de 4.42%

Estático vs pendiente 60/40: predominio de zona de amenaza baja con un área de 54ha, zona de amenaza media con un área de 14ha y una

zona de amenaza alta con un área de 0.79ha estas áreas corresponden al 78.50%, 20.35% y 1.15% del área total respectivamente.

Seudo-estática vs pendiente vs inventario 80/10/10: predominio de zona de amenaza baja con un área de 151 Ha, zona de amenaza media con un área de 41 Ha y zona de amenaza alta con un área de 24 Ha, representando el 69.90%, 18.98% y 11.11% respectivamente del área total.

Seudo-estático vs pendiente 60/40: predominio de zona de amenaza baja con un área de 42 Ha, zona de amenaza media con un área de 24 Ha y zona de amenaza alta con un área de 2 Ha, representando el 61.76%, 35.29% y 2.95% respectivamente del área total.

Por medio de los diferentes escenarios evaluados se analizó un área total de 216 ha, mostrando que en los 4 mapas propuestos el área de amenaza baja es el que predomina seguido de amenaza media, lo cual se corrobora con el mapa de zonificación de Bogotá que propone que toda esta zona clasificada como amenaza baja- media.

Se identificaron veintiún (21) perfiles ver (tabla 28) caracterizadas por tener presencia de rocas sedimentarias, arcillolitas con intercalaciones de areniscas; según la microzonificación sísmica (Figura 8) se encuentra dentro de la zona 1 correspondiente a los cerros donde su principal efecto relacionado es la topografía. Dentro de las laderas se encontraron seis (6) procesos por remoción en masa que se encuentran intervenidos actualmente ver (tabla 28) la mayor parte de las estructuras de contención están en mal estado lo que evidencia el mapa de inventario ver (figura 29).

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- AHMAD, R; MCCALPIN, J. P. Landslide Susceptibility Maps for the Kingston Metropolitan Area, Jamaica with Notes on Their Use. Unit for Disaster Studies. University of the West Indies. 1999.
- ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Dirección de prevención y atención de emergencias. Resolución No. 227. 13 de julio de 2006.
- BONACHEA, J. Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos. Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada. Universidad de Cantabria. Tesis Doctoral. 2006.
- CARDINALI, M. A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2002. P. 57–72.
- CROZIER, M. J. Landslides: causes, consequences & environment. Taylor & Francis. 1986.
- GARCÍA, Manuel *et al.* Manual de Estabilidad de Taludes. Instituto Nacional de Vías. Descripción general de la geología física de Colombia. Editorial de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 1998. p. 4 y 7.
- HERNANDEZ. SAMPIERI, Roberto. Metodología de la investigación. Capítulo 1: El proceso de investigación y los enfoques cuantitativo y cualitativo hacia un modelo integral. McGraw Hill. México, D. F. 2003. P. 4 – 20.
- MUÑOZ, Angelica, Et al. Inestabilidad de laderas, mapas de amenaza. Publicación de proyecto. Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), 2005.
- PAPESCU, M. A suggested method for reporting landslides causes. International association of engineering geology. N° 50. Paris, Francia. 1994.

- RODRIGUEZ PINEDA, Carlos Eduardo. Apuntes curso de estabilidad de taludes. Maestría en geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. Semestre I-2006.
- TERLIEN, M. Hydrological landslide triggering in ash-covered slopes of Manizales (Colombia). 1997. P. 165–175.
- VAN DEN EECKHAUT, M. Combined landslide inventory and susceptibility assessment based on different mapping units: an example from the Flemish Ardennes, Belgium. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9. 2009. P. 507–521.
- VARNES, David. Slope movement types and processes. 1978.
- VILLACORTA, S. Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del río Llaminchán (Cajamarca, Perú). *Rev. Inst. investigación. Facultad de minas, metal y ciencias geográficas. Perú.* 2007. P. 103–112.