

LA GESTION DEL RIESGO DE DESASTRE EN LA LINEA M DEL METRO DE  
MEDELLIN. CASO DE ESTUDIO ESTACION MIRAFLORES.

MARÍA DUQUE QUINTERO  
DIANA TERESA VALENCIA LARGO  
VIRMARIS VARGAS VILLADIEGO

MONOGRAFÍA PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:  
ESPECIALISTAS EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES

DIRECTOR:  
ROGELIO PINEDA MURILLO, PHD.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
MANIZALES

2021

## Tabla de Contenido

RESUMEN .....	1
1. TITULO.....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
4. JUSTIFICACIÓN.....	7
5. OBJETIVOS.....	9
6. CONTEXTO GEOGRÁFICO DE ESTUDIO .....	10
6. MARCO REFERENCIAL .....	14
7. MARCO NORMATIVO O LEGAL.....	20
8. MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	25
9. METODOLOGÍA.....	34
9.1 AMENAZA .....	34
9.2 CARACTERIZACIÓN, ZONIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS Y APROXIMACIÓN A LA VULNERABILIDAD.....	35
9.3 PERCEPCIÓN DEL RIESGO EN RELACIÓN CON LOS MOVIMIENTOS EN MASA	38
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
10.1 AMENAZA.....	40
10.1.1 GEOLOGÍA .....	42
10.1.2 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	53
10.1.2.1 Ambiente estructural .....	54
10.1.2.2 Ambiente denudacional.....	55
10.1.2.3 Ambiente fluvial.....	56
10.1.3 FORMACIONES SUPERFICIALES .....	57
10.1.4 COBERTURA.....	64
10.1.5 MOVIMIENTOS EN MASA.....	65
10.1.6 MODELO DIGITAL DE TERRENO.....	71

10.1.7 PENDIENTES.....	72
10.1.8 RED HIDRICA Y RETIROS DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA SANTA ELENA .....	73
10.1.9 DISTANCIA Y RETIRO DE LAS VIAS .....	78
10.1.10 SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA.....	79
10.1.10.1 Susceptibilidad alta: .....	81
10.1.10.2 Susceptibilidad Media: .....	82
10.1.10.3 Susceptibilidad baja: .....	83
10.1.11 FACTORES DETONANTES .....	84
10.2 ELEMENTOS EXPUESTOS .....	89
10.2.1 VIVIENDAS .....	89
10.2.2 LOCALES COMERCIALES.....	91
10.2.3 VÍA TRANVIARIA DE AYACUCHO .....	92
10.2.4 ESCENARIOS DEPORTIVOS .....	93
10.2.5 TIPOS DE VÍAS VEHICULARES .....	94
10.2.6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ELEMENTOS EXPUESTOS .....	94
10.3 PERCEPCIÓN DEL RIESGO .....	96
10.3.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN DE LA MUESTRA.....	96
10.3.2 IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES .....	96
10.3.3 RESULTADOS .....	96
11. RIESGO.....	103
12. CONCLUSIONES.....	105
13. RECOMENDACIONES .....	108
14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	110

## Tabla de Figuras

Figura 1. Estación Miraflores de la Línea M Metro de Medellín. ....	6
Figura 2. Mapa de comunas del Municipio de Medellín. ....	10
Figura 3. Mapa de localización de las líneas (M y H) de Cable aéreo de la ciudad de Medellín. ....	11
Figura 4. Ubicación de la Línea M del Metro de Medellín. ....	12
Figura 5. Análisis multitemporal de la zona de estudio. ....	13
Figura 6. Metrocable de Mariche, segunda Línea del Metrocable de Caracas. ....	15
Figura 7. Cable Mi Teleférico La Paz - Bolivia. ....	16
Figura 8. Líneas de Cable y mapa de rutas Cable aéreo Manizales. ....	17
Figura 9. Metrocable Línea P y Arví. ....	18
Figura 10. Etapas de la encuesta. ....	26
Figura 11. Análisis de elementos expuestos a nivel del área de estudio. ....	36
Figura 12. Análisis de elementos expuestos caracterizando cada manzana. ....	37
Figura 13. Encuesta de percepción del riesgo. ....	39
Figura 14. Localización de la zona de estudio: Estación Miraflores, Pilon 1 y 2, línea tranviaria de Ayacucho (color violeta), línea M del Cable aéreo Miraflores (Color naranja) y cauce actual de la Quebrada Santa Elena. ....	41
Figura 15. Mapa geológico de la Plancha 147 Medellín Oriental, escala 1:100.000. ....	43
Figura 16. Mapa geológico de la Estación Miraflores y zonas aledañas. ....	46
Figura 17. Afloramiento de la Dunita de Medellín. ....	47

Figura 18. Perfiles de la zona de estudio donde se evidencia la forma escalonada de la pendiente.....	50
Figura 19. Depósitos aluviales de la quebrada Santa Elena constituidos principalmente por cantos, gravas y arenas. ....	51
Figura 20. Marco estructural de la zona de estudio escala 1:100.000.....	52
Figura 21. Mapa geomorfológico de la zona de estudio .....	55
Figura 22. Unidades de origen denudacional (Dse) y (Del).....	56
Figura 23. Unidades de origen fluvial (Ft).....	57
Figura 24. Perfil de meteorización en la Dunita de Medellín. ....	58
Figura 25. Mapa de Formaciones superficiales de la zona de estudio.....	59
Figura 26. Estado final de la solución Estación Miraflores. ....	60
Figura 27. Línea de refracción sísmica LSM-01A Miraflores.....	61
Figura 28. Interpretación de los materiales en la Estación Miraflores.....	63
Figura 29. Mapa de Cobertura del suelo. ....	64
Figura 30. Bosque natural o de galería a los lados de la Quebrada Santa Elena. ....	65
Figura 31. Agrietamientos en andenes en la urbanización Loyola. ....	68
Figura 32. Unidad deportiva Miraflores presenta árboles inclinados y muro fallado.....	69
Figura 33. Socavación de la quebrada Santa Elena, que afecta la Estación Miraflores y la Pilon 1. ....	70
Figura 34. Construcción del muro en bolsacretos como medida de reducción del riesgo para la Pilon 1 y la Estación Miraflores. Fuente propia.....	71
Figura 35. Bosque natural o de galería a los lados de la Quebrada Santa Elena. Elaboración propia.....	72

Figura 36. Bosque natural o de galería a los lados de la Quebrada Santa Elena. Elaboración propia.....	73
Figura 37. Ubicación de la Cuenca de la Quebrada Santa Elena. Tomado de AMVA, 2017.....	74
Figura 38. Parte media de la cuenca Santa Elena abarca desde la cota 1850 msnm hasta la 1540 msnm.....	76
Figura 39. Buffer a las vías principales en la zona de estudio. ....	78
Figura 40. Ubicación de la Pilona 2 con respecto a la Calle 51.....	79
Figura 41. Análisis de las variables para calificación y peso relativo de la susceptibilidad. .....	80
Figura 42. Mapa de susceptibilidad de la Estación Miraflores y zonas aledañas. ....	81
Figura 43. Localización de la Estación 182 Quebrada Santa Elena.....	84
Figura 44. Marcha anual de temperatura máxima, media y mínima en Medellín. ....	86
Figura 45. Precipitación Media Total Anual para la ciudad de Medellín. ....	86
Figura 46. Amenaza sísmica a nivel regional para PGA y para un periodo de retorno de 9,3 años. ....	89
Figura 47. Amenaza sísmica a nivel regional para PGA y para un período de retorno de 475 años. Tomado de <i>GSM, 2006</i> . ....	89
Figura 48. Tipo de viviendas en la Comuna 8 Villa Hermosa. ....	90
Figura 49. Tipo de viviendas Comuna 9, Buenos Aires. ....	91
Figura 50. Viviendas expuestas en la franja de la quebrada Santa Elena. ....	91
Figura 51. Clasificación del uso del suelo en la zona de estudio.....	92
Figura 52. Vía Tranviaria y estación Miraflores.....	93

Figura 53. Unidad deportiva Miraflores.....	93
Figura 54. Tipos de vías en la zona de estudio demarcado en negro. ....	94
Figura 55. Riesgos a los que se encuentra expuesta la población. ....	97
Figura 56. Que tanto conoce la población sobre la ocurrencia de movimientos en masa en la zona. ....	97
Figura 57. Cuanta población ha resultado afectada por emergencias .....	98
Figura 58. Cuáles son las causas que generan deslizamientos según los encuestados. ....	99
Figura 59. Cuáles son las entidades que atendieron las emergencias según la población encuestada. ....	99
Figura 60. Actores reconocidos en la gestión del riesgo a nivel local. ....	100
Figura 61. Considera posible la ocurrencia de un deslizamiento en la estación Miraflores. ....	100
Figura 62. Si llegara a ocurrir un deslizamiento considera que lo afecta. ....	101
Figura 63. La ocurrencia de lluvias fuertes incrementan los deslizamientos.....	101
Figura 64. Grado de confianza en la construcción y mantenimiento de la Estación Miraflores.....	102
Figura 65. Viviendas ubicadas en la margen derecha aguas abajo en la Quebrada Santa Elena. ....	104

## Lista de Tablas

Tabla 1. Datos usados para el cálculo del lucro cesante. ....	38
Tabla 2. Distribución aproximada de materiales en el subsuelo y sus velocidades. ....	63
Tabla 3. Tabla climática de Medellín a partir de Datos históricos del tiempo.....	85
Tabla 4. Cálculo de datos de elementos expuestos. ....	95



## **Lista de Anexos**

ANEXO 1. GEOLOGIA CASO DE ESTUDIO MIRAFLORES

ANEXO 2. GEOMORFOLOGIA CASO DE ESTUDIO MIRAFLORES

ANEXO 3. FORMACIONES SUPERFICIALES CASO DE ESTUDIO MIRAFLORES

ANEXO 4. COBERTURAS SUELO CASO DE ESTUDIO MIRAFLORES

ANEXO 5. MOVIMIENTOS EN MASA CASO DE ESTUDIO MIRAFLORES

ANEXO 6. DEM CASO DE ESTUDIO MIRAFLORES

ANEXO 7. PENDIENTES CASO DE ESTUDIO MIRAFLORES

ANEXO 8. RED HIDRICA RETIROS CASO DE ESTUDIO MIRAFLORES

ANEXO 9. VIA PRINCIPAL RETIROS CASO DE ESTUDIO MIRAFLORES

ANEXO 10. SUSCEPTIBILIDAD CASO DE ESTUDIO MIRAFLORES

ANEXO 11. MODELO DE ENCUESTA A LA COMUNIDAD

## RESUMEN

En el presente documento de monografía se plantea la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, la caracterización de los elementos expuestos y la percepción del riesgo de la comunidad aledaña a la estación Miraflores de la línea M del Metro de Medellín.

La finalidad de este trabajo es brindar elementos a la Empresa Metro de Medellín para realizar una gestión adecuada del riesgo de movimiento en masa que se pudiera presentar cerca a la estación Miraflores; lo cual servirá para identificar puntos críticos que puedan poner en riesgo la comunidad y el sistema de Cables aéreos, con el fin de tomar medidas preventivas y de reducción del riesgo.

El alcance está delimitado a nivel geográfico a la estación Miraflores de la Línea M del Metro de Medellín y su área de influencia que se definió desde esta estación hasta tres cuadras alrededor.

La metodología usada fue de tipo mixta mediante la cual se emplean las aproximaciones cuantitativas y cualitativas en el tipo de preguntas, métodos de investigación, recolección de datos, análisis e inferencias; la metodología cuantitativa fue usada para la zonificación de la amenaza mediante la cual se realizó la caracterización geológica, geomorfológica, de pendientes, formaciones superficiales entre otros, y su posterior calificación para generar la susceptibilidad; con la población, se usó la metodología cualitativa para comprender su posición sobre el riesgo por movimiento en masa y su afectación a la comunidad.

En la zonificación de la amenaza se tuvieron en cuenta las características geológicas y se definieron las unidades aflorantes en el sector, a nivel geomorfológico se identificaron unidades de origen fluvial, estructural y denudacional; se clasificaron las pendientes y se realizó un análisis de las condiciones actuales de la red hídrica.

Para conocer las condiciones de la población expuesta a la amenaza, se realiza una identificación y caracterización de elementos expuestos como: viviendas, locales comerciales, instalaciones del Metro de Medellín, escenarios deportivos y vías públicas. Con el fin de estimar una aproximación de posibles pérdidas de estos elementos, se hace un reconocimiento en campo y un sondeo de datos inmobiliarios de la zona.

Se desarrolló una encuesta en la que participaron 21 líderes de la Comunidad, donde se incluyen preguntas relacionadas con las amenazas, sus posibles consecuencias y el manejo que le dan a los eventos los entes responsables.

Se obtuvieron datos de las condiciones actuales de la Quebrada Santa Elena con relación a las coberturas de suelo, la modificación en las condiciones del terreno al momento de la construcción de la Estación Miraflores y la línea tranviaria, lo cual generó llenos antrópicos en la zona y el retiro de árboles de la franja de la quebrada, lo anterior sumado a la presión que generan las viviendas ubicadas a la margen de la quebrada hacen que esta zona sea más vulnerable a los movimientos en masa, sin embargo, se pudo determinar que la comunidad tiene confianza en las entidades encargadas de la gestión de riesgo de desastre del municipio y del mantenimiento de las instalaciones y equipos por parte de la Empresa.

Como medida de reducción de riesgo se recomienda reubicar las familias de la margen derecha de la quebrada Santa Elena y retirar las viviendas con el objeto principal de eliminar las obstrucciones que representan estas estructuras para el flujo, así como recuperar parte de la sección natural del cauce y con ello disminuir los niveles de flujo.

## 1. TITULO

La gestión del riesgo de desastre en la línea M del Metro de Medellín. Caso de estudio estación Miraflores.

## 2. INTRODUCCIÓN

En el presente documento de monografía se plantea la zonificación de la amenaza por movimiento en masa, la caracterización de los elementos expuestos y la percepción del riesgo de la comunidad aledaña a la estación Miraflores de la línea M del Metro de Medellín, con el fin de aportar elementos que pueden servir para gestionar el riesgo de desastre por parte de la Empresa Metro de Medellín.

La Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres de Colombia, Ley 1523 de 2012 define la gestión del riesgo de desastres como un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento, la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible. Así mismo, establece que la gestión del riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable que se deberá considerar como un condicionante para el uso y la ocupación del territorio, procurando de esta forma evitar la configuración de nuevas condiciones de riesgo.

Los cables aéreos son diseñados para el uso comercial, turístico y de carga. Los sistemas de cables aéreos en el mundo que tienen como función el servicio comercial, casi siempre se construyen en zonas con una pendiente alta, buscando solucionar las necesidades de transporte de la comunidad con problemática social importante. Entre las características podemos encontrar la seguridad de su funcionamiento y la facilidad de comunicar zonas de una ciudad con accesos

complejos, posibilitando así el desarrollo de las comunidades. Lo anterior ha generado que, en varias ciudades del mundo, se construyan cada vez más sistemas de transporte por cables aéreos (Vargas, 2011).

En Colombia atendiendo la necesidad de transporte que durante el anterior siglo se presentó en el país, se construyó el primer cable aéreo para unir a Mariquita (Tolima) con la ciudad de Manizales (Caldas). Este sistema de cable tuvo una longitud de 72 km. Inicio su servicio el 2 de febrero de 1922 y finalizó en 1961. Fue una de las obras de ingeniería más representativas de Colombia. (Alcaldía de Manizales, 2015).

En la actualidad Colombia viene diseñando e implementado sistemas de cables aéreos con fines comerciales. El primer cable aéreo comercial se desarrolló en Medellín, con la puesta en marcha de la línea K en 2004, seguido por Manizales en 2009, luego en Cali en 2015 y por último el de la ciudad de Bogotá en 2018. (Mejía, 2019).

El acceso a algunas zonas de ladera de la ciudad de Medellín presenta dificultad en la movilidad, debido a que no cuentan con planificación urbana, sus calles son estrechas y estos barrios están ubicados en lugares de alta pendiente. Por lo que el Municipio de Medellín revisando esta problemática priorizó la intervención de la zona nororiental, inaugurando el primer cable en 2004, convirtiéndose en una solución, económica y rápida frente a la problemática de transporte. (Leibler, L., & Brand, P. 2012).

En la actualidad en Medellín, se cuenta con 5 líneas de cable aéreo en operación (L, J, K, M y H) y una línea en proyecto (P).

La línea M atraviesa la zona centro oriental del municipio de Medellín de sur a norte y viceversa, en una longitud total de 1,05 km, de forma elevada. Posee una capacidad máxima de 2.500 pasajeros hora sentido, 49 telecabinas, un tiempo de recorrido de 4 minutos, con una

frecuencia máxima de 9 segundos entre telecabinas y una velocidad comercial de 5 metros por segundo (Metro de Medellín. 2015). Cuenta con tres estaciones, una de ellas con integración al Tranvía de Ayacucho en la estación Miraflores. Sirve directamente a la comuna 9 de Buenos Aires con una estación y a la comuna 8 de Villa Hermosa con dos estaciones. La Línea M se eleva 275 metros, sorteando una pendiente promedio del 26%. Fue inaugurada el 28 de febrero de 2019.

Debido a la gran pendiente donde está construido el cable línea M y al cruce de la Quebrada Santa Elena, existe la posibilidad que se presenten deslizamientos que pueden afectar la comunidad y la infraestructura del Cable.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La solución de movilidad en áreas de alta pendiente se puede dar a través de sistemas de Cables aéreos como alternativa de transporte público urbano. Debido a esa condición, durante la fase de prefactibilidad donde se realizan los estudio de: suelos, modelos de carga, modelamiento sísmico, geología, geotecnia, se ha encontrado que en algunos casos los puntos escogidos para la construcción de infraestructura (pilona o estación) (Figura 1) se deben descartar por coincidir con sitios críticos, desviando su trazado inicial generando sobre costos debido a infraestructura y compra de predios (comunicación personal, Roberto Bayardelle Ingeniero Civil, profesional del Metro de Medellín, experto en construcción de proyectos de líneas de Cables aéreos).

En el año 1987 se presentó un deslizamiento en la ladera del Cerro Pan de Azúcar, afectando el barrio Villatina, lugar que se encuentra ubicado sobre la misma ladera donde está construida la Línea M del Metro de Medellín, a una distancia de 1,2 Km. El deslizamiento involucró en su desplazamiento una capa superficial (6.0 – 8.0 mts), constituida por un depósito coluvial, suelos residuales y parte de material rocoso, dejando expuesta la roca fracturada, parcialmente meteorizada y parte del saprolito. (Flórez, M. 2016).

Considerando todo lo anterior, la pregunta a resolver en esta monografía es:  
¿Cómo brindar elementos que aporten información que sirva de base, para la adecuada gestión del riesgo de desastre en la línea M del Metro de Medellín en la estación Miraflores?



Figura 1. Estación Miraflores de la Línea M Metro de Medellín.

Tomado de *Alcaldía de Medellín (2021)*.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Al realizar un estudio de este tipo, se logrará contar con información que permita conocer la amenaza por movimiento en masa y la estimación de la vulnerabilidad física para la estación Miraflores de la línea M; así como la percepción del riesgo que tiene la comunidad frente a este riesgo y así aportar información que le permita a la Empresa Metro de Medellín gestionar adecuadamente el riesgo según lo establecido en la Ley 1523 de 2012 y el Decreto 2157 de 2017.

A partir de la realización de este trabajo se obtienen entregables como mapas temáticos que contienen información geológica, geomorfológica, formaciones superficiales, red, hídrica, de pendientes, y susceptibilidad por movimientos en masa en la estación Miraflores, con la cual se brinda información técnica a la empresa Metro que le facilite la toma de decisiones en cuanto a la gestión del riesgo.

Se generará una metodología para el análisis de los elementos expuestos en las zonas cercanas a la estación Miraflores, y se entrega la clasificación y cuantificación de los daños y pérdidas asociadas a estos elementos, datos que permitirán realizar una transferencia adecuada del riesgo.

Como resultado de este trabajo se obtendrá información detallada de la percepción que tiene la comunidad frente al riesgo por movimiento en masa y su manejo.

Lo anterior sirve para dar respuesta a la pregunta sobre ¿Cómo brindar elementos que aporten información que sirva de base, para la adecuada gestión del riesgo de desastre en la línea M del Metro de Medellín en la estación Miraflores?.

Se han realizado dos estudios coordinados por la Empresa Metro de Medellín con el objetivo de identificar elementos ambientales bióticos y físicos del área de influencia del



proyecto, y estudios hidrológicos e hidráulicos de la Quebrada Santa Elena para conocer los principales impactos en la Estación Miraflores asociados al fenómeno de socavación.

Con el desarrollo de este estudio se brinda información y elementos importantes que sirven como base a la Empresa Metro de Medellín y las empresas encargadas de gestionar los riesgos y atender los desastres para la toma acertada de decisiones y la definición de acciones de prevención, atención, mitigación y transferencia del riesgo.

## 5. OBJETIVOS

### a) General:

Analizar el escenario por movimiento en masa para la estación Miraflores de la línea M del Metro Medellín y la percepción del riesgo por las comunidades de la zona influencia.

### b) Específicos:

- Realizar la zonificación de la amenaza por movimiento en masa para la estación Miraflores de la Línea M del Metro de Medellín.
- Caracterizar y zonificar los elementos expuestos para la zona de estudio.
- Reconocer la percepción del riesgo de las comunidades aledañas a la estación Miraflores en relación con los movimientos en masa.

## 6. CONTEXTO GEOGRÁFICO DE ESTUDIO

Medellín es la capital del departamento de Antioquia, está ubicada en el Valle de Aburra y hace parte de los municipios que conforman el Área Metropolitana. Su territorio asciende a 37.621 hectáreas y está compuesto por 10.210 ha. de suelo urbano (27,1% del total), 401 ha. de áreas de expansión urbana (1,1%) y 27.010 ha. de suelo rural (71,8) (Figura 2). (Alcaldía de Medellín, 2006).



Figura 2. Mapa de comunas del Municipio de Medellín.

Tomado de *Alcaldía de Medellín, 2006*.

Medellín es calificada a nivel Nacional como una ciudad con excelente avance en su planeación urbana y muy competitiva; sin embargo, se observa desequilibrio social. El índice de Gini para la ciudad en el año 2020 es de 0.52, lo cual corresponde a una desigualdad alta, de acuerdo con la clasificación realizada por la ONU Hábitat (2014), lo que refleja fallas institucionales y estructurales en la distribución del ingreso.

“El último Informe sobre Desarrollo Humano de las Naciones Unidas la sitúa en una de las regiones más inequitativas de América Latina” (Alcaldía de Medellín 2006), por condiciones como estas las poblaciones de bajos recursos se concentran en el área montañosa de la ciudad, la cual presenta dificultades de acceso y de comunicaciones con las demás zonas para desarrollar sus actividades laborales, académicas y sociales.

Para dar solución a esta problemática el municipio de Medellín y el Metro de Medellín han entregado a la comunidad 5 líneas de Cables aéreos (Figura 3) ubicados en las comunas 1, 2, 5, 8, 9, y 13, y está en proceso de construcción la sexta línea de cable aéreo para las comunas 5 y 6.



Figura 3. Mapa de localización de las líneas (M y H) de Cable aéreo de la ciudad de Medellín.

Tomado de *Metro de Medellín*, 2015.

La línea M sobre la cual se concentrará el estudio de riesgo por movimiento en masa abarca la comuna 8 Villa hermosa con una población de 138.045 habitantes y la comuna 9 Buenos Aires con una población aproximada de 137.049. Atraviesa la zona centro oriental del municipio de Medellín de sur a norte y viceversa. Inicia en la estación Miraflores del tranvía hasta la estación de retorno Trece de Noviembre, con una estación intermedia el Pinal; su longitud total es de 1,05 km, de forma elevada (Figura 4). Posee una capacidad máxima de 2.500 pasajeros hora sentido, 49 telecabinas, un tiempo de recorrido de 4 minutos, con una frecuencia máxima de 9 segundos entre telecabinas y una velocidad comercial de 5 metros por segundo. Está construida sobre 11 pilonas con una altura mínima de pilona de 9,57 metros y una altura máxima de 33,80 metros, con pendiente promedio de 27 % y pendiente máxima 53%. La Línea M se eleva 275 metros. Fue inaugurada el 28 de febrero de 2019. Esta línea de Cable atraviesa la Quebrada Santa Elena en la estación Miraflores. (Metro de Medellín, 2015).



Figura 4. Ubicación de la Línea M del Metro de Medellín.

Tomado de *Metro de Medellín*, 2015.

Se definió la zona de estudio como la zona de influencia cercana a la estación Miraflores, teniendo presente que si ocurriera un evento en esta estación o sobre alguna de sus estructuras se pueden provocar daños en esta área (Figura 5).



Figura 5. Análisis multitemporal de la zona de estudio.

Tomado de *Google Earth, 2021*.

## 6. MARCO REFERENCIAL

Como antecedentes relacionados con estudios sobre movimientos en masa en Cables aéreos se tienen los siguientes:

### **Metrocable de caracas:**

Es un sistema de teleférico integrado al Metro de Caracas, tiene 4 líneas en funcionamiento (Figura 6), La construcción fue desarrollada por la empresa brasileña Odebrecht, en conjunto con la empresa austríaca Doppelmayr. La primera línea fue inaugurada el 20 de enero de 2010.

Los estudios realizados para la construcción del Metrocable de Caracas consistieron en trabajos de campo, la generación de volúmenes de información de geología, geomorfología, sostenibilidad, riesgos, entre otros y se identificaron zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de procesos erosivos y movimientos en masa. En la actualidad los medios de comunicación brindan información sobre el deterioro en el que se encuentra el Metrocable ya que no hay nadie custodiando las instalaciones. Hace meses el Gobierno envió a la Milicia para evitar más destrozos y que los delincuentes se llevaran las piezas metálicas. Mientras tanto, las bases de la estructura muestran corrosión y la falta de mantenimiento, así como evidencias de daños en algunas laderas donde se ubican las pilonas (Universidad Simón Bolívar, 2019).



Figura 6. Metrocable de Mariche, segunda Línea del Metrocable de Caracas.

Tomado de Asociación Cable Aéreo de Manizales, 2021

### **Mi teleférico de Bolivia**

El teleférico es el servicio de transporte por cable aéreo que une La Paz y El Alto. Inicio su funcionamiento desde mayo de 2014, cuando inició sus operaciones, cambió radicalmente la forma como la población percibe la movilidad entre la Paz y El Alto. Por un lado, se trata de una moderna alternativa para trasladarse de una urbe a otra sin interrupciones, en plazos cronometrados y con mayores comodidades que las del servicio de transporte público tradicional (Derpic, J. C, 2015).

En este Sistema, por su topografía por las unidades geológicas aflorantes, se han presentado deslizamiento que ponen en riesgo la operación del Sistema (Figura 7). Como referencia se cita el caso del 30 de noviembre de 2019, en el que la Línea Amarilla de Mi Teleférico suspendió su servicio como medida de precaución frente al deslizamiento que afectó la zona Inmaculada Concepción San Jorge (Corz, C. 2019).





Figura 7. Cable Mi Teleférico La Paz - Bolivia.

Tomado de Corz, C. 2019

### **Cable aéreo de Manizales**

En la ciudad de Manizales se inauguró en 2009, el Cable aéreo de la Línea Los Cámbulos – Fundadores y posteriormente la línea Villamaría, que une el centro de la ciudad con la Terminal de Transporte y el Municipio de Villamaría, con una extensión de 2.820 metros (Figura 8), como solución de transporte a la difícil topografía de la ciudad y con el fin de disminuir el tiempo de recorrido para los viajeros y habitantes del sector. Durante la realización de los estudios se contempló la ocurrencia de movimientos en masa y problemas que pudieran sufrir las pilonas sobre las cuales se soporta el sistema de cable, desde su construcción a la fecha se tiene un plan de operación y mantenimiento que ha permitido detectar problemas en áreas cercanas a las pilonas y poder intervenirlos.

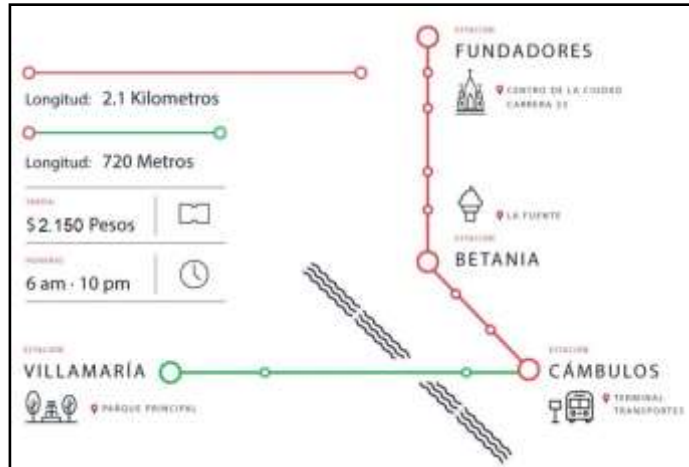


Figura 8. Líneas de Cable y mapa de rutas Cable aéreo Manizales.

Tomado de Asociación Cable Aéreo de Manizales, 2021

### **Metrocables de Medellín**

Es el sistema de transporte rápido permanente de tipo teleférico para movilización urbana de pasajeros en la ciudad de Medellín. Está compuesto por seis líneas de servicio comercial: J, K, H, L, Línea M y Línea P (Figura 9), que suman una extensión total de 15,52 kilómetros. Cuenta con quince estaciones en operación, todas adaptadas para facilitar el ingreso a personas con movilidad reducida. El primer metrocable fue inaugurado el 7 de agosto de 2004 (Metro de Medellín, 2015).



Figura 9. Metrocable Línea P y Arví.

Metro de Medellín, 2015

A continuación, se relacionan los estudios que realizó la empresa Metro de Medellín para el proyecto de la Línea M y la estación Miraflores de Tranvía:

- **Estudio ambiental, contrato CN 2009-0302:** En este informe, se presentan los estudios ambientales básicos de los medios bióticos y físicos del área de influencia del proyecto. Los principales impactos físico-bióticos de la construcción y operación del Tranvía de Ayacucho son:
  - ✓ **Modificación de la dinámica fluvial de la quebrada Santa Elena.** Para la construcción de un tramo del Tranvía de Ayacucho, se deberán realizar obras en la zona de retiro de la quebrada Santa Elena, lo cual modificará su comportamiento hidráulico.
  - ✓ **Cambios en la calidad del agua de la quebrada Santa Elena.** Los trabajos de construcción del proyecto implican movimientos de tierra, excavaciones superficiales, transporte de materiales en zonas donde existen corrientes superficiales como la quebrada Santa Elena, la cual puede ver afectada la calidad de sus aguas por la caída de material a su corriente.
  - ✓ **Tala de árboles.** Para adecuar el corredor tranviario, se talará la vegetación existente, originando la destrucción de la cobertura vegetal y la fragmentación en unidades de menor tamaño, que ofrecen menores oportunidades de hábitat. Se afectarán individuos arbóreos de especies como el Urapán (*Fraxinus chinensis*), Mango (*Mangifera indica*), Guayabo (*Psidium guajava*), Leucaenas (*Leucaena leucocephala*), Búcaros (*Erythrina fusca*) e Higuierillo (*Ricinus comunis*).

- ✓ Reubicación de población. Para la adecuación de los talleres y patios del tranvía, así como la construcción del corredor en el sector del barrio Alejandro Echavarría, se debe demoler viviendas, que obligará a sus ocupantes a ser reubicados.
  
- **Estudio hidrológico e hidráulico contrato No CN2009- 0302.** El objetivo de este estudio es elaborar la modelación hidráulica de la quebrada Santa Elena en el tramo en que se construirán los muros de protección laterales para contención de la vía del corredor tranviario. Se busca evaluar tanto las condiciones existentes como proyectadas. Este estudio sirvió para determinar el alcance de las manchas de inundación de la quebrada Santa Elena identificando y delimitando las zonas seguras por las que se puede llevar a cabo el trazado y realizar las protecciones pertinentes en aquellos tramos que por efecto del trazado requieran de obras de mitigación del riesgo. En este estudio también se determinaron los perfiles de flujo en condiciones existentes y proyectadas para todos los periodos de retorno en el tramo en que se construirán muros adyacentes al canal, se realizan las manchas de inundación para todos los periodos de retorno en condiciones existentes y proyectadas y se determinó la socavación general en el tramo de quebrada evaluado.

## 7. MARCO NORMATIVO O LEGAL

Durante el desarrollo de la monografía se analizarán documentos legales los cuales se relacionan a continuación:

### **Ley 1523 de 2012 (Presidencia de la Republica de Colombia, 2012)**

Artículo 1. Política nacional de gestión del riesgo de desastres, de acuerdo con la Ley 1523 de 2012 ésta se define como un proceso social enfatizado a la: “formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, norma jurídica, artículos aplicables, medidas y acciones permanentes para el conocimiento, reducción del riesgo y para el manejo de desastres”, todo esto con el objeto de garantizar la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas así como propender por el desarrollo sostenible.

Artículo 3. Principios generales que orientan a una gestión del riesgo, siendo estos los principios de igualdad, protección, autoconservación, sostenibilidad ambiental, principio de precaución, entre otras.

Artículo 4. Definición de la gestión del riesgo, según la Ley 1523 de 2012 es: “un proceso social de planeación, ejecución y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo” con el objeto de evitarlo, reducirlo o controlarlo cuando éste ya existe.

Artículo 5. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, de acuerdo a la Ley 1523 de 2012 se define como: “un conjunto integrado de entidades públicas, privadas y comunitarias, así como de políticas, normas, procesos, recursos, planes, estrategias, instrumentos

y mecanismos que se aplican de manera organizada para garantizar la gestión del riesgo en el país.”

Artículo 32. Instrumentos de planificación: Planes de Gestión del Riesgo, los cuales serán formulados e implementados por parte del gobierno, la Ley 1523 de 2012 determina que el fin de éstos son: “priorizar, programar y ejecutar acciones por parte de las entidades del sistema nacional, en el marco de los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo de desastres.”

Artículo 37. Planes departamentales, distritales y municipales de gestión del riesgo y estrategias de respuesta, donde la Ley 1523 de 2012 establece que: “se formulará un plan de gestión del riesgo de desastres y una estrategia para la respuesta a emergencias de su respectiva jurisdicción.”

Artículo 39. Incorporación de la gestión del riesgo dentro del marco de la planificación territorial y del desarrollo.

Artículos 47 y 48. Mecanismos de financiación para la gestión del riesgo de desastres siendo el más importante el Fondo Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres.

### **Ley 388 de 1997 (Congreso de la Republica, 1997)**

Artículo 5. Concepto. El ordenamiento del territorio municipal y distrital comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, emprendidas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas, en ejercicio de la función pública que les compete, dentro de los límites fijados por la Constitución y las leyes, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales.

Artículo 6. Objeto. El ordenamiento del territorio municipal y distrital tiene por objeto complementar la planificación económica y social con la dimensión territorial, racionalizar las intervenciones sobre el territorio y orientar su desarrollo y aprovechamiento sostenible, mediante: 1. La definición de las estrategias territoriales de uso, ocupación y manejo del suelo, en función de los objetivos económicos, sociales, urbanísticos y ambientales.

2. El diseño y adopción de los instrumentos y procedimientos de gestión y actuación que permitan ejecutar actuaciones urbanas integrales y articular las actuaciones sectoriales que afectan la estructura del territorio municipal o distrital.

3. La definición de los programas y proyectos que concretan estos propósitos.

El ordenamiento del territorio municipal y distrital se hará tomando en consideración las relaciones intermunicipales, metropolitanas y regionales; deberá atender las condiciones de diversidad étnica y cultural, reconociendo el pluralismo y el respeto a la diferencia; e incorporará instrumentos que permitan regular las dinámicas de transformación territorial de manera que se optimice la utilización de los recursos naturales y humanos para el logro de condiciones de vida dignas para la población actual y las generaciones futuras.

Artículo 9. Plan de Ordenamiento Territorial (POT), la Ley 388 de 1997 lo define “como un conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas”, las cuales están enfocadas a una adecuada administración del desarrollo físico del territorio así como de la utilización del suelo [63], clasificados así: “Planes de ordenamiento territorial (Distritos y municipios con población mayor a 100.000 habitantes), Planes básicos de ordenamiento territorial (Municipios con población entre 30.000 y 100.000 habitantes) y Esquemas de ordenamiento territorial (Municipios con población inferior a 30.000 habitantes).”

**Decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014 (Presidencia de la Republica, 2014)**

Ha reforzado lo anterior, reglamentando y reajustando de manera más ordenada las disposiciones que se deben tener en cuenta en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenamiento territorial, así mismo se describen algunos aspectos técnicos, que se deben tener en cuenta para la elaboración de estos.

En el título 1. Disposiciones Generales, parágrafo 1, áreas con condición de riesgo; se dice que estas corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos.

**Decreto 2157 del 2017 Planes Empresariales de GR–Art 42 de la ley 1523,  
(Presidencia de la República, 2017)**

En este decreto se habla de que el capítulo III de la Ley 1523 de 2012 desarrolla los instrumentos de planificación y bajo ese marco en el artículo 42, establece la obligación para "Todas las entidades públicas y privadas encargadas de la prestación de servicios públicos, que ejecuten obras civiles mayores o que desarrollen actividades industriales o de otro tipo que puedan significar riesgo de desastre para la sociedad, así como las que específicamente determine la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, deberán realizar un análisis específico de riesgo que considere los posibles efectos de eventos naturales sobre la infraestructura expuesta y aquellos que se deriven de los daños de la misma en su área de influencia, así como los que se deriven de su operación. Con base en este análisis diseñarán e implementarán las medidas de reducción del riesgo y planes de emergencia y contingencia que serán de su obligatorio cumplimiento."



**Decreto 1072 de 13 de abril de 2004 (Mintransporte, 2004)**, se reglamenta el servicio público de transporte por cable de pasajeros y carga.

**Decreto 1079 de 2015 (Presidencia de la Republica, 2015)** Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte.

### **Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030**

Cabe resaltar la importancia del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 Colombia fue uno de los primeros países en el mundo en adoptar los indicadores para la gestión del riesgo de desastres y ha venido reportando dicha información sobre los avances ante los indicadores de las 7 metas del Marco de Sendai. (UNGRD, 2019)

### **Ley 1454 de 2011 (Congreso de la Republica, 2011)**

El gobierno nacional expidió la ley de Desarrollo Territorial, para diferenciarla de la Ley 388 de 1997, por medio de la que se establece un mandato para que todos los municipios del país formulen sus respectivos Planes de Ordenamiento Territorial.

### **Ley 9 de 1989 normas sobre Planes de Desarrollo Municipal**

Establece “la obligatoriedad de levantar y mantener actualizado un inventario de las zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos por ser inundables o sujetas a derrumbes o deslizamientos, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda”.

## 8. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

**Amenaza** Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Presidencia de la Republica, 2012)

**La exposición** se refiere principalmente a los componentes de bienes o a la población expuesta que puede verse afectada por un evento asociado a un movimiento en masa. Para realizar la caracterización de la exposición es necesario identificar los diferentes componentes individuales incluyendo su ubicación geográfica, sus características geométricas, físicas e ingenieriles principales, su valoración económica y el nivel de ocupación humana que puede llegar a tener en un escenario de análisis determinado (CAPRA, 2009).

**Percepción del riesgo** Según Romo, H. L. (1998) la metodología de la encuesta de J. G. Cáceres, Técnicas de investigación en sociedad, cultura y comunicación, 33-74, la encuesta se ha convertido en una herramienta fundamental para el estudio de las relaciones sociales (Figura 10). Las organizaciones contemporáneas, políticas, económicas o sociales, utilizan esta técnica como un instrumento indispensable para conocer el comportamiento de sus grupos de interés y tomar decisiones sobre ellos.

Debido a su intenso uso y difusión, la encuesta es la representante por excelencia de las técnicas del análisis social. Este panorama la ubica dentro de varias situaciones paradójicas.



Figura 10. Etapas de la encuesta.

Estudios realizados en distintas disciplinas como la antropología y la sociología han mostrado que existen aspectos sociales y culturales determinantes en la percepción (la percepción deviene de factores neurológicos y también socioculturales) y aceptación de los riesgos (Slovic, 1987).

La percepción del riesgo tiene una definición operacional basada en tres dimensiones que pueden medirse en una escala específica (Gruev-Vintila & Rouquette, 2007);

- 1) la valoración: evalúa la importancia del problema en los individuos
- 2) la identificación: hace referencia al grado de identificación de la persona en relación con el objeto
- 3) la percepción de posibilidad de acción (sentimiento de control), está ligada con la posibilidad de intervención de los individuos y con la evaluación de la capacidad de acción percibida por éstos hacia el problema.

Aspectos que inciden en la percepción del riesgo:

Proximidad espacial: desde la perspectiva del riesgo, la distancia o proximidad a una amenaza ha sido objeto de estudio; investigaciones hacen referencia al efecto halo (Consiste en afirmaciones exageradas), en cuanto a la subestimación (aprenden a vivir con él) del peligro que hacen la personas que viven en riesgo (Bickerstaff, 2004; CatalánVázquez, Riojas-Rodríguez, Jarillo-Soto, & Delgadillo-Gutiérrez, 2009);

En contraste otros estudios muestran que la cercanía a una amenaza conduce a una percepción más alta del riesgo- reconocimiento (Lindell, Zhang, & Hwang, 2009).

Estudios han mostrado que el apego al lugar se constituye en un amplificador de la percepción de los riesgos de alta probabilidad, pero tiene un efecto contrario con los de baja probabilidad (Bernardo, 2013). Otras investigaciones muestran que existe una relación importante entre el apego al lugar y la voluntad de emprender acciones, lo cual puede depender del tipo de apego (Lewicka, 2011).

Algunos teóricos también incorporan las representaciones colectivas; por tanto, consideran que la percepción del riesgo es la representación de valores colectivos y el significado de acontecimientos, prácticas, elementos sociales y ambientales (López-Vasquez, 2001).

En este mismo sentido, otros autores consideran que la percepción del riesgo también está influenciada por la plataforma cultural de las sociedades y por la forma como el riesgo se les comunica a las personas (Douglas & Wildavsky, 1982; Slovic, Fischhoff, & Lichtenstein, 1980).

Es importante conocer la percepción del riesgo de movimiento en masa que tiene la comunidad, debido a que, en la medida que estos tengan una percepción adecuada del riesgo, se lograra una corresponsabilidad en la gestión de este. Lo anterior enmarcado en el artículo 2 de la

Ley 1523 de 2012, donde se asignan responsabilidades a las autoridades y a los habitantes del territorio, con respecto al proceso de gestión del riesgo.

La población de estudio estará determinada por los habitantes de la zona aledaña a la estación Miraflores. De la población se seleccionó como muestra a los líderes ubicados en el área de influencia de la estación Miraflores. Se eligió el muestreo casual o incidental ya que el investigador seleccionó intencionadamente los individuos de la población, líderes de la comunidad debido al conocimiento previo que se tenía de ellos.

Los siguientes conceptos fueron utilizados para el desarrollo del estudio:

**Afectado:** Personas afectadas de forma directa o indirectamente por un evento amenazante. Los afectados directamente son quienes presentan lesiones, enfermedades u otros efectos en la salud, quienes fueron evacuados o desplazados, reubicados o quienes han sufrido daños directos en sus medios de sustento y bienes económicos, físicos, sociales, culturales y ambientales. Los afectados indirectamente, son personas quienes han sufrido consecuencias (distintas a los efectos directos) a través del tiempo, debido a la interrupción o cambios con consecuencias psicológicas, sociales y de salud, en la economía, infraestructura indispensable, servicios básicos, comercio y trabajo (UNGA, 2016 en UNGRD, 2017).

**Alerta:** Estado que se declara con anterioridad a la manifestación de un evento peligroso, con base en el monitoreo del comportamiento del respectivo fenómeno, con el fin de que las entidades y la población involucrada activen procedimientos de acción previamente establecidos (Presidencia de la Republica, 2012)

**Análisis y evaluación del riesgo:** Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir.

(Presidencia de la Republica, 2012)

**Cables aéreos:** sistemas de transporte aéreo constituidos por cabinas colgadas de una serie de cables que se encargan de hacer avanzar a las unidades a través de las estaciones. (Metro de Medellín, 2015)

**Caracterización de escenarios de riesgo:** Es el proceso que busca conocer de manera general, las condiciones de riesgo de un territorio, enfatizando en sus causas y actores e identificando los principales factores influyentes, los daños y pérdidas que pueden presentarse, y todas las medidas posibles que podrían aplicarse para su manejo (UNGRD, 2017).

**Comunicación del riesgo:** Es el proceso constante y transversal que se realiza para proveer, compartir y obtener información y comprometer tanto a la comunidad, las instituciones y el sector privado en la gestión del riesgo de desastres (UNGRD, 2017).

**Conocimiento del riesgo:** Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia de este que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre (Presidencia de la Republica, 2012).

**Desastre:** Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las

condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción (Presidencia de la Republica, 2012).

**Elementos en riesgo:** Se incluyen la población, edificios, obras de infraestructura, actividades económicas, servicios públicos en el área potencialmente afectada por los deslizamientos.

**Emergencia:** Situación caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento adverso o por la inminencia del mismo, que obliga a una reacción inmediata y que requiere la respuesta de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general (Presidencia de la Republica, 2012).

**Estaciones:** Son instalaciones con plataforma donde los vehículos de pasajeros están autorizados comenzar y parar su marcha (Metro de Medellín, 2015)

**Exposición (elementos expuestos):** Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza (Presidencia de la Republica, 2012).

**Gestión del riesgo:** Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia de este, impedir o evitar que se genere (Presidencia de la Republica, 2012).

**Movimientos en masa:** Todo movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991 en UNGRD, 2017). Algunos movimientos en

masa son lentos, a veces imperceptibles y difusos; en tanto que otros pueden desarrollar velocidades altas. Los principales tipos de movimientos en masa comprenden caídas, deslizamientos, reptación, flujos y propagación lateral.

Por otra parte, es necesario aclarar que la erosión es la pérdida de suelo que puede llevar a un proceso de desertización que contribuye en la generación de eventos como movimientos en masa o inundaciones, pero no corresponde en sí a un evento amenazante (UNGRD, 2017).

**Operación comercial:** la operación comercial es el transporte de usuarios en las líneas de acuerdo con los horarios publicados (Metro de Medellín, 2015)

**Pilonas:** es el soporte del cable el cual está compuesto por un soporte metálico (poste) en el cual están instalados los balancines (Metro de Medellín, 2015)

**Prevención de riesgo:** Medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible (Presidencia de la Republica, 2012).

**Reducción del riesgo:** Es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevos riesgos en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas



en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera (Presidencia de la Republica, 2012).

**Riesgo:** Puede entenderse como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento, como consecuencia de la ocurrencia de un evento con alta intensidad”. (Cardona, 2001).

**Riesgo de desastres:** Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Presidencia de la Republica, 2012).

**SIMMA:** Sistema de Información de Movimientos en Masa (Servicio Geológico Colombiano), por el cual se registra, almacena, procesa y visualiza información sobre movimientos en masa.

**Susceptibilidad:** ofrece una medida de las posibles consecuencias negativas de los receptores de un desastre de acuerdo con sus características o valor social, por ejemplo, el valor monetario, el valor ecológico, las vidas humanas, las perturbaciones psicológicas, entre otras. (Apel, 2004). También es considerada como la propensión de los receptores a experimentar los daños por un desastre (Gouldby, 2005 en UNGRD, 2017).

**Vulnerabilidad:** Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños

de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Presidencia de la Republica, 2012).

El concepto de vulnerabilidad en el contexto de la gestión del riesgo de desastres es usado para determinar “los diferentes niveles de preparación, resiliencia y capacidades con las que cuenta un individuo ante la ocurrencia de un desastre” (Cannon et al, 2003 en UNGRD, 2017). Una persona puede ser más o menos vulnerable ante la ocurrencia de eventos críticos externos dependiendo en como el individuo administre sus activos tangibles e intangibles, y cómo estos pueden verse afectados ante la ocurrencia de un desastre. La vulnerabilidad social entonces, va más allá de la afectación de estructuras físicas, e incluye las diferentes características y capacidades de los individuos (UNGRD & IEMP, 2016 en UNGRD, 2017).

## 9. METODOLOGÍA

La metodología usada fue de tipo mixta, que según Teddlie & Tashakkori, 2008 señalan que los métodos mixtos constituyen una clase de diseños de investigación, en la que se emplean las aproximaciones cuantitativa y cualitativa en el tipo de preguntas, métodos de investigación, recolección de datos, análisis e inferencias; la metodología cuantitativa fue usada para la zonificación de la amenaza mediante la cual se realizó la caracterización geológica, geomorfológica, de pendientes, formaciones superficiales entre otros, y su posterior calificación para generar la susceptibilidad; con la población, se usó la metodología cualitativa para comprender su posición sobre el riesgo por movimiento en masa y su afectación a la comunidad.

### 9.1 AMENAZA

De acuerdo con los fenómenos amenazantes planteados por la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo se pueden presentar movimientos en masa por fenómenos de origen socio naturales. La zonificación de amenaza por movimiento en masa se realizó con base en lo dispuesto en el Decreto 1807 de 2014. Para el caso de estudio se realizó a una escala 1:2.000 que constituye una escala detallada, para efectuar dichos estudios se tuvo en cuenta la cartografía básica correspondiente a las unidades de geología, geomorfología, cobertura y uso del suelo

Además, se hizo un inventario de movimientos en masa y se corroboró el registro histórico a partir del sistema de información de movimiento en masa SIMMA. Con el inventario de los movimientos en masa levantado en campo se identificaron las características de los eventos, su distribución espacial, temporal y su relación con los factores

Los formatos que se usaron corresponden a los estándares del Servicio Geológico Colombiano para la evaluación de la amenaza para cada uno de los componentes (geología, geomorfología, cobertura y uso del suelo, formaciones superficiales).

Con la totalidad de la información se evaluaron las variables cualitativas como el inventario de procesos morfodinámicos (Movimientos en masa), la geología, geomorfología, suelos y cobertura, y variables cuantitativas, generadas a partir de la interpretación de un modelo digital de elevación, lo cual permitió generar el mapa de susceptibilidad, mediante un proceso jerárquico analítico y el posterior cruce temático para determinar la amenaza. (SGC, 2013).

## **9.2 CARACTERIZACIÓN, ZONIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS Y APROXIMACIÓN A LA VULNERABILIDAD**

Para determinar la exposición se tomaron los componentes de bienes y la población expuesta que pudiera verse afectada por un evento asociado a un movimiento en masa. Para realizar la caracterización de la exposición se identificaron los diferentes componentes individuales incluyendo su ubicación geográfica, sus características geométricas, físicas e ingenieriles, se realizó la valoración económica y se proyectó un número de habitantes por vivienda.

El cálculo del costo de las pérdidas esperadas por la materialización del evento de movimiento en masa en la estación Miraflores del Metro de Medellín, se basó en la siguiente metodología:

- Se estimó el cálculo de pérdidas económicas de las viviendas, dividiendo toda la zona de estudio por manzanas y cada manzana se evaluó por cada cara (cara A, B, C, D) como se muestra en la Figura 6. En los lados de la manzana, se revisó la

cantidad de viviendas, el tipo de material en el que se encuentran construidas, el valor aproximado de las viviendas y el número de habitantes por vivienda (Figura 11 y Figura 12). Otra característica que se tuvo en cuenta para estimar las pérdidas y la vulnerabilidad fue el número de pisos construidos en cada manzana.



Figura 11. Análisis de elementos expuestos a nivel del área de estudio.

Adaptada de *Google Earth, 2021*



Figura 12. Análisis de elementos expuestos caracterizando cada manzana.

Adaptada de *Google Earth*, 2021.

- Para determinar el valor de las viviendas se consultaron los datos catastrales en el POT de Medellín y fichas prediales catastrales, IGAC y en la federación colombiana de lonjas de propiedad raíz (Fedelonjas).
- Para identificar el material en el que están construidas las viviendas de la zona de estudio, se realizaron visitas de campo y se tomaron registros fotográficos aéreos. Se categorizó la tipología de la vivienda de acuerdo con su material (ladrillo, madera, cartón, bahareque, mampostería), para determinar el nivel de vulnerabilidad.
- Para calcular las pérdidas o afectación en vidas humanas se estimó un número de 5 habitantes en promedio por cada casa y se taso que en caso de ocurrencia de un evento se tendría una pérdida del 10% de los habitantes ubicados en la zona de

amenaza alta. La indemnización correspondiente a cada persona fue consultada con las aseguradoras, encontrando los siguientes factores para determinar dicho valor: Vida en relación, lucro cesante, daño emergente.

- Para identificar el tipo del uso del suelo y las características comerciales del sector se realizaron vistas de campo y la estimación de los costos se obtuvo mediante comunicación directa con los propietarios.
- Para el cálculo de las pérdidas esperadas de las instalaciones del Metro de Medellín, así como del valor de la unidad deportiva Miraflores, se tomaron los datos suministrados por la Empresa.
- Se utilizó la metodología propia del Metro de Medellín, para calcular las pérdidas esperadas por lucro cesante, con las siguientes variables (Tabla 1).

<b>Días totales de afectación</b>
<b>Usuarios que ingresan (por día)</b>
<b>Usuarios que dejan de ingresar</b>
<b>Disminución de ingresos (en pesos)</b>

Tabla 1. Datos usados para el cálculo del lucro cesante.

Elaboración propia.

### **9.3 PERCEPCIÓN DEL RIESGO EN RELACIÓN CON LOS MOVIMIENTOS EN MASA**

Con base en el objetivo específico 3, relacionado con la percepción del riesgo de la población habitante de la zona de estudio, se diseñó una encuesta que consta de 10 preguntas (Figura 13) y cuyo objetivo es: Conocer la percepción del riesgo que tiene la comunidad ubicada en la zona de influencia de la estación Miraflores de la línea M del Metro de Medellín, frente al riesgo por movimiento en masa.

### Modelo de encuesta para la comunidad

1. ¿Cuál cree usted que son los riesgos de desastres a los que se encuentra expuesta la zona?
2. ¿Conoces si en la zona donde vives se han presentado deslizamientos de tierra y dónde?
3. ¿Se vio afectado por esta emergencia?
4. ¿Cuál cree usted que son las principales causas que generan el riesgo de deslizamiento de tierra?
5. ¿Si se han presentado emergencias de deslizamiento en la zona que organizaciones atendieron la emergencia?
6. ¿Cuáles considera que son los actores y/o las instituciones que deben liderar la gestión de riesgos de desastres en la comunidad?
7. ¿Cree usted que se pueda presentar un deslizamiento de tierra en la estación Miraflores debido a la cercanía con la quebrada Santa Elena?
8. Si ocurre un deslizamiento en la estación Miraflores. ¿cree usted que puede afectar la comunidad?
9. ¿Siente temor que por las lluvias fuertes se pueda incrementar el riesgo de deslizamiento en la estación Miraflores?
10. ¿Qué tanto confía en la construcción y el mantenimiento de la estación Miraflores y su

Figura 13. Encuesta de percepción del riesgo.

Elaboración propia.

Para la aplicación de la encuesta se seleccionaron 21 líderes de la comunidad. Los cuales fueron convocados para socializarles el objetivo, alcance y metodología de la encuesta.

Posteriormente se diligenció el formato de la encuesta en sitio.



Se eligió el muestreo casual o incidental ya que el investigador seleccionó intencionadamente los individuos de la población, líderes de la comunidad debido al conocimiento previo que se tenía de ellos.

Los resultados obtenidos fueron analizados teniendo en cuenta las respuestas brindadas por las personas encuestadas y se definió un concepto de la percepción del riesgo que tiene la comunidad frente al riesgo de movimiento en masa.

Se tabularon los resultados de cada pregunta y se graficaron.

## **10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **10.1 AMENAZA**

Los movimientos en masa y procesos erosivos se caracterizan por provocar perjuicios económicos y la pérdida de vidas; en la ciudad de Medellín se han realizado estudios relacionados a la ocurrencia de movimientos en masa a escala 1:100.000 por el Servicio Colombiano geológico Colombiano, se han realizado estudios a nivel de unas cuencas por parte de la Corporación Autónoma de Antioquia Corantioquia y las investigaciones ejecutadas por las universidades como la Nacional, de Antioquia y EAFIT.

La zona de estudio involucra un tramo de la Quebrada Santa Elena, un tramo de la línea tranviaria de Ayacucho, la Estación Miraflores de la línea M del Cable aéreo, con sus respectivas las Pilonas 1 y 2. (Figura 14). El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo o de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. En la literatura científica se encuentran muchas clasificaciones de movimientos en

masa; la mayoría de ellas se basan en el tipo de materiales, los mecanismos de movimiento, el grado de deformación del material y el grado de saturación ((PMA:GCA), 2007)



Figura 14. Localización de la zona de estudio: Estación Miraflores, Pilonas 1 y 2, línea tranviaria de Ayacucho (color violeta), línea M del Cable aéreo Miraflores (Color naranja) y cauce actual de la Quebrada Santa Elena.

Adaptada de *Google earth*, 2021

Con el fin de lograr un mayor entendimiento de la zona donde se encuentra la Estación Miraflores y sus viviendas aledañas, se realizó la delimitación de la zona de estudio, la recopilación de la información y la fase de campo. Se tuvieron en cuenta variables como la geología, geomorfología, cobertura del suelo y formaciones superficiales. Se elaboró el modelo digital del terreno y se analizaron fotografías multitemporales de la zona de estudio a partir de google earth y ortofotos disponibles en la página web de la Alcaldía de Medellín (Alcaldía de Medellín, 2021).

### **10.1.1 GEOLOGÍA**

El área de interés se encuentra asentada en depósitos de vertiente tipo depósitos de flujos de lodos y/o escombros (NFI) provenientes de las laderas orientales del Valle del río Aburrá, depósitos aluviales y la unidad geológica denominada como Dunitas de Medellín (JKuM) y, asociados a la actividad de la quebrada Santa Elena. En este sector se identificaron básicamente dos procesos que tienen un grado de influencia alto sobre la vía tranviaria y sobre las pilonas del Cable aéreo de la línea M del metro de Medellín, correspondientes a un deslizamiento antiguo afectado por reptación y socavación de la quebrada mencionada a partir de la zona donde el trazado se hace adyacente a la quebrada Santa Elena.

A continuación, se describen en orden cronológico todas las unidades, desde las más antiguas a las más recientes.

#### **10.1.1.1 Marco Geológico Regional**

El marco geológico de la zona de estudio incluye las siguientes unidades: depósitos aluviales, depósitos de vertiente, Dunitas de Medellín, Migmatitas de Puente Peláez, Gabro de San Diego y el Stock de las Estancias de acuerdo con Rodríguez, et al, (2005); éstos se describen a continuación (Figura 15):

##### **10.1.1.1.1 Dunita De Medellín**

Conforman una faja en forma de cuña en dirección NNW, ubicada al oriente del Valle de Aburrá, la cual se extiende desde el sector de Las Palmas hasta el municipio de San Pedro

(Giraldo y Sánchez, 2004 en Rodríguez, et al, 2016). Se trata de una roca compuesta principalmente por olivino, con contenidos menores de cromita y magnetita; con alteraciones parciales a minerales del grupo de la serpentina, la roca se observa en color negro y verde oscuro a café cuando está meteorizada. Se observa un intenso fracturamiento que se hace más fuerte en cercanías a las zonas de contacto (GSM, 2002). Esta litología conforma las zonas de topografía más abrupta que se observan al oriente del Valle de Aburrá.

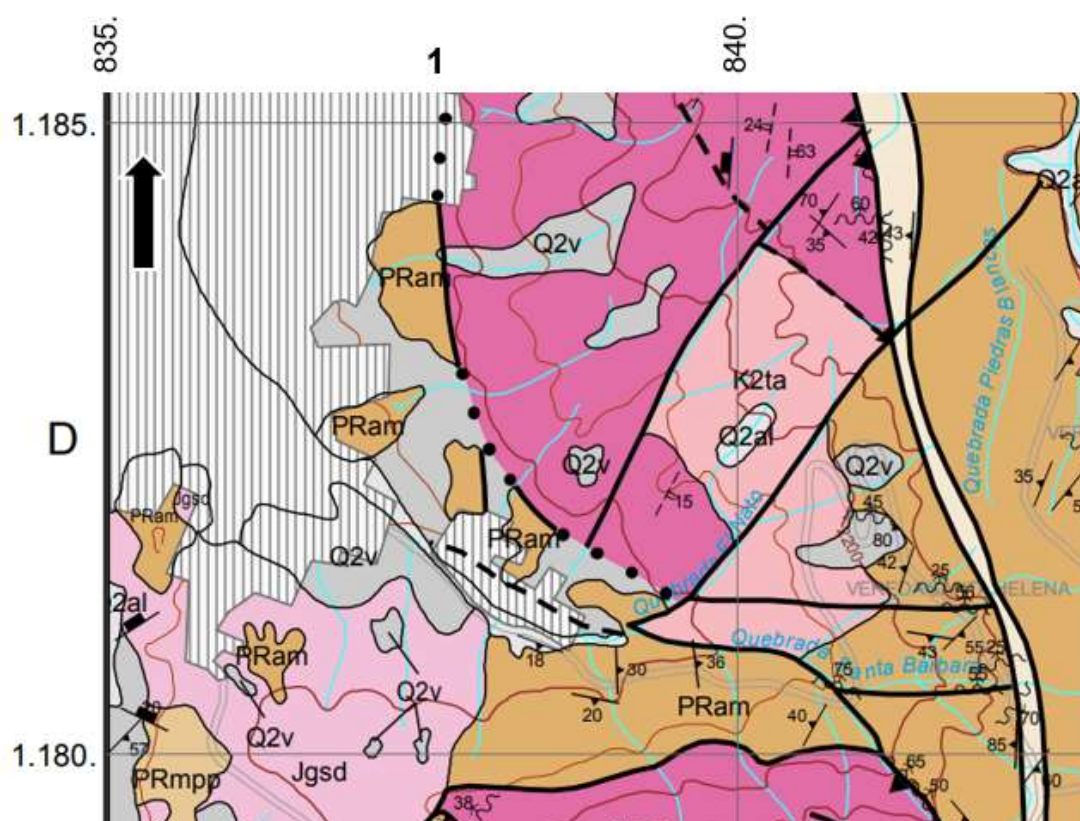


Figura 15. Mapa geológico de la Plancha 147 Medellín Oriental, escala 1:100.000.

Tomado de Rodríguez *et al*, 2005.

Esta roca por lo general se encuentra intensamente meteorizada. En zonas con pendientes entre moderadas y bajas desarrolla profundos perfiles de meteorización, cuya característica principal es su textura arcillosa, color rojo intenso, consistencia dura y la presencia de óxidos de hierro con hábitos botroidales y oolíticos (costras lateríticas). (GSM, 2002).

#### **10.1.1.1.2 Migmatitas de Puente Peláez (TRmPP)**

Esta unidad, que hace parte del grupo El Retiro, posee una litología predominantemente de neises, compuesta por cuarzo, feldespato y biotita. Aflora en la vía Las Palmas en límites con el municipio de Envigado y se encuentra intruida por un cuerpo gabroide y desarrolla perfiles de meteorización completos. (Rodríguez, et al, 2005).

#### **10.1.1.1.3 Gabro de San Diego (KgSD)**

Cuerpo plutónico de 6 km<sup>2</sup> de área aproximadamente, constituido por rocas ígneas básicas que varían composicionalmente desde dioritas hasta gabros. Como rasgo dominante esta unidad exhibe un avanzado proceso de meteorización, favorecido por las condiciones climáticas y topográficas en las que se encuentra enmarcado, desarrollando suelos residuales que pueden alcanzar hasta 45 m de espesor. Los suelos son predominantemente limoarcillosos variando a arenas minas, (GSM, 2006).

#### **10.1.1.1.4 Stock de Las Estancias (KcdE)**

Corresponde a cuerpos menores de granitoides que aunque separados geográficamente del cuerpo principal del Batolito Antioqueño, presentan características litológicas (tonalitas, granodioritas y dioritas), mineralógicas y texturales similares y una posición que hace suponer relación genética con éste. Este cuerpo presenta perfiles de meteorización de hasta 17 m que

corresponden a limos arenosos, de color entre amarillo rojizo y amarillo, moteado a gris y negro, (GSM, 2006).

#### **10.1.1.1.5 Depósitos de vertiente (Q2v)**

Acumulaciones detríticas heterogéneas no diferenciadas en la base de zonas con pendientes altas producidas por diferentes procesos erosivos o tectónicos. Incluye flujos de escombros, de talus (caída de rocas), de tierra y rocas, de tierra y localmente conos antiguos y coluviones. (Rodríguez, et al, 2005).

#### **10.1.1.1.6 Depósitos de vertiente (Q2al)**

Corresponde a gravas, arenas, limos y arcillas no litificadas en llanuras de inundación de ríos y quebradas, sujetas a inundaciones periódicas. (Rodríguez, et al, 2005).

#### **10.1.1.2 Geología Local**

A partir de los estudios los recorridos de campo en el área circundante a la estación Miraflores, se hizo un reconocimiento de las unidades litológicas que afloran a nivel regional y local. Afloran cinco unidades siendo la más antigua las Dunitas de Medellín y se delimitaron cuatro depósitos entre ellos de vertiente, de terraza y aluviales. Cerca del sitio se encuentran otras unidades litológicas con las Migmatitas de Puente Peláez, Gabro de San Diego y Stock de las Estancias, pero estas unidades no afloran en el área de estudio. (Figura 16 y Anexo 1).

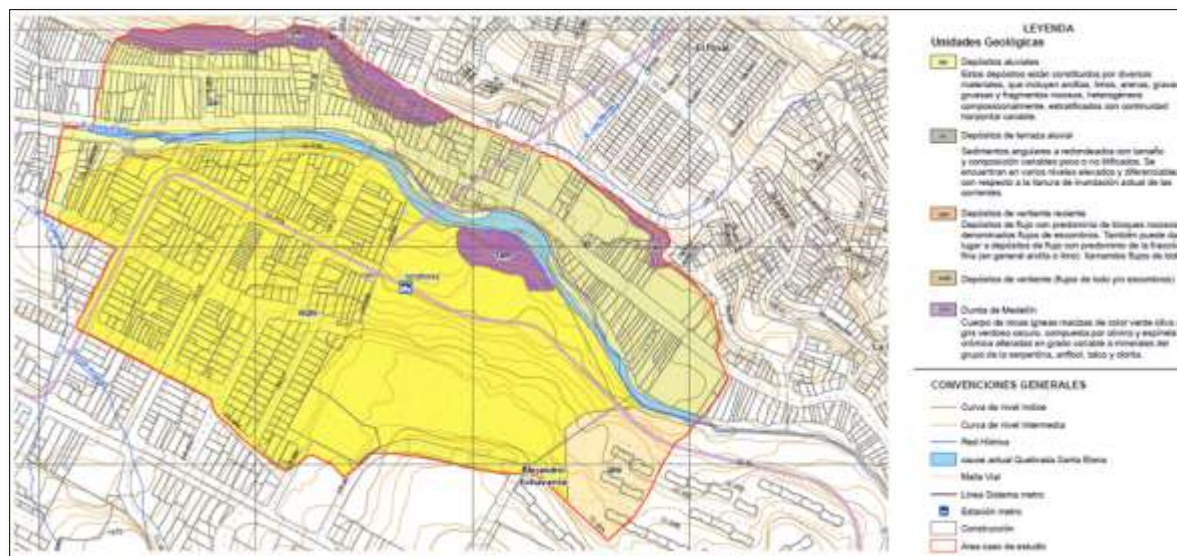


Figura 16. Mapa geológico de la Estación Miraflores y zonas aledañas.

Elaboración propia

### 10.1.2.1 Dunita de Medellín

Toma su nombre del municipio de Medellín, departamento de Antioquia, está localizada en el flanco occidental de la Cordillera Central, cruzando el Valle del Río Medellín, en dirección N10°W, desde el municipio de Envigado hasta el sur del municipio de San Pedro en la plancha 146 Medellín Occidental. Esta unidad no aflora continuamente, se encuentra fragmentada en tres cuerpos. Aflora al lado de la Quebrada Santa Elena, cerca de la Piloná 1 (Figura 17), y entre las calles 52 y 53. Hace parte del Complejo Ofiolítico de Aburrá, se caracteriza por ser una roca de textura afanítica, de color verde oliva a verde oscuro en estado fresco, que se aclara tomando tonalidades verdosas según su grado de meteorización. Esta roca se presenta con diferentes grados de serpentización.



Figura 17. Afloramiento de la Dunita de Medellín.

Fuente propia

Estructuralmente las dunitas y rocas derivadas, presentan un alto grado de fracturamiento que localmente llega a formar una brecha tectónica, es característica una foliación cataclástica definida por la orientación mineralógica donde se reconocen algunas venillas de carbonatos observados más fácilmente cuando la roca tiene un estado intermedio de alteración. Algunas diaclasas observadas en la quebrada presentan direcciones  $N58^{\circ}E/37^{\circ}W$  y  $N12^{\circ}W/65^{\circ}W$  (Figura 17), con una densidad de seis fracturas por metro, con las superficies de las fracturas planas, abiertas con separaciones de hasta 0,05 m, continuas, lisas sin relleno y secas.



En las zonas con altas pendientes abruptas 30°-40° los suelos son erodados continuamente manteniendo las rocas en estado relativamente fresco, en otras zonas cercanas como la estación del tranvía de Loyola ubicada a 500 metros de Estación Miraflores observa que las rocas de esta unidad se encuentran extremadamente meteorizadas asociadas a una pendiente plana a inclinada entre 0° y 20°, desarrollan perfiles profundos de meteorización, cuya característica principal es la textura arcillosa, color rojo intenso, consistencia dura y la presencia de óxidos de hierro.

### **10.1.2.2 Depósitos**

Corresponden a los depósitos del fondo del valle generados por la quebrada Santa Elena y algunos de sus afluentes principales. Se reconocen por generar una morfología relativamente suave, dispuestos en franjas irregulares siguiendo la trayectoria de las corrientes. Pueden ser de tipo aluvial o envolver una mayor dinámica de las corrientes y entonces se definen como aluviotorrenciales.

- **Depósitos de vertiente antiguos y recientes (NQfll)**

En el área de estudio se identifican depósitos de flujos de escombros, flujos de tierra, que hacen parte de los depósitos de vertiente de la quebrada Santa Elena. Estos depósitos, que se han generado por procesos de desestabilización de las vertientes debido a las altas precipitaciones o a eventos sísmicos que actúan sobre materiales descompuestos o muy fragmentados. Están constituidos por bloques heterométricos de distinto grado de alteración, en una matriz de arcillo limosa, limo arcillosa a limoarenosa. Los cuerpos se pueden separar en antiguos y recientes a partir de las geoformas asociadas.

Acorde a la descripción realizada por el grupo de sismología de Medellín (GSM, 2006) bajo esta denominación de depósitos no litificados se incluyen los deslizamientos y los flujos de escombros y/o lodos. Por sus espesores y grado de madurez es conveniente cartografiarlos como unidades geológicas independientes y no como formaciones superficiales. Los depósitos de deslizamiento son el producto de fenómenos de inestabilidad o movimiento en masa ocurridos en terrenos inclinados o vertientes, que fueron generados por una combinación de factores como la gravedad, el agua y la intervención humana, entre otras. Los flujos de escombros y/o lodos están constituidos por eventos que se presentan en varias generaciones, cuyos clastos presentan diferentes grados de meteorización. Son generados al producirse hacia las partes altas de las vertientes una saturación y pérdida de resistencia, lo que los hace más vulnerables a fenómenos tales como altas precipitaciones o movimientos sísmicos, (GSM, 2006).

- **Depósitos de terraza aluvial**

Corresponde a los depósitos aluviales localizados hacia las márgenes de la quebrada Santa Elena, como producto de la acumulación sobre la antigua planicie de inundación divagante, por efectos de la erosión, depositación e incisión fluvial, en épocas recientes y subrecientes. En estos depósitos los sedimentos se acumulan en forma escalonada a ambos lados del curso de la quebrada y se van profundizando con el tiempo, formando terrazas (Figura 18).

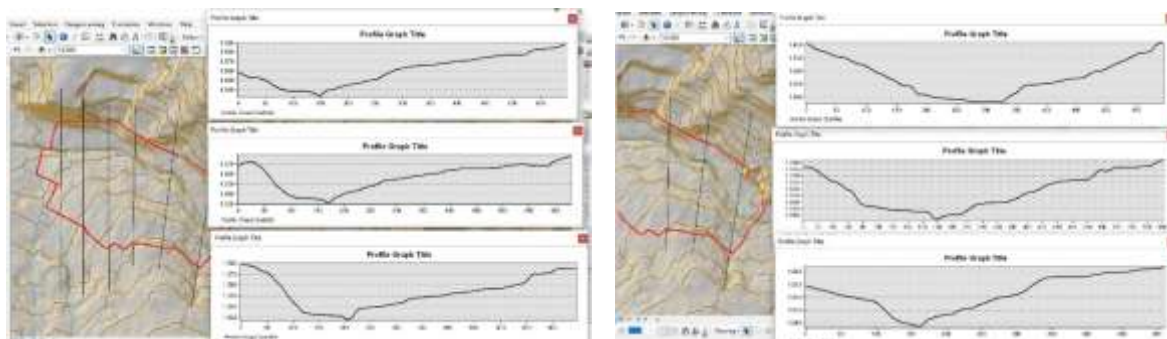


Figura 18. Perfiles de la zona de estudio donde se evidencia la forma escalonada de la pendiente.

*Elaboración propia*

Las geoformas asociadas a los depósitos de terraza son terrazas de erosión, terrazas de acumulación antigua y escarpes de terraza (SGC, 2013). Los materiales de los depósitos de terraza pueden ser variables desde muy gruesos hasta finos entre tamaño grava y arcilla, que reflejan épocas de alta y baja energía.

- **Depósitos Aluviales**

Se presentan sobre el fondo del valle de la Quebrada Santa Elena y sus afluentes principales, en las llanuras de inundación, como materiales de desborde y en terrazas aluviales de diferentes niveles, son producto de la erosión y depositación de materiales asociados a la dinámica de los ríos, tanto en épocas de gran caudal como en épocas secas, están constituidos, principalmente, por cantos, gravas y arenas (Figura 19). Desarrollan geoformas de superficies suaves, prácticamente planas, dispuestas en franjas irregulares que siguen las principales corrientes que drenan el río Aburrá. La geoformas asociadas a los depósitos de cauce y llanura aluvial son los cauces, barras, y planicie o llanura de inundación.



Figura 19. Depósitos aluviales de la quebrada Santa Elena constituidos principalmente por cantos, gravas y arenas.

Fuente propia.

### 10.1.1.3 Geología Estructural Regional

El marco estructural de la zona de estudio incluye tres fallas principales: Falla de Rodas, Falla La Acuarela, Falla Santa Elena, Fallas SW-NE (Figura 20), las cuales se describen a continuación:

- Falla de Rodas Ingeominas (2007) considera esta falla como el límite tectónico de la Dunita de Medellín, sobre las rocas metamórficas del Complejo El Retiro. Es una falla de cabalgamiento de ángulo bajo a subhorizontal. Se localiza aproximadamente a 15 km al sur de los municipios de Copacabana, Girardota y Barbosa y aproximadamente a 12 km al nororiente de los municipios de Caldas, Sabaneta, Envigado y La Estrella. Esta falla no presenta evidencias de actividad reciente por lo que su actividad se considera entre baja y nula (GSM, 2006).

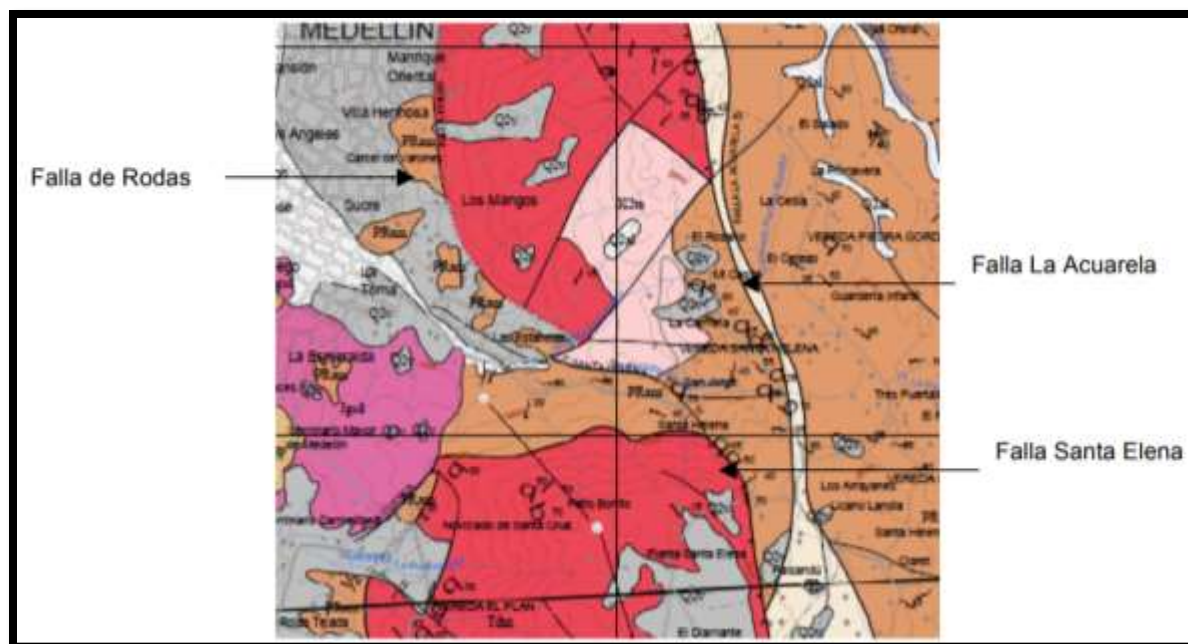


Figura 20. Marco estructural de la zona de estudio escala 1:100.000.

Tomado de *Rodríguez et al, 2005*.

- Falla La Acuarela: Ingeominas (2007) propone este nombre a la falla de rumbo de N-S a N-NW, con una longitud de 35 km y su continuidad hacia el norte con las trazas de falla del Sistema Belmira. Esta falla presenta una bifurcación y se presenta como dos trazas bien diferenciadas, desde la quebrada Las Palmas hasta la curva de Rodas sobre la vía Medellín-Bogotá. Estos autores la describen como una falla en cola de caballo con dos trazas que localmente alcanzan una separación mayor a 1,1 km. Geomorfológicamente esta falla presenta un fuerte cambio de pendiente, lineamiento de drenajes y una depresión entre las trazas con colinas elongadas en sentido N-S, esta falla presenta algunos indicios de actividad, (GSM, 2006).

- Falla Santa Elena Es una falla normal que desplaza verticalmente el plano de cabalgamiento de la dunita en aproximadamente 270 m, su buzamiento se encuentra entre  $55^{\circ}\text{N}$  y  $75^{\circ}\text{N}$ , de esta estructura no se conoce su grado de actividad ni estudios que permitan definir si

es una falla activa; se presume baja, (GSM, 2006). Adicional a lo anterior se presentan dos fallas paralelas, en con rumbo SW-NE que seccionan un cuerpo intrusivo del batolito antioqueño, de las cuales no se tienen estudios.

### **10.1.2 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL**

La zona de estudio se emplaza en la zona baja de las vertientes del costado centro-oriental del Valle de Aburrá, pertenecientes a la cuenca de la quebrada Santa Elena. De acuerdo a estudios del GSM, 2006 la evolución geomorfológica del área y en general del Valle de Aburrá, se encuentra ampliamente influenciada por la dinámica de vertientes que está controlada por procesos tectónicos y erosivos. En dicho estudio se presentan evidencias que respaldan el origen tectónico del Valle de Aburrá y sus implicaciones en la evolución geomorfológica del mismo, se tienen drenajes los cuales en su mayoría presentan evidencias de control estructural ejercido por el Sistema de Fallas de Cauca Romeral en dirección N-S.

También se debe considerar el factor antrópico dentro de la conformación del relieve actual de la zona ya que ha dado origen a movimientos de masa ocurridos dentro de la cuenca con pérdidas económicas y humanas, detonados en la mayoría de los casos por asentamientos urbanos en las partes altas de las vertientes y la ocupación de cauces, incrementando los niveles de riesgo y vulnerabilidad.

Para realizar los estudios de geomorfología se revisaron imágenes de satélite y de google earth multitemporales, delimitación de subunidades, identificación de movimientos en masa y procesos erosivos mediante visitas de campo, información geotécnica y geofísica de la zona.

A 2 kilómetros del área de interés se presentó el deslizamiento de Villatina en 1987

(Bustamante, M. 1990.), el cual provocó más de 500 muertes y numerosas pérdidas económicas, sobre la misma cuenca de la Quebrada Santa Elena donde se encuentra la zona de estudio.

Específicamente la quebrada Santa Elena responde a un control tectónico que se refleja tanto en los cambios bruscos en su curso como en las variaciones de pendiente de su perfil longitudinal.

En la zona de estudio se presentan tres tipos de ambientes geomorfológicos: fluvial estructural y denudacional (Anexo 2).

### 10.1.2.1 Ambiente estructural

Se encuentra restringido a la geoforma relacionada con unidad geológica de las Dunitas de Medellín, entre las calles 52 y 53 (Figura 21).

#### Ladera estructural (Se)

Superficie en declive, de morfología regular, definida por planos preferentes y diaclasamiento a favor de la pendiente del terreno. Esta subunidad presenta pendientes muy inclinadas (20-30°) y abruptas (30°-40°), con longitud corta a moderadamente larga.

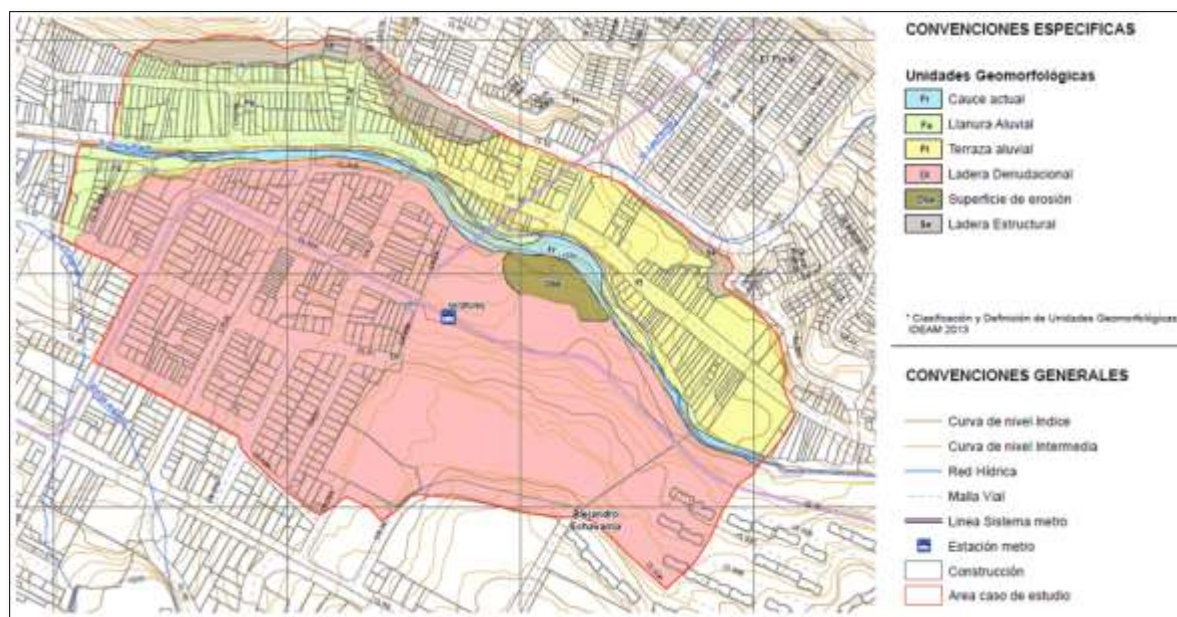


Figura 21. Mapa geomorfológico de la zona de estudio

Elaboración Propia.

### **10.1.2.2 Ambiente denudacional**

La disección de los paisajes por los procesos exógenos se manifiesta en procesos erosivos hídricos y gravitatorios o una combinación de los dos (Ideam, 2013). Se presentan dos tipos de unidades superficie de erosión (Dse) y ladera denudacional (Dle) (Figura 21).

#### **Superficie de erosión (Dse)**

Superficie con morfología recta y cóncavas, corresponde a una superficie del terreno con pendientes muy inclinadas (20-30°) y abruptas (30°-40°), de longitud corta. Asociado al afloramiento de la unidad geológica Dunitas de Medellín sobre la Quebrada Santa Elena.

#### **Ladera denudacional (Dle):**

Superficie con morfología recta y cóncava, corresponde a una superficie del terreno con pendientes que van de planas a muy inclinadas (Figura 22), siendo en su mayoría planas (0° a 30°), de longitud moderada a larga, patrón de drenaje dendrítico a subparalelo, con alturas que varían de 1530 a 1580 m.s.n.m. Presenta un movimiento en masa antiguo y una zona con reptación en la actualidad. Esta ladera se clasificó como denudacional por las características de pendiente y tipos de depósitos que se presentan.





Figura 22. Unidades de origen denudacional (Dse) y (DeI)

Fuente Propia.

### 10.1.2.3 Ambiente fluvial

Se presentan tres subunidades geomorfológicas:

#### **Llanura aluvial (Fa)**

Corresponde a superficies planas en su mayoría varía en alturas desde 1526 hasta 1540 m.s.n.m, con longitudes cortas a moderadas, presenta una disección moderada. Esta subunidad en su mayoría asocia a una de las terrazas recientes de la Quebrada Santa Elena, A nivel de unidad litología afloran depósitos aluviales.

#### **Terraza aluvial (Ft)**

Superficie plana a suavemente inclinada, remanente de terrazas sub-recientes de morfología ondulada, disectadas (Figura 23). Corresponde a superficies planas en su mayoría varía en alturas desde 1540 hasta 1560 m.s.n.m. Asociada a sedimentos angulares a redondeados

con tamaño y composición variables poco o no litificados. Se encuentran en varios niveles elevados y diferenciables con respecto a la llanura de inundación actual de las corrientes.



Figura 23. Unidades de origen fluvial (Ft)

Fuente Propia.

### **Cauce actual (Fa)**

Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales con superficies inclinadas, dentro de macizos rocosos y/o depósitos aluviales. Los cauces rectos se restringen a valles estrechos en forma de V, generalmente relacionados al control estructural de fallas o diaclasas.

### **10.1.3 FORMACIONES SUPERFICIALES**

Las formaciones superficiales en la zona de estudio se componen de dos tipos de materiales: saprolito o roca moderadamente fresca producto de la descomposición de rocas de las

dunitas de Medellín, los suelos asociados a los diferentes depósitos de vertiente, de terraza y aluviales y por último los llenos y/o explanaciones antrópicas (Anexo 3).

A continuación se presenta el perfil de meteorización típica de la Dunita de Medellín (Tomado de Rodríguez, 2016), (Figura 24):

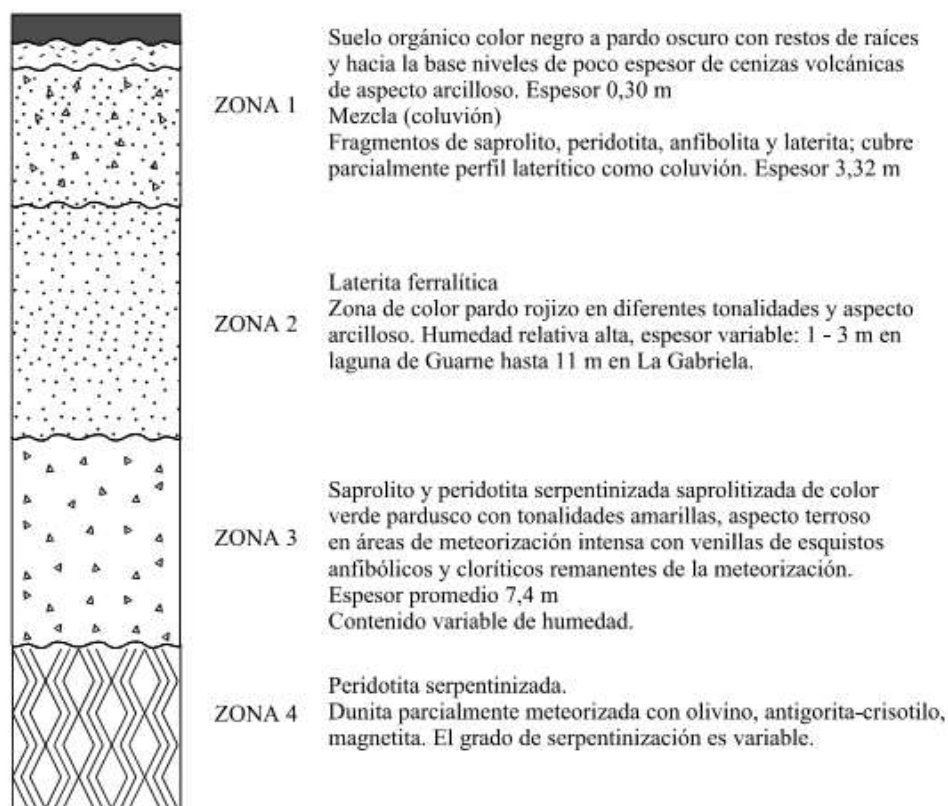


Figura 24. Perfil de meteorización en la Dunita de Medellín.

Tomado de Rodríguez, et al, 2016.

Localmente los depósitos de vertiente están compuestos por flujos de lodos y escombros, algunos de ellos recubren las trazas de fallas que ya se encuentran identificadas y otras propuestas en estudios como la microzonificación sísmica.

### **Suelos de Depósitos de flujos de lodos y/o escombros:**

Es la formación superficial predominante en el área de estudio y está conformada por una serie de depósitos de flujo, ocupando primordialmente la margen izquierda de la quebrada Santa Elena (Figura 25). De acuerdo con las observaciones de campo se describe este depósito con una matriz limosa con coloración café, humedad media, plasticidad media y consistencia baja; presenta fragmentos con tamaños variados y formas subredondeadas; corresponden a gabros, anfibolitas y dunitas. La relación matriz/bloques es de 70/30. Aunque este depósito presenta espesores variados, en el área de la Estación Miraflores presenta un espesor mayor a 15,00 m.

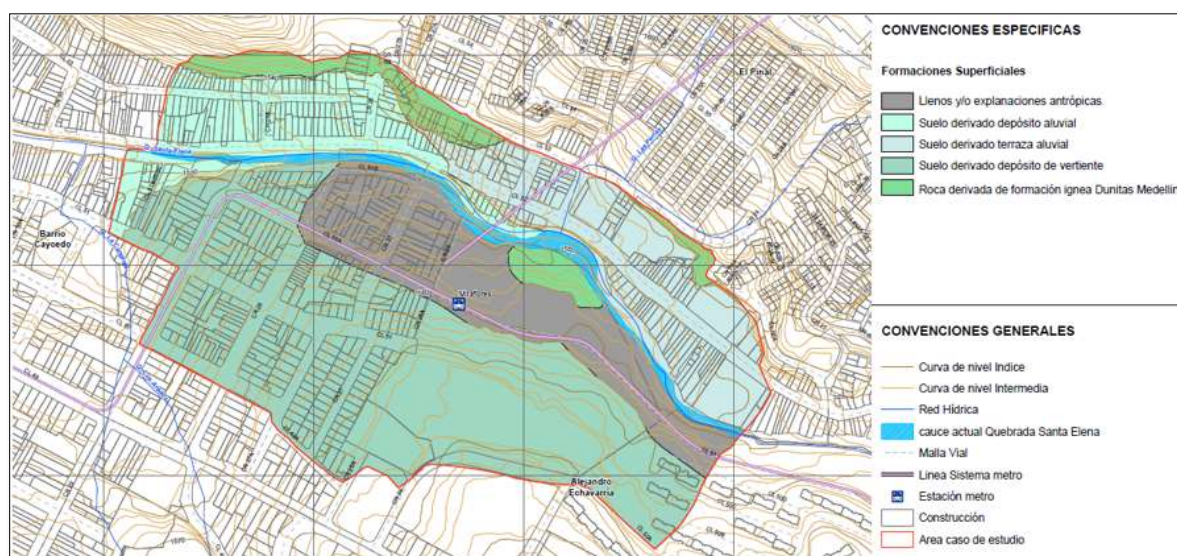


Figura 25. Mapa de Formaciones superficiales de la zona de estudio.

Elaboración propia

### **Suelos derivados de Depósitos aluviales:**

Sobre el cauce activo de la quebrada Santa Elena, aparecen llanuras aluviales pequeñas y estrechas junto con fragmentos de roca con tamaños variados. Estos cubren parcialmente los depósitos de flujos de lodo y/o escombros. Están conformados por una matriz de coloración

grisácea, con tamaños limosos con fracciones limo-arenosas y fragmentos de roca de hasta 2,00 m de diámetro, formas sub-redondeadas conformadas principalmente por anfibolitas y/o dunitas.

### **Llenos Antrópicos:**

Los llenos y explanaciones antrópicos son el resultado del proceso urbanístico que se presenta en las comunas Buenos Aires y Villa Hermosa. A continuación se presenta el perfil de las obras de estabilización (Metro de Medellín, 2015) y llenos realizados en la Estación Miraflores en ambas márgenes (Figura 25 y Figura 26).

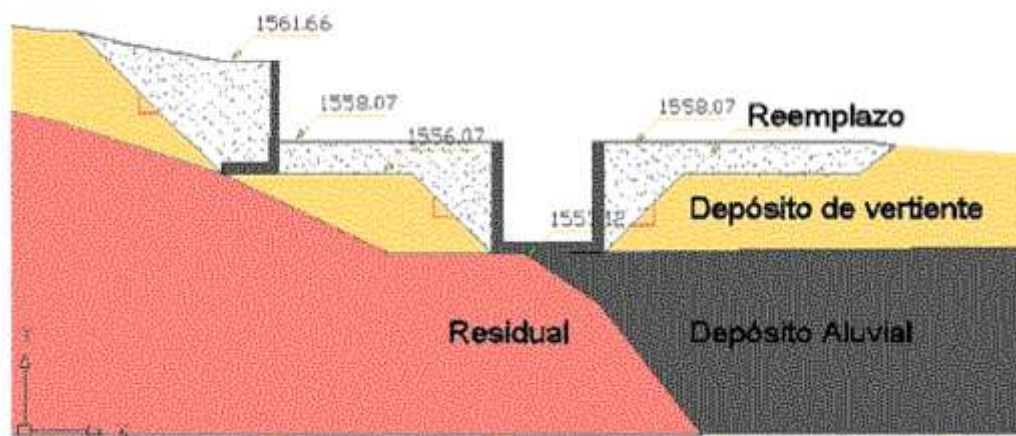


Figura 26. Estado final de la solución Estación Miraflores.

Tomado de *Metro de Medellín, 2015*.

La intervención del hombre en el área de estudio es importante ya que al igual que los llenos para obras de estabilización y de infraestructura vial, también se han utilizado para cimentar las viviendas. Estos llenos se describen como materiales limo-arenosos con fragmentos de tamaño grava.

### 9.1.3.1 Líneas de refracción

Durante el proceso de estudios y diseños para la estación Miraflores de la Línea M del Metro de Medellín se llevaron a cabo estudios de exploración del subsuelo mediante un contrato con Integral Ingenieros consultores que dentro de sus objetivos tenía realizar líneas de refracción sísmica que permitieran conocer datos del subsuelo en el sitio donde se llevaría a cabo la construcción de la Estación Miraflores. De dicho contrato se recopilaron y analizaron dos líneas sísmicas LSM-01A y LSM-02, para efectos del presente estudio solo se relacionará una de las líneas ya que sus resultados son semejantes.

#### Línea 01A – Miraflores

La interpretación de la línea de refracción sísmica LSM-01A, muestra la aparición de dos superficies de refracción (interfases), correspondientes a tres (3) materiales con velocidades de propagación de onda P (Metro de Medellín, 2015) diferentes que determinan comportamientos mecánicos distintos (Figura 27).

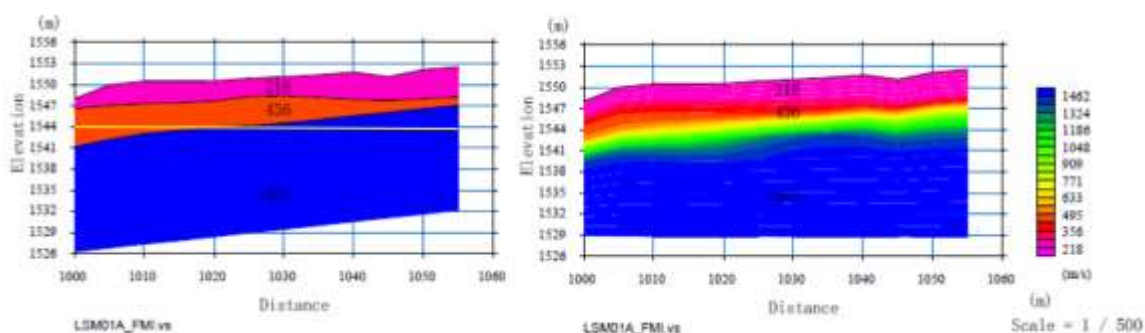


Figura 27. Línea de refracción sísmica LSM-01A Miraflores.

Tomado de *Metro de Medellín, 2015*.

La interpretación de la variación de velocidades de onda P en el subsuelo de la línea de refracción sísmica LSM-01A: Izquierda, modelo de capas interpretadas con velocidades calculadas (la línea amarilla corresponde a la cota de fundación). Derecha, tomografía sísmica de onda P con distribución de velocidades. Para identificar los materiales geológicos asociados a estos cambios en los comportamientos mecánicos en el subsuelo, se realizó la correlación con el perfil estratigráfico observado en las excavaciones realizadas en el sitio y la perforación P2 de 10,00 m ejecutada para los diseños anteriores por INTEINSA, la cual se encuentra cerca del área de la estación Miraflores. La distribución de velocidades observadas en el subsuelo (Figura 27) indican una variación lateral importante de los espesores, principalmente en la capa intermedia identificada en color naranja, mostrando mayor espesor en el inicio de la línea (parte izquierda de la imagen) con un máximo de 4,00 m, el cual se va reduciendo hasta un mínimo de 1,00 m en el final de la línea; las otras capas mantienen un espesor regular a lo largo de la línea.

Con base en la correlación realizada con la perforación P2 y la posterior inversión de los datos (tratando de simular las condiciones naturales), se interpretan entonces cuatro (4) materiales distintos como puede verse en la (Figura 28) con la siguiente descripción:

Interpretación de la variación de velocidades de onda P en el subsuelo de la línea de refracción sísmica LSM-01A. Tomografía sísmica de onda P con distribución de velocidades para tres (3) interfases con inversión (la línea café indica la cota de cimentación). En la Tabla 1 se presenta el resumen de la distribución aproximada de materiales en el subsuelo (Metro de Medellín, 2015). En la Figura 28 se observa los materiales en la Estación Miraflores, las velocidades de propagación en los dos estratos identificados, estimadas con base en el tiempo de

llegada de las ondas sísmicas registradas por los geófonos (domocronas) y clasificación de perfiles de suelo en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente 2010 (NSR-10).

Tabla 2. Distribución aproximada de materiales en el subsuelo y sus velocidades.

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Nombre del estrato	Nombre geológico
0-2.50	218	Capa 1	Lleno antrópico
2.50-6.00	430	Capa 2	Depósitos de flujos de lodos y/o escombros
6.0-8.0	900	Capa 3	
>8.0	1460	Capa 4	

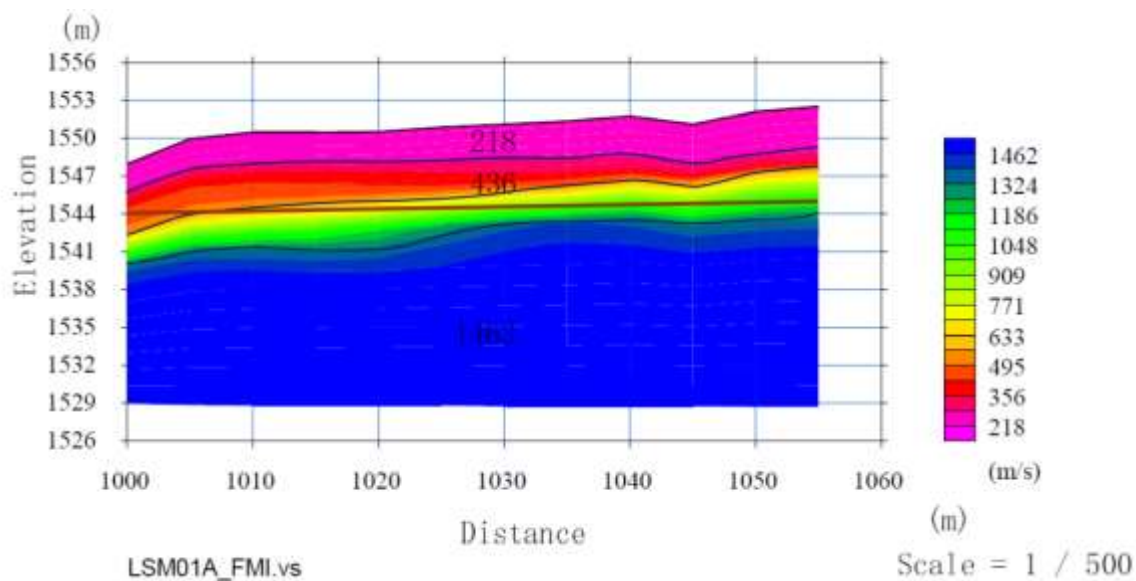


Figura 28. Interpretación de los materiales en la Estación Miraflores.

Tomado de *Metro de Medellín*, 2015.



### 10.1.4 COBERTURA

De manera general en la zona de estudio se tienen tres tipos de cobertura: zonas urbanizadas, bosques de galería y bosques secundarios. Para determinar la coberturas y uso del suelo se revisó una ortofoto de la Alcaldía de Medellín, 2021 y se verificó en campo (Anexo 4).

El tipo de cobertura vegetal y el uso del suelo influyen en la estabilidad del terreno, mediante mecanismos hidrológicos que influyen en la capacidad de infiltración en el suelo y la humedad del mismo (IDEAM, 2013).

#### 10.1.4.1 Zonas urbanizadas

Incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellas que configuran un tejido urbano (Figura 29), el uso actual corresponde en su mayoría a residencial y comercial.

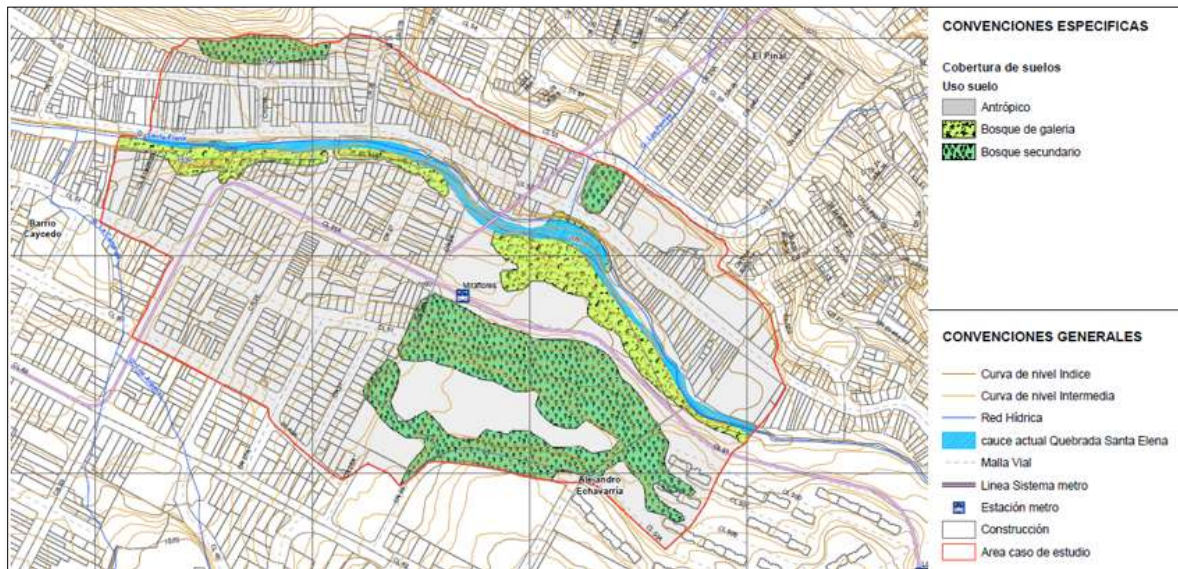


Figura 29. Mapa de Cobertura del suelo.

Elaboración propia

#### **10.1.4.2 Bosque natural o de galería**

Comprende las áreas naturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas, en la zona se limitan a la Quebrada Santa Elena y son bosques dispersos o abiertos (Figura 30), su uso actual debe ser de protección.

#### **10.1.4.3 Bosque seminatural o de galería**

Comprende las áreas seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Comprende las unidades de Bosque fragmentado con pastos y cultivos, Bosque fragmentado con vegetación secundaria y ripario, su uso actual debe ser de protección.



Figura 30. Bosque natural o de galería a los lados de la Quebrada Santa Elena.

Fuente propia.

#### **10.1.5 MOVIMIENTOS EN MASA**

Un movimiento en masa es el proceso por medio del cual un volumen de material constituido por roca, suelo, escombros o una combinación de cualquiera de estos, se desplaza por una ladera o talud por acción de la gravedad. Suele ser conocido también como: fenómeno de remoción en masa, proceso de remoción en masa, derrumbe, deslizamiento, falla de talud, entre otros (SGC, 2016).

En la zona de estudio el relieve ha sido modelado por procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre. Si por una parte el levantamiento tectónico forma montañas, la meteorización sumada a otros factores detonantes (sismo, lluvia, acción del hombre) actúa sobre las laderas para desestabilizarlas y cambiar el relieve a una condición de planicie (Portilla, 2012 en SGC, 2016). Para identificar y caracterizar los eventos los movimientos en masa y procesos morfodinámicos se realizó una revisión de información y se realizaron recorridos en campo.

Se describen a continuación los procesos morfodinámicos identificados en el sector que repercuten sobre la estabilidad de las obras que contempla. Estos procesos se localizan en el Anexo 5.

Los principales tipos de procesos de movimientos en masa que se identificaron en la cuenca tienen que ver con flujos, deslizamientos rotacionales y eventuales caídas principalmente.

- **Flujos**

Un flujo es un movimiento espacialmente continuo en el cual las superficies de cizallamiento son temporales, estrechamente espaciadas y usualmente no preservadas. En campo se identificaron dos zonas con este fenómeno: en la margen izquierda de la quebrada Santa Elena, en el tramo comprendido entre la carrera 27 y la carrera 24, que corresponde un flujo

lento (se da cuando el suelo tiene bajo contenido de agua) que se está potencializando por un efecto de socavación lateral del cauce de la quebrada.

- **Deslizamientos**

Un deslizamiento es un movimiento ladera debajo de una masa de suelo o roca que ocurre de forma dominante sobre superficies de ruptura o zonas relativamente delgadas de intensa deformación cortante. En la zona se presentan en el punto de intersección entre la carrera 29 y la quebrada Santa Elena,

- **Socavación**

Es un fenómeno común en toda la quebrada Santa Elena, que se da principalmente en zonas donde existen cambios bruscos en la dirección de la quebrada o donde la velocidad de flujo de la misma aumenta. En general, se encuentra afectando los depósitos de vertiente que llegan a la misma y los aluviales recientes y antiguos ubicados en el cauce.

- **Reptación**

La reptación consiste en movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie de falla definida. Los desplazamientos verticales varían entre pocos centímetros hasta varios metros; los desplazamientos horizontales son de pocos centímetros al año y afectan grandes áreas, comúnmente con pendientes bajas a intermedias (Suárez, 1999).

Este fenómeno se da sobre un antiguo deslizamiento que cubre la vertiente de la margen izquierda de la quebrada Santa Elena aguas abajo. Este es un proceso que afecta la mayor parte del área de estudio y se considera el más crítico por los grandes esfuerzos que genera y porque su avance puede desencadenar la reactivación del flujo. Este proceso el cual se manifiesta en una gran zona de deformación, es favorecido por el mal manejo del drenaje y la morfología cóncava

de las laderas, que favorecen las acumulaciones e infiltraciones de aguas. Las manifestaciones de este proceso en el área se observaron en la urbanización Loyola y en el Parque Miraflores. En la urbanización Loyola se presentan como expresiones de reptación, cunetas desplazadas y deformación y agrietamientos en andenes (Figura 31).



Figura 31. Agrietamientos en andenes en la urbanización Loyola.

Fuente propia.

En el parque Miraflores la reptación se refleja en afectaciones a la infraestructura tales como: muros de contención fallados y con volcamiento, cunetas desplazadas, agrietamientos en el camino adoquinado que atraviesa el parque y el en sendero en concreto (Figura 32) y desplazamientos del muro de cerramiento a la altura de la calle 50.



Figura 32. Unidad deportiva Miraflores presenta árboles inclinados y muro fallado.

Fuente propia.

Con el fin de realizar obras de estabilización que llevaran a la reducción del riesgo la Empresa de Transporte Masivo Del Valle De Aburrá Ltda - Metro de Medellín Ltda solicitó durante el año 2020 el permiso de ocupación de cauce para intervenir un tramo de la quebrada Santa Elena, a la altura de la calle 51B entre carreras 28 y 26, contiguo a la estación Miraflores del Cable Línea M (Figura 33).



Figura 33. Socavación de la quebrada Santa Elena, que afecta la Estación Miraflores y la Pilona 1.

Fuente propia.

La socavación es un fenómeno común en toda la quebrada Santa Elena, que se da principalmente en zonas donde existen cambios bruscos en la dirección de la quebrada o donde la velocidad de flujo de la misma aumenta. En general, se encuentra afectando los depósitos de vertiente que llegan a la misma y los aluviales recientes y antiguos ubicados en el cauce.

Para dar solución a la problemática existente en el talud de la margen izquierda y dar protección a la pilona, al apoyo izquierdo del puente y a la plataforma, se realizó la construcción de un muro en bolsacretos que empalmó en el punto donde comienza el denominado patio de maniobras con un muro apoyado en pilas (Figura 34). Los bolsacretos, con una llave de fondo adecuada para los niveles de socavación determinados, ayudan a solucionar una potencial inestabilidad del lleno antrópico y en general de la margen izquierda de la quebrada Santa Elena.



Figura 34. Construcción del muro en bolsacretos como medida de reducción del riesgo para la Pilona 1 y la Estación Miraflores. Fuente propia.

A través del sistema de alertas del Metro de Medellín se ha recibido información sobre daños a la red tranviaria de Ayacucho por efectos de la socavación de la quebrada Santa Elena en la estación Loyola, ubicada a 200 metros del área de estudio, y como se ha evidenciado durante el mes de abril y mayo del presente año han sido numerosos daños en la línea A del Metro en la inter estación entre Acevedo y Madera, donde fue necesario cerrar al público por varios días el tramo que va desde la estación Acevedo hacia Madera, para realizar las obras de emergencia que permitieran ponerlos nuevamente en servicio, lo que afectó la operación del sistema con respecto al tiempo.

A partir de la experiencia de la atención de las emergencias a la Empresa Metro de Medellín le convendría aumentar el personal del área de riesgo público y convivencia ciudadana que es el encargado de hacer recorridos continuos a sus estructuras, sus líneas tranviarias, ferroviarias y revisar esa infraestructura que es sensible al contacto con las quebradas como Santa Elena, La Hueso y el mismo Río Aburrá (Medellín).

### **10.1.6 MODELO DIGITAL DE TERRENO**

El modelo digital de terreno representa la forma del terreno luego de remover todos los elementos que no hacen parte de él, como viviendas, edificaciones, vegetación. Se utilizaron curvas de nivel 1:2000 para mejor detalle (Figura 35 y Anexo 6).



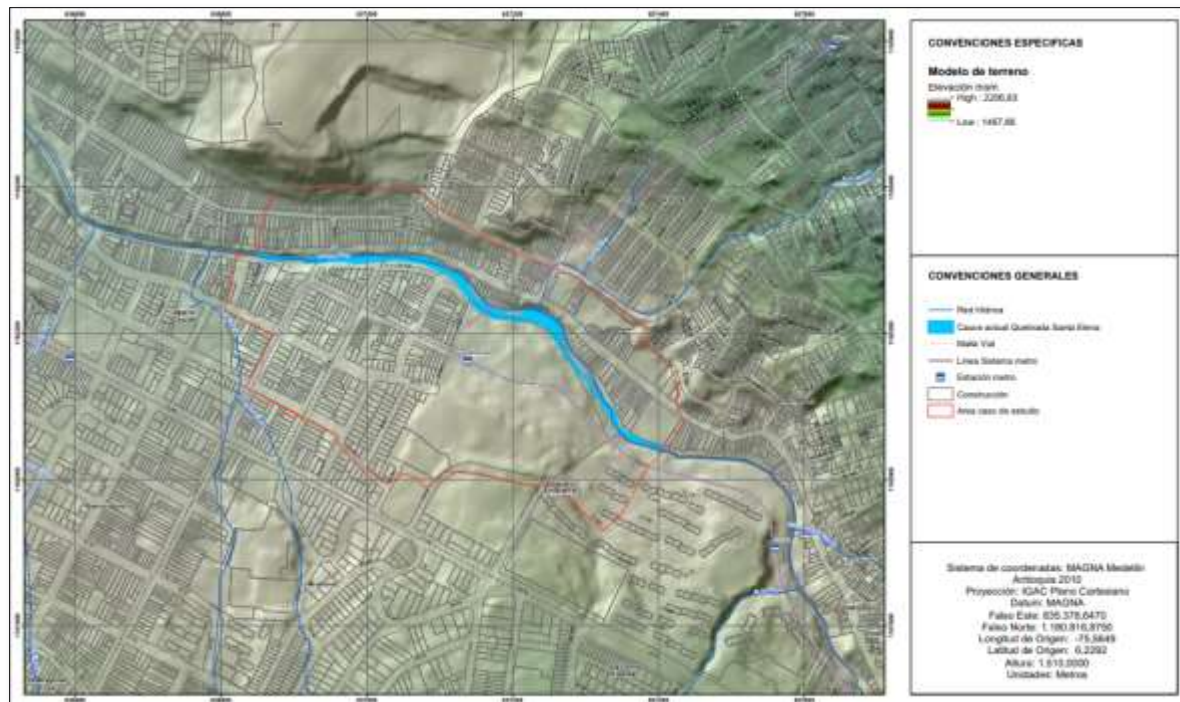


Figura 35. Bosque natural o de galería a los lados de la Quebrada Santa Elena. Elaboración propia.

### 10.1.7 PENDIENTES

Con este mapa temático se busca representar mediante colores el territorio, teniendo en verde oscuro las zonas más planas; en naranja y rojo las zonas con ángulos más fuertes.

Las zonas con pendientes abruptas y muy abruptas se encuentran asociadas a la Quebrada Santa Elena y a la Unidad geológicas Dunitas de Medellín (Figura 36 y Anexo 7)



Figura 36. Bosque natural o de galería a los lados de la Quebrada Santa Elena. Elaboración propia.

### 10.1.8 RED HIDRICA Y RETIROS DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA SANTA ELENA

Limita al norte con las cuencas de las quebradas El Ahorcado, El Molino y parte de Piedras Blancas, por el oriente con la cuchilla La Gulupera, al Sur con el municipio de Envigado y las cuencas de las quebradas La Presidente y La Poblada y al occidente con el río Medellín (Figura 37). El área total de la cuenca es de 45.61 Km<sup>2</sup> de los cuales el 74.95% pertenece a zona rural y el 25.05% a zona urbana. (AMVA, 2017).

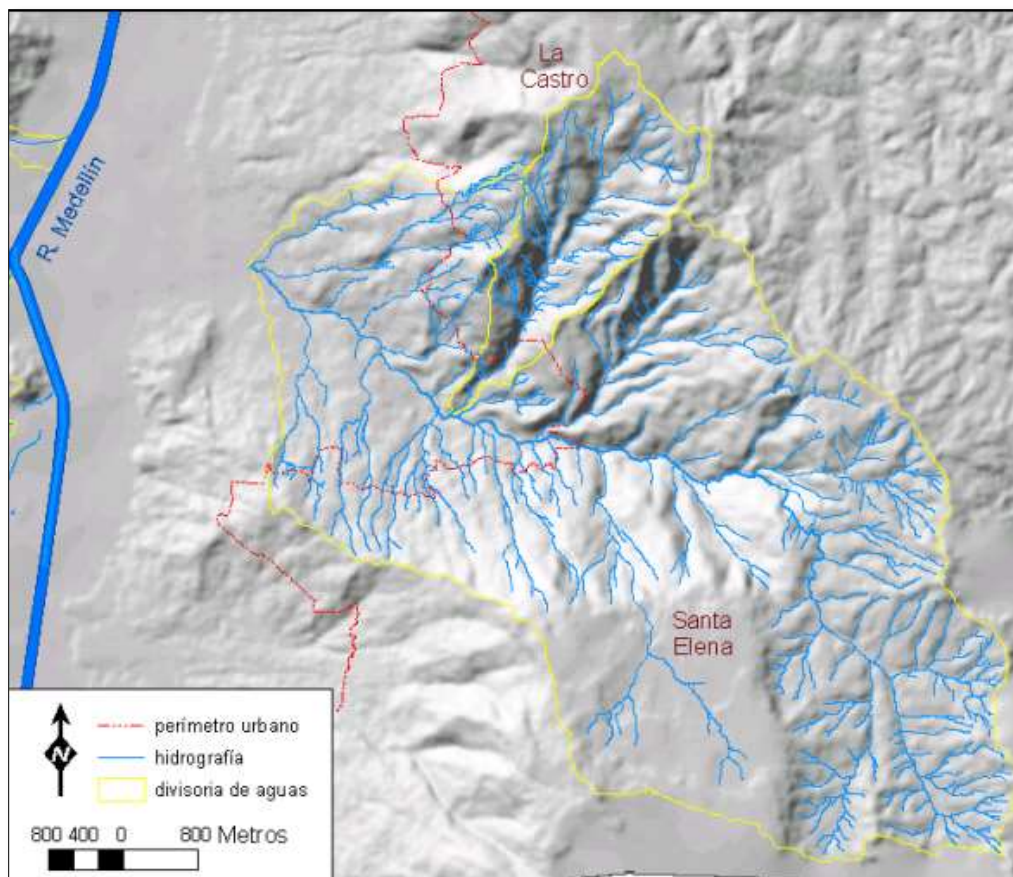


Figura 37. Ubicación de la Cuenca de la Quebrada Santa Elena. Tomado de AMVA, 2017.

Este cuerpo de agua, que es uno de los principales afluentes del río Aburrá, tiene una longitud del cauce principal de 15,40 km, y según el AMVA, (2017), presenta problemas de uso desordenado del suelo y de los recursos conexos como son el agua, la vegetación y la fauna. Entre sus principales afluentes están La Castro, El Nato (Santa Lucía, Cascada), La Loca, Santa Bárbara, El Chiquero, Gallinaza, por su vertiente norte; y San Pedro, La Espadera, Mediagua, La Pastora, La India y La Cangreja, por su vertiente sur en la cual se encuentra localizado el Tranvía de Ayacucho.

Nace en el Cerro Espíritu Santo en la cota 2620 msnm y luego de un recorrido de 14.43 Km desemboca en el río Medellín en la cota 1457 msnm. La longitud del cauce hasta la entrada del box-couvert es de 12.08 Km a una altura de 1505 msnm. La parte alta entre las cotas 2720 y 2250 corresponde a una antigua superficie de erosión y posee pendientes entre el 20% y el 30%. La topografía es suave y los cañones de la quebrada son uniformes. En general, la tasa de erosión es baja (James, 1988 en AMVA, 2017).

La parte media alta corresponde a la franja ubicada entre las cotas 2520 msnm y 1850 msnm, caracterizada por ser la parte más abrupta de la cuenca. La vertiente sur presenta serpentinita de grano fino y fracturada. Las altas pendientes y precipitación favorecen los eventos torrenciales y facilitan los movimientos en masa tales como los deslizamientos rotacionales y las caídas de bloques de roca. La parte media abarca desde la cota 1850 msnm hasta la 1540 msnm con un rango de pendiente entre 30% y 40%. Sobre las laderas se localizan numerosos depósitos de flujos de lodo y escombros meteorizados que llegan hasta los depósitos aluviales y torrenciales (Figura 38). Se reporta reptación y movimientos de masa debido a la filtración de aguas subterráneas. La parte baja comprende desde la cota 1540 msnm hasta la desembocadura de la Santa Elena en el río Medellín. (AMVA, 2017)

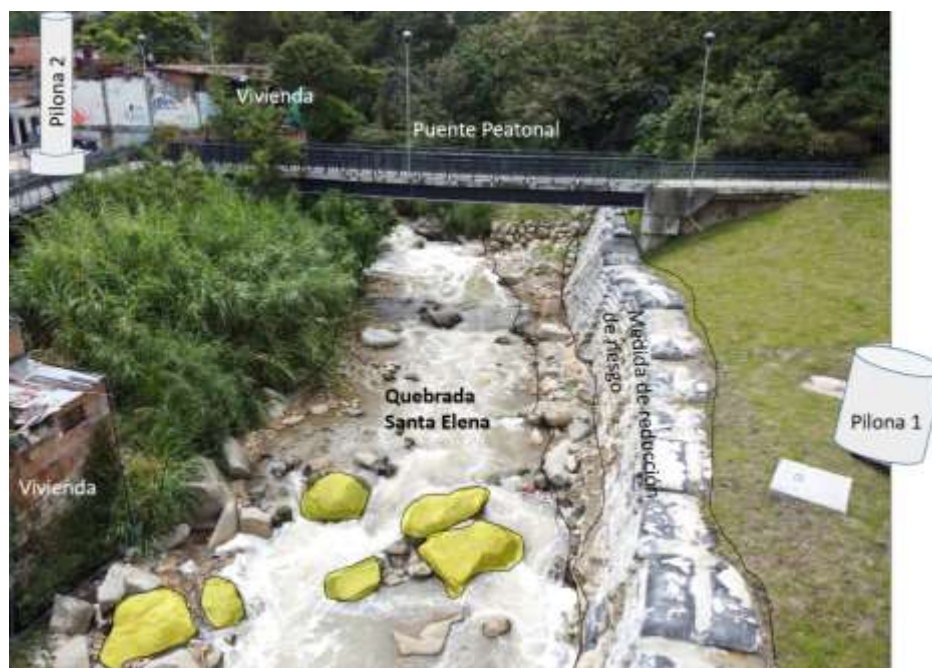


Figura 38. Parte media de la cuenca Santa Elena abarca desde la cota 1850 msnm hasta la 1540 msnm.

Fuente propia

En el área de influencia del Tranvía de Ayacucho, todos los afluentes a la quebrada Santa Elena se encuentran cubiertos, incluso el cauce principal de la quebrada, el cual discurre por una cobertura desde la carrera 32 hasta su desembocadura al río Aburrá. El sector donde el Tranvía Ayacucho se encuentra dentro de los retiros de la quebrada Santa Elena.

Entre las principales características morfométricas de la quebrada Santa Elena se tiene:

- Presenta una pendiente media de 37%, con extremos que varían entre 25 y 39%.
- Torrencialidad de moderada a alta, capaz de presentar crecidas fuertes y súbitas

De acuerdo con el estudio "Programa para el mejoramiento integral de la Microcuenca Santa Elena", AMVA, (2017), el cauce de la quebrada Santa Elena se puede sectorizar en tres tramos así:

- Cauce natural en buen estado. Se encuentra en la zona rural del municipio de Medellín, y representa el 82% de su longitud.

- Cauce natural en aceptable estado de funcionabilidad hidráulica. Localizado en la parte alta de la zona urbana del municipio de Medellín, sector donde se encuentra un tramo del trazado del Tranvía Ayacucho. Representa el 6% de la longitud de la quebrada.
- Cauce en cobertura. Correspondiente al 12% de la longitud del cauce, y se encuentra localizado en la cuenca baja de la quebrada, en la zona urbana del municipio de Medellín. Cerca del 30% de las coberturas revisadas se encuentran en mal estado, y corresponden a las quebradas Pativilca, Aguadita y La Milagrosa

En el estudio también se menciona que se identificaron 49 puntos críticos, 26 de los cuales son por problemas antrópicos, 14 por razones hidráulicas y nueve por aspectos geológicos. Entre los problemas identificados se encuentran: incapacidad hidráulica y daños de las estructuras, presencia de basuras, contaminación hídrica y escombros en los cauces.

### **Retiros a corrientes**

En el área de influencia del Tranvía, todas las quebradas están cubiertas, con excepción de la quebrada Santa Elena y la quebrada La India, en el tramo ubicado en los barrios Alejandro Echavarría, Miraflores y Buenos Aires (Anexo 8).

Según el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Medellín (Alcaldía de Medellín, 2014), los retiros de estas quebradas son:

- Quebrada Santa Elena, 30 m entre las carreras 17B y 37.
- Quebrada La India, 20 m entre la calle 49 y la quebrada Santa Elena.

Existe una problemática generalizada de ocupación de cauce en el tramo medio y bajo de la quebrada Santa Elena, donde se observa una alta concentración de viviendas asentadas sobre el cauce, las cuales se encuentran en inminente riesgo de desplome o inundación. Por lo anterior, la misma comunidad ha construido obras en su afán por reducir la vulnerabilidad inherente al

tipo de construcciones, sin embargo, las condiciones en las que se encuentran levantadas las edificaciones se tornan adversas y agravan la situación.

### 10.1.9 DISTANCIA Y RETIRO DE LAS VIAS

Para la realización de este mapa se tuvieron en cuenta las dos vías que revisten más importancia, una de ellas el tranvía de Ayacucho que atraviesa la zona de estudio y se encuentra muy cerca a la Quebrada Santa Elena, en esta zona la distancia entre la vía y la quebrada es de 17 metros aproximadamente, pero aguas arriba se tienen unos sitios críticos donde la distancia entre la quebrada y la vía es menor a 5 metros. De la misma forma se hizo un buffer de 20 metros para la Calle 51 y de esta forma conocer a que distancia se encuentra dicha vía de la Quebrada, se pudo determinar que la vía se encuentra en varios momentos a distancias menores a 10 metros (Figura 39 y Anexo 9).

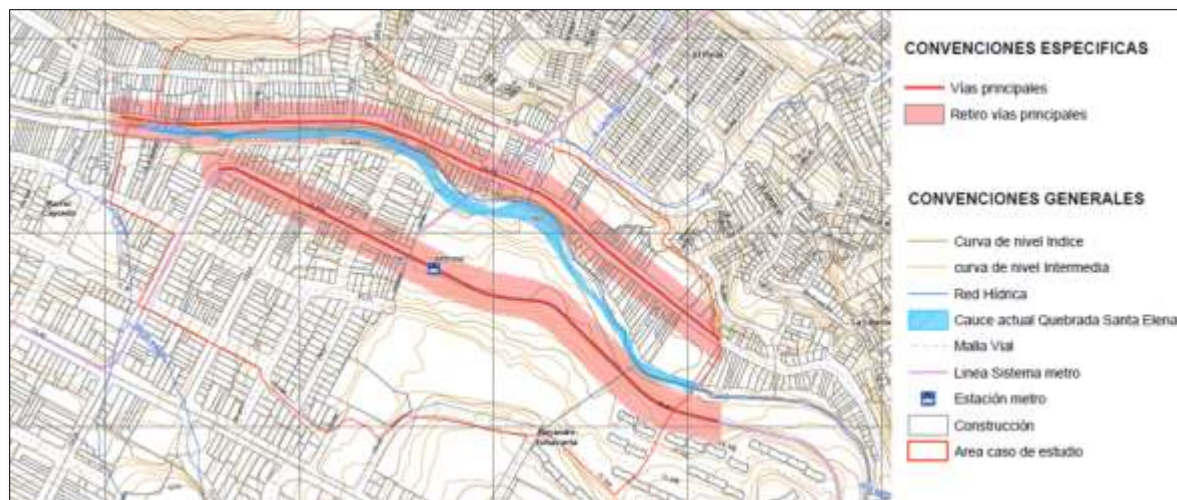


Figura 39. Buffer a las vías principales en la zona de estudio.

Elaboración propia.

También se evaluó el trazado y las obras de la línea M del Metro de Medellín, con el fin de verificar las distancias de las pilonas con relación a las vías principales. Se pudo definir que la piona 2 se encuentra a 1,5 metros de la Calle 51 (Figura 40).



Figura 40. Ubicación de la Piona 2 con respecto a la Calle 51.

Fuente propia.

#### **10.1.10 SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA**

Según el método heurístico, la susceptibilidad por movimientos en masa de la zona de estudio, fue generada a partir de variables como geología, geomorfología, formaciones superficiales y cobertura del suelo. Las variables obtenidas como pendiente, distancia del drenaje y distancia de la vía permitieron agrupar la información para conformar el modelo sobre el cual se realizó la evaluación.



A partir de la información recolectada en campo sobre cada una de las variables, se realizó un análisis cualitativo a la susceptibilidad donde se clasificaron cada una de las variables con sus categorías o rangos y se le asignó un peso acorde a las características y a la importancia dada por el experto. Luego se multiplicó cada uno de esos valores de peso por el peso relativo asignado a la variable, a partir de la sumatoria de los resultados de ocho variables se obtiene el potencial de ocurrencia de movimientos en masa en la zona.

A continuación se describe el proceso realizado en la Figura 41:

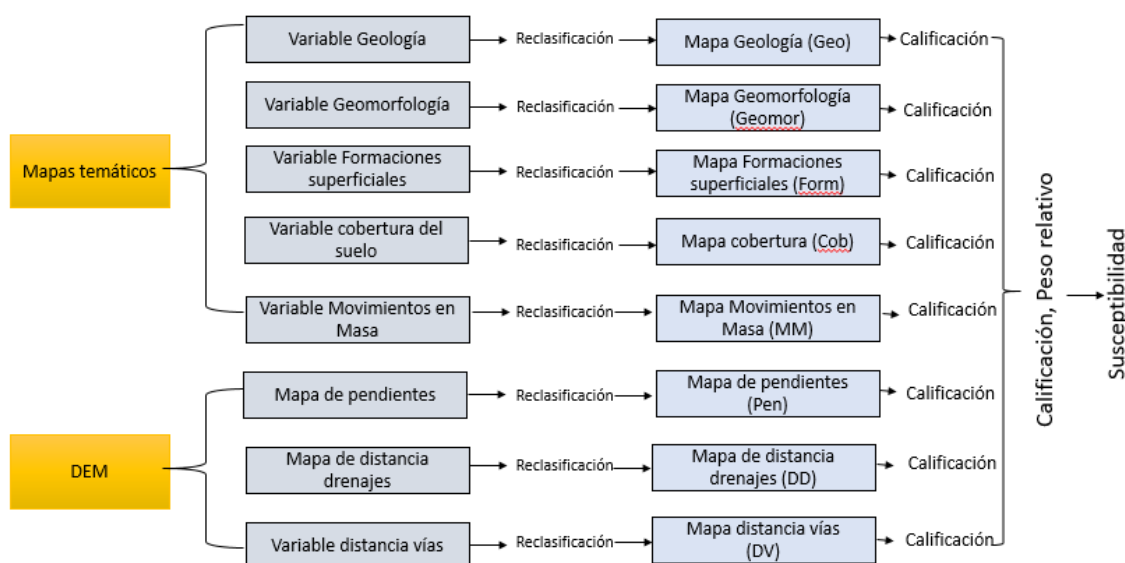


Figura 41. Análisis de las variables para calificación y peso relativo de la susceptibilidad.

Elaboración propia

La fórmula usada para el cálculo de la susceptibilidad

$$\text{Susceptibilidad} = \text{Geo} * 0.12 + \text{Geomor} * 0.12 + \text{Form} * 0.12 + \text{Cob} * 0.12 + \text{MM} * 0.2 + \\ \text{Pen} * 0.08 + \text{DD} * 0.2 + \text{DV} * 0.08$$

Luego de realizar el análisis en la calculadora raster se obtienen tres rangos de susceptibilidad, que van desde baja susceptibilidad, media y alta (Figura 42 y Anexo 10):

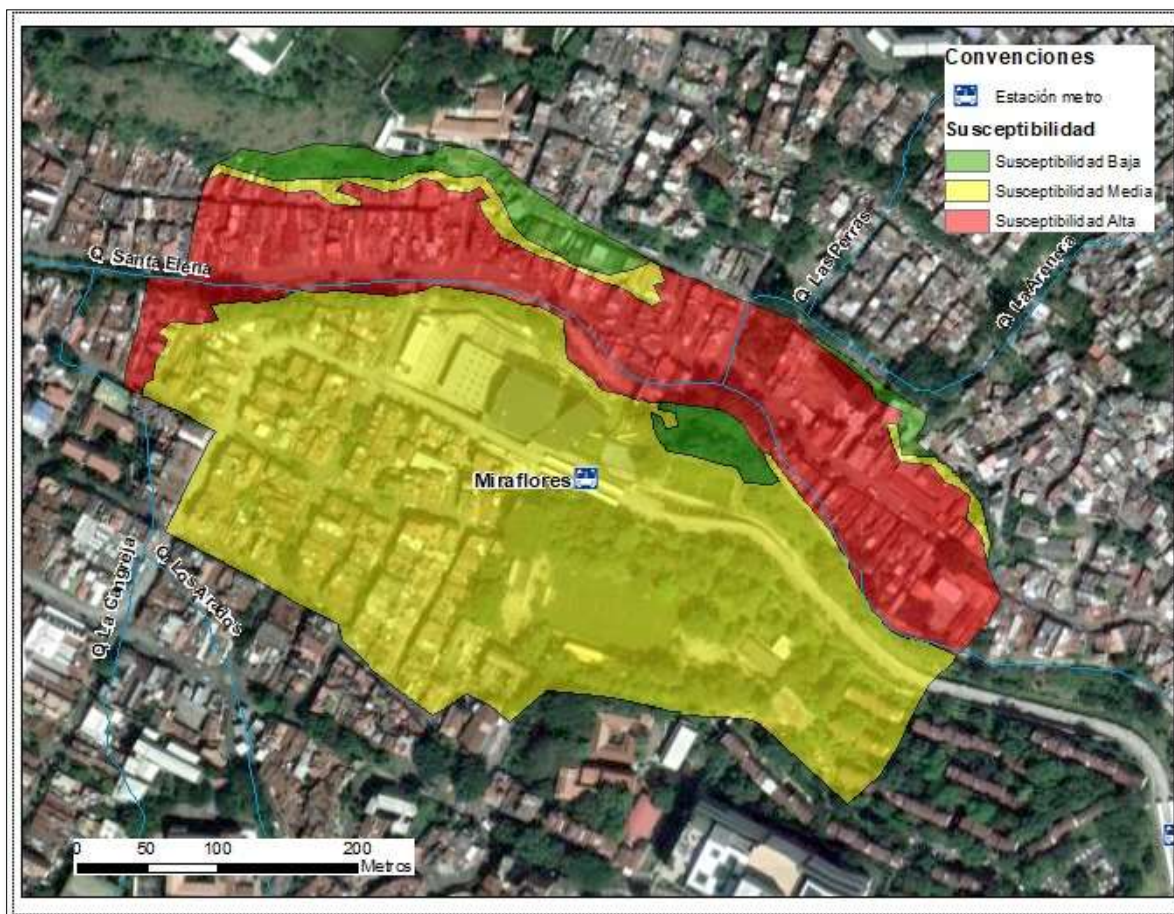


Figura 42. Mapa de susceptibilidad de la Estación Miraflores y zonas aledañas.

Fuente propia

#### 10.1.10.1 Susceptibilidad alta:

Corresponde a la zona con presencia de socavación asociada a la quebrada Santa Elena. Sobre depósitos aluviales y de terrazas aluviales de origen cuaternario, a nivel de geomorfología se asocia a georformas de origen fluvial como terrazas aluviales (Ft) y Aluviales (Fa). La

cobertura del uso del suelo asociada en su mayoría es urbanizada. Con respecto a las Formaciones superficiales se presentan suelos derivados de las unidades mencionadas anteriormente y llenos usados para las construcciones de las viviendas. Las pendientes cercanas a la Quebrada Santa Elena corresponden a los rangos de  $30^{\circ}$ - $40^{\circ}$  y  $40^{\circ}$ - $50^{\circ}$  en una pequeña franja y alargada, el restante de la zona corresponde a pendientes  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$  Plano a suavemente inclinado y  $10$ - $20^{\circ}$  Inclinado con una gran extensión. Esta categoría se presenta como la que tiene una presencia una extensión media en la zona de estudio pero es la que representa la mayor importancia desde el punto de vista de la zonificación, se restringe en su mayoría a la zona ubicada en la margen derecha agua debajo de la Quebrada Santa Elena. Esta categoría de susceptibilidad alta cubre un área de (52.677,7 m<sup>2</sup>), representan el 28,71 % del área de estudio. Sobre esta franja se ubican importantes obras de infraestructura como un tramo de la línea tranviaria, las pilonas 1 y 2 de la Línea M del metro de Medellín y numerosas viviendas.

#### **10.1.10.2 Susceptibilidad Media:**

Corresponde a la zona donde se encuentra ubicada la estación Miraflores y la línea tranviaria de Ayacucho. Sobre depósitos de flujos de lodo y/o escombros (NQfil) son depósitos no litificados se incluyen los deslizamientos y los flujos de escombros y/o lodos. Por sus espesores y grado de madurez es conveniente cartografiarlos como unidades geológicas independientes y no como formaciones superficiales, a nivel de geomorfología se asocia a georformas de origen denudacionales como la ladera denudacional (DI). Se pudo determinar que hace unos años se presentó un deslizamiento que inició donde es hoy la cancha de la unidad deportiva, con el tiempo se realizaron obras de estabilización y se construyó la cancha de fútbol,

donde hoy en día se observa reptación. La cobertura del uso del suelo asociada en su mayoría es urbanizada, presenta bosques secundarios en la Unidad Deportiva Miraflores. Con respecto a las Formaciones superficiales se presentan suelos derivados de los depósitos de flujos de lodo y/o escombros y llenos usados para las construcciones de las viviendas. Las pendientes cercanas a la Quebrada Santa Elena corresponden a los rangos de  $30^{\circ}$ - $40^{\circ}$  y  $40^{\circ}$  - $50^{\circ}$  en una pequeña franja y alargada, el restante de la zona corresponde a pendientes  $0^{\circ}$  -  $10^{\circ}$  Plano a suavemente inclinado y  $10$  - $20^{\circ}$  Inclinado con una gran extensión. Esta categoría se presenta como la que tiene mayor extensión en la zona de estudio. Esta categoría de susceptibilidad media cubre un área de ( $120.278 \text{ m}^2$ ), representan el 65,56 % del área de estudio. Sobre esta franja se ubican importantes obras de infraestructura como un tramo de la línea tranviaria y la estación Miraflores, numerosas viviendas del Barrio Buenos Aires, la Unidad Deportiva Miraflores, entre otros.

#### **10.1.10.3 Susceptibilidad baja:**

Corresponde a pequeñas franjas en su mayoría asociadas al afloramiento de las Dunitas de Medellín, ya que por sus características litológicas permiten una mayor estabilidad en el terreno. A nivel de geomorfología se asocian georformas de origen estructural como Ladera estructural (Se). La cobertura del uso del suelo asociada en su mayoría es bosque secundario. Con respecto a las Formaciones superficiales se presentan rocas meteorizadas de la unidad antes mencionada y llenos usados para las construcciones de las viviendas. Las pendientes en su mayoría corresponden a los rangos de  $30^{\circ}$ - $40^{\circ}$  abrupta. Esta categoría se presenta como la que tiene más baja extensión en la zona de estudio y representa la zona más estable desde el punto de

vista de la zonificación. Esta categoría de susceptibilidad baja cubre un área de (10.481,7 m<sup>2</sup>), representan el 5,71 % del área de estudio.

## 10.1.11 FACTORES DETONANTES

### 10.1.11.1 Detonante climático

Se realizó una recolección de información a partir de las páginas web del IDEAM, Sistema de Alerta Temprana del valle de Aburrá - Siata, waterspark y climate. A partir del Siata, (2021) se determinó que la zona de estudio se encuentra incluida dentro de los datos generados por la estación 182 Quebrada Santa Elena de donde se obtiene información sobre precipitación, humedad, temperatura, viento, entre otras; para un área de 36,803 Km<sup>2</sup> (Figura 43).

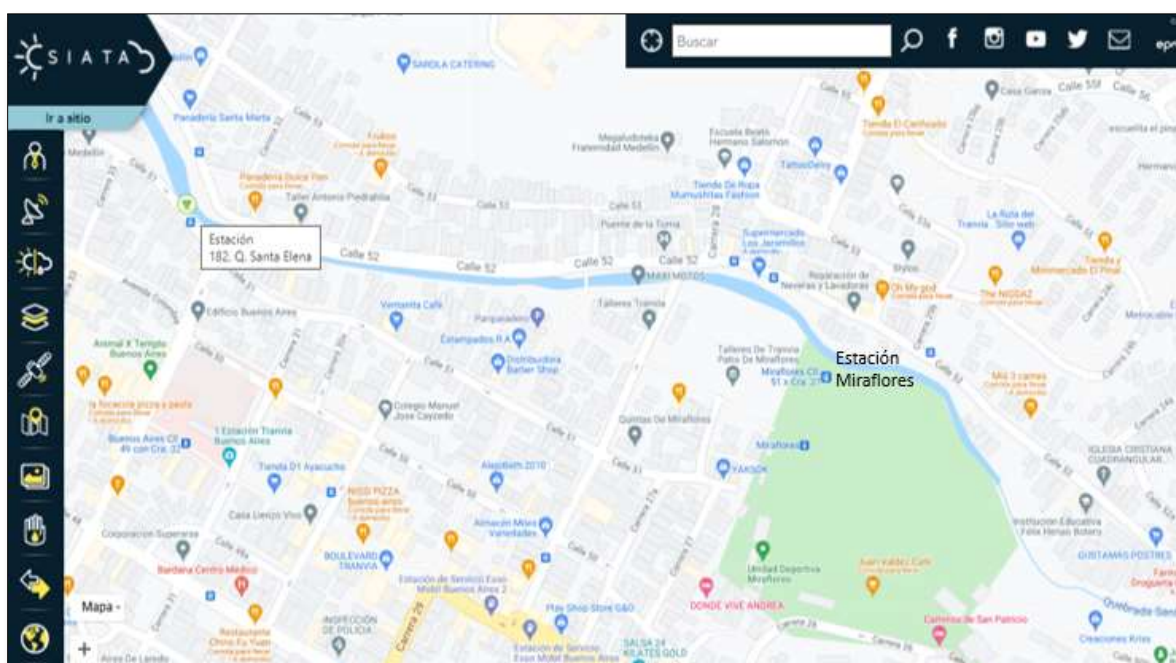


Figura 43. Localización de la Estación 182 Quebrada Santa Elena.

Tomada del Siata, 2021.

Medellín se encuentra a 1475 metros sobre el nivel del mar, el clima es suave, generalmente cálido y templado. Medellín es una ciudad con precipitaciones significativas, incluso en el mes más seco hay mucha lluvia. Esta ubicación está clasificada como Cfb por Köppen y Geiger (Climate, 2021). La temperatura promedio en Medellín es 15.8 °C. (Tabla 3)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	15.7	16	16	16	15.9	15.8	15.7	16	15.9	15.6	15.5	15.6
Temperatura min. (°C)	11.6	11.7	11.9	12.3	12.4	11.5	10.9	11.1	11.6	12.2	12.4	12
Temperatura máx. (°C)	21.1	21.5	21.6	21.2	21.1	21.5	22	22.5	21.8	20.5	20.1	20.6
Precipitación (mm)	147	180	277	347	346	216	178	184	255	321	304	203
Humedad(%)	82%	82%	84%	87%	88%	85%	82%	81%	84%	88%	88%	86%
Días lluviosos (días)	17	17	20	20	21	19	18	19	20	21	21	18

Tabla 3. Tabla climática de Medellín a partir de Datos históricos del tiempo.

Tomado de *Climate, 2021*.

En Medellín, los veranos son calientes, los inviernos son cómodos y está mojado y nublado todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 16 °C a 26 °C y rara vez baja a menos de 15 °C (Figura 44) o sube a más de 27 °C (Ideam, 2021).

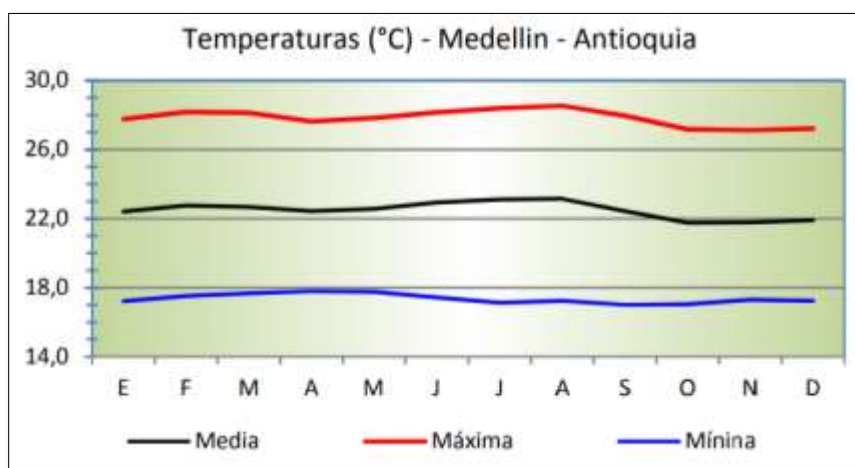


Figura 44. Marcha anual de temperatura máxima, media y mínima en Medellín.

Tomado de *Ideam, 2021*.

En Medellín la temporada más mojada dura 8,5 meses, del 26 de marzo a 9 de diciembre, con una probabilidad de más del 69 % de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 87 % el 8 de noviembre; la temporada más seca dura 3,5 meses, del 9 de diciembre al 26 de marzo. La precipitación es de 2958 mm al año (Figura 45) (IDEAM, 2021).

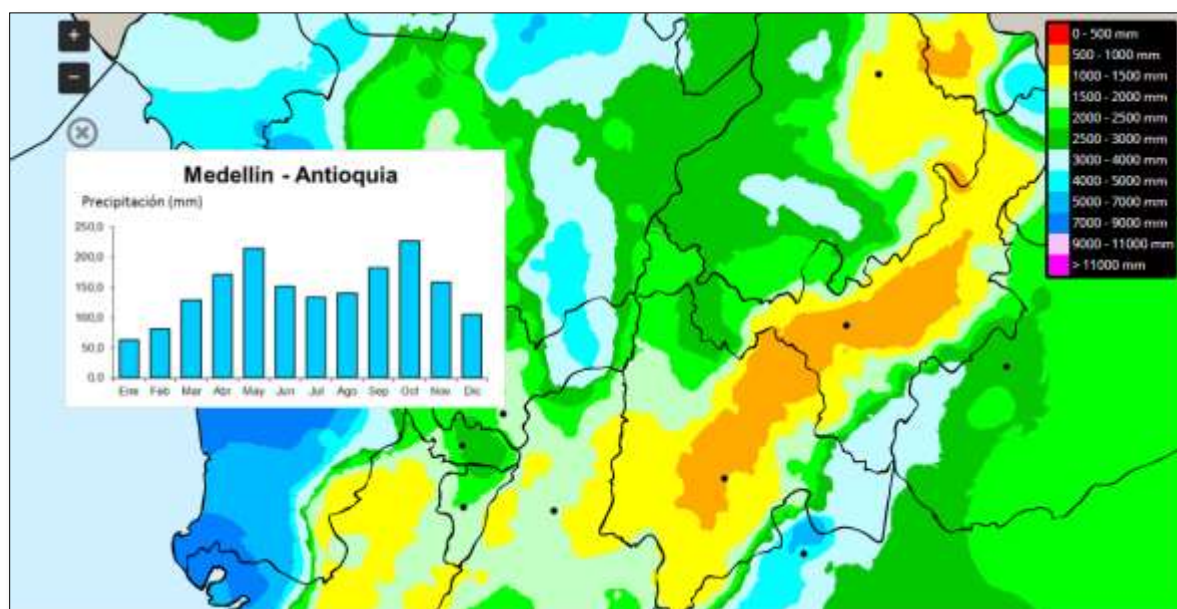


Figura 45. Precipitación Media Total Anual para la ciudad de Medellín.

Tomada de *Ideam, 2021*.

A partir del Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM, 2021) se cuantifica la contribución del factor climático en la generación de movimientos en masa y se realiza una zonificación climática, basados en el análisis de la precipitación media anual y temperatura media anual, y la lluvia máxima diaria. De acuerdo estos análisis las zonas donde hay mayor

influencia a movimientos en masa por calificación climática, corresponden a aquellas calificadas con 5, las cuales se encuentran asociadas a áreas donde las temperaturas son menores a 18°C y las precipitaciones medias anuales son mayores a 2.000 mm, es decir, regiones frías y húmedas, donde las altas precipitaciones y la baja temperatura hacen que la evaporación sea baja y por lo tanto se facilitan los procesos de infiltración, generando un aumento en el peso del suelo y en la presión de poros en taludes y laderas. Las zonas climáticas con calificación 4, de contribución alta, son aquellas que están asociadas bien sea con regiones templadas (temperaturas entre 18° y 24° C) y muy húmedas (precipitaciones mayores a 3.000 mm) o extremadamente frías (temperaturas menores a 6° C) y muy secas (precipitaciones entre 1.000 y 2.000 mm). En general, la contribución a movimientos en masa va disminuyendo progresivamente en la medida en que la precipitación media anual disminuye (regiones secas, con precipitación menor a 1.000 mm) y la temperatura media anual aumenta (regiones cálidas), donde las bajas precipitaciones, en caso de llegar a presentarse, son rápidamente evaporadas de tal manera que el agua lluvia no permanece mucho tiempo en el suelo.

Con los datos de zonificación climática del Ideam, 2021 y los datos recolectados en diversas fuentes se puede definir que la ciudad de Medellín se encuentra en una zona de calificación 5 donde hay mayor influencia a movimientos en masa por calificación climática, porque cumple con las condiciones expresadas como temperaturas menores a 18° C y las precipitaciones medias anuales son mayores a 2.000 mm.

#### **10.1.11.2 Sismo**

De acuerdo al documento del GSM, 2006 en el trabajo de Ramírez (1975) se citan los siguientes sismos con epicentro en la ciudad de Medellín:

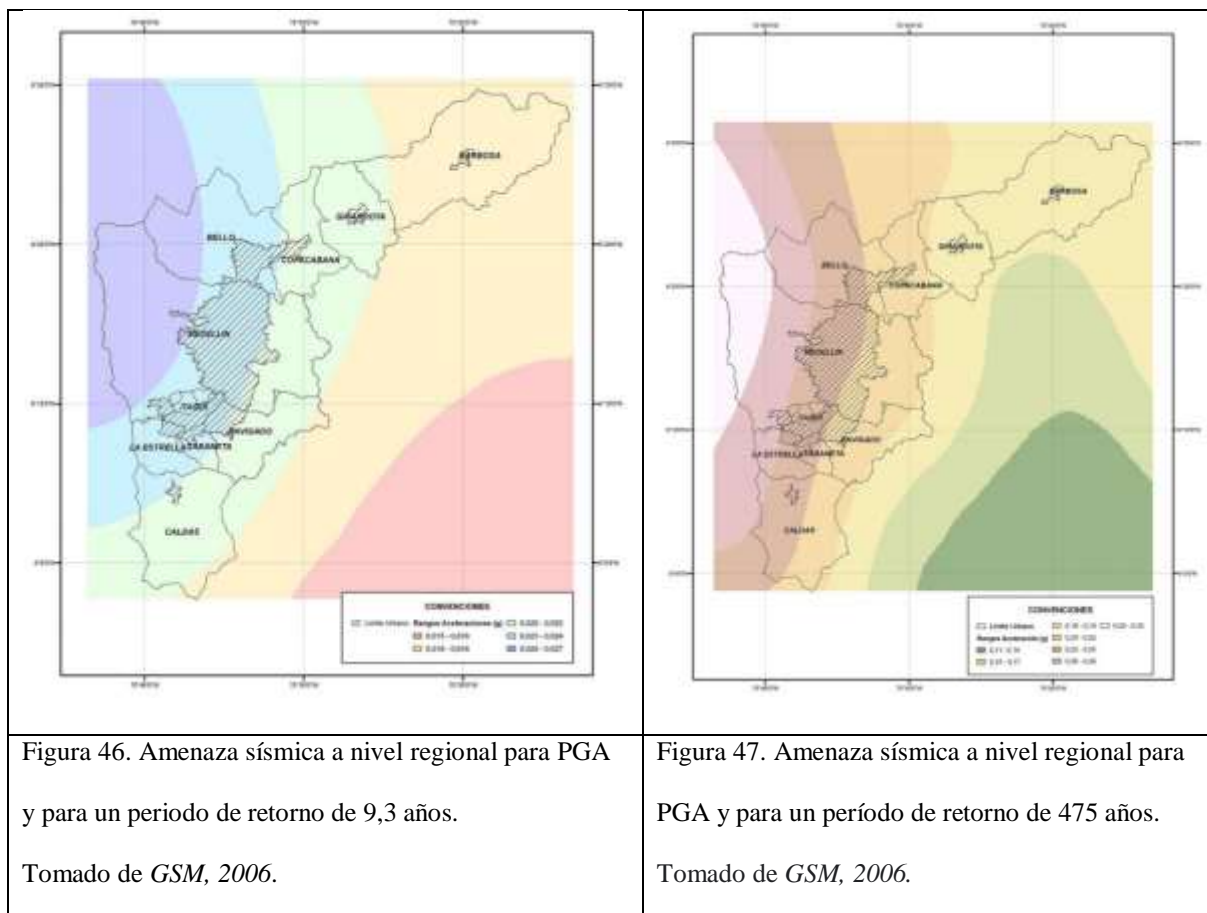


- El 13 de abril de 1792 con intensidad I, con latitud  $6,2^{\circ}\text{N}$  y longitud  $75,6^{\circ}\text{W}$ . Una serie de temblores empezaron en esta fecha y continuaron hasta el 10 de junio. No cesó de atemorizar a los habitantes de Medellín. Se reportaron muchas casas destruidas en la ciudad de Antioquia y la iglesia de Santa Rosa. 1792 fue llamado el año de los temblores.

- El 15 de septiembre de 1868 con intensidad I, con latitud  $6,2^{\circ}\text{N}$  y longitud  $75,5^{\circ}\text{W}$  en Medellín se sintió un fuerte temblor.

- El 31 de octubre de 1928 con intensidad I, latitud  $6,3^{\circ}\text{N}$  y longitud  $75,5^{\circ}\text{W}$  • Octubre 11 de 1966 con intensidad I, latitud  $6,7^{\circ}\text{N}$  y longitud  $75,8^{\circ}\text{W}$  localizado al NW de Medellín. Page (1986) menciona la ocurrencia de muchos flujos datados en la región de Santa Fe de Antioquia que se agrupan en el tiempo, de tal forma que sugieren la recurrencia de

Con la investigación realizada por el Grupo de Sismología de Medellín –GSM, (2006) se recolectaron datos sobre el catálogo sísmico, modelo de fuentes sísmicas, elaboraron modelos de sismicidad, caracterizaron las fallas, y evaluaron mediante ecuaciones la atenuación y realizaron la caracterización geotécnica de los suelos y rocas. Con dicha información se determinaron los siguientes mapas de amenaza sísmica a nivel regional (Figura 46 y Figura 47).



La representación general de la amenaza sísmica en la región se muestra en las Figuras 32 y 33, para el sismo de 9,3 años y de 475 años, respectivamente. No obstante, es fundamental aclarar que para todos los efectos relacionados con el diseño estructural de acuerdo con la NSR-98, todo el Valle de Aburrá se sigue considerando como de amenaza sísmica Intermedia (GSM, 2006).

## 10.2 ELEMENTOS EXPUESTOS

### 10.2.1 VIVIENDAS

En la zona de estudio se identifican viviendas que en su mayoría son de uno y dos pisos, ubicadas en la comuna 8 Villa Hermosa, construidas con material de ladrillo (Figura 48), las cuales no cumplen con las normas sismorresistentes, ya que no tiene suficientes columnas o vigas de amarre, la mayoría de los pisos son en concreto, con baldosa o cerámica. Se estima una cantidad de 5 personas por cada vivienda.



Figura 48. Tipo de viviendas en la Comuna 8 Villa Hermosa.

Fuente propia

En la zona de estudio perteneciente a la Comuna 9 Buenos Aires, se encuentran unidades residenciales de apartamentos con áreas aproximadas de 64 mts<sup>2</sup>, los cuales están construidos en ladrillo, la mayoría de los pisos son en concreto, con baldosa o cerámica y con una altura promedio de 5 pisos sin ascensores; y viviendas de 1,2 y 3 pisos, siendo más común la de 3 pisos (Figura 49).



Figura 49. Tipo de viviendas Comuna 9, Buenos Aires.

Fuente propia.

Las casas ubicadas en la manzana número 9 de la comuna 8 Villa Hermosa, se encuentran sobre la franja protectora de la quebrada Santa Elena, lo que las hace más vulnerables al riesgo de movimiento en masa (Figura 50).



Figura 50. Viviendas expuestas en la franja de la quebrada Santa Elena.

Fuente propia

## 10.2.2 LOCALES COMERCIALES

Se encuentran locales comerciales de diversas actividades económicas (Figura 51), que de acuerdo con la clasificación del suelo del POT de Medellín corresponden a corredores y áreas de alta mixtura (Alcaldía de Medellín, 2014).

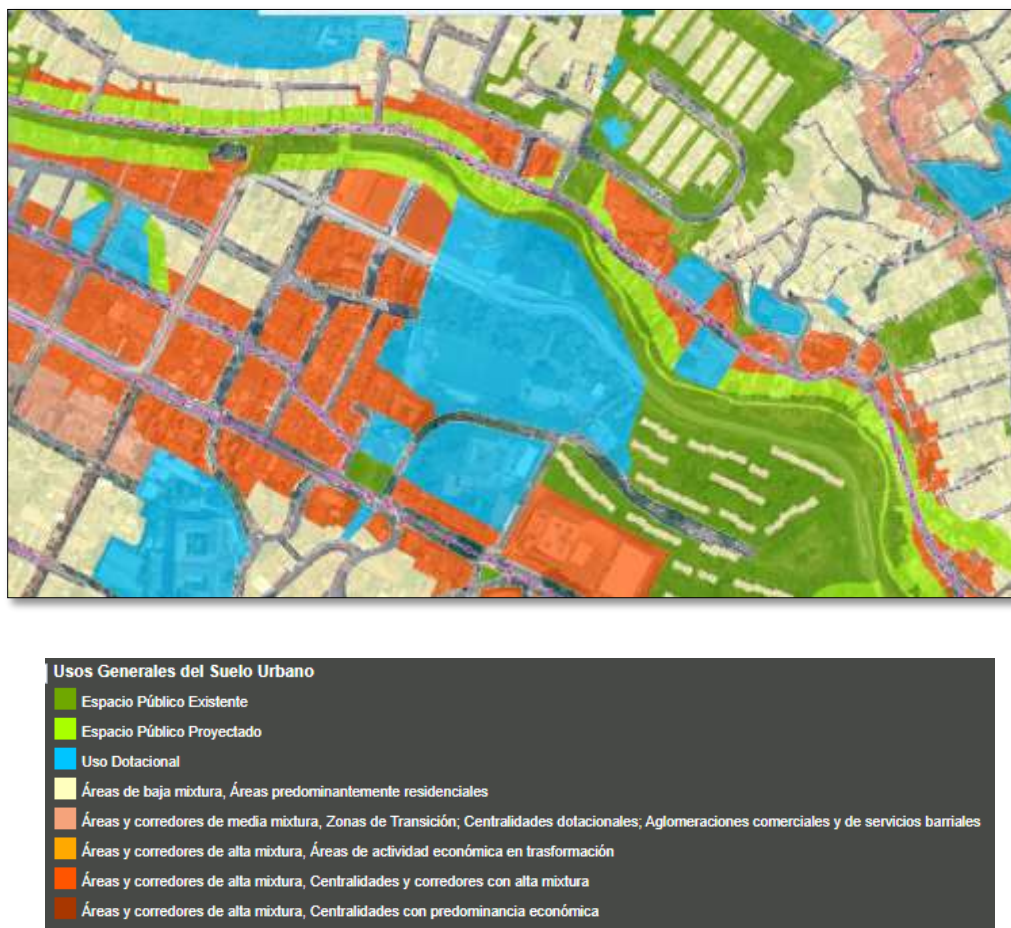


Figura 51. Clasificación del uso del suelo en la zona de estudio.

Tomado de *Alcaldía de Medellín, 2014*.

### 10.2.3 VÍA TRANVIARIA DE AYACUCHO

La vía tranviaria es por donde pasa el tranvía en ambos sentidos, es semipeatonal, está delimitada por el galibo libre de obstáculos (Figura 52).



Figura 52. Vía Tranviaria y estación Miraflores.

Fuente propia.

#### 10.2.4 ESCENARIOS DEPORTIVOS

Al lado de la estación Miraflores se encuentra la unidad deportiva Miraflores con dos canchas (Figura 53), de las cuales una cuenta con grama sintética y la otra en concreto.



Figura 53. Unidad deportiva Miraflores.

Fuente propia.

### 10.2.5 TIPOS DE VÍAS VEHICULARES

Las vías expuestas en la zona de estudio corresponden a arterias y colectoras (Figura 54), de acuerdo con la clasificación del Plan de Ordenamiento de Medellín, 2015.



Figura 54. Tipos de vías en la zona de estudio demarcado en negro.

Adaptada de *Alcaldía de Medellín, 2021*.

### 10.2.6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ELEMENTOS EXPUESTOS

En la siguiente tabla se muestran los cálculos de las pérdidas esperadas de cada criterio evaluado, encontrando lo siguiente:

De acuerdo con las características del suelo de la ciudad se pudo determinar que el valor de las propiedades de la comuna de Buenos Aires es mayor que las viviendas de la comuna Villa Hermosa.

Con los datos históricos suministrados por las aseguradoras de ajustes de siniestros relacionados con víctimas, en Colombia se paga aproximadamente 250 Millones por persona en promedio.

En cada una de las manzanas se observaron aproximadamente 4 tiendas de barrio y en cercanía a la estación Miraflores se encuentran estanquillos, peluquerías, almacenes, parqueaderos, heladería entre otros locales comerciales. Se estimó el costo de estos locales con la información suministrada por los propietarios.

Otro de los elementos expuestos en la zona de estudio, corresponde a la vía Tranviaria del corredor de Ayacucho, por 270 metros lineales entre la estación Miraflores y la estación Loyola. Se pudo verificar que en varios sitios el cauce de la quebrada Santa Elena se encuentra a menos de 10 metros de distancia de la línea Tranviaria, haciendo más vulnerable esta zona, ya que de presentarse un movimiento en masa el servicio de transporte de esta línea deberá ser suspendido en este tramo y a partir de esta información se proyectó el costo del lucro cesante en el que incurriría la Empresa Metro de Medellín, si tuviera que cerrar los tramos afectados.

Elemento expuesto	Cantidad	Valor estimado unitario (Millones de \$)	Valor estimado total (Millones de \$)	% de pérdidas	Valor total pérdida (Millones de \$)
Casas	594	\$ 110.000.000	\$ 65.340.000.000	10%	\$ 6.534.000.000
Casas ubicadas en la franja de la quebrada Santa Elena	6	\$ 50.000.000	\$ 300.000.000	100%	\$ 300.000.000
Apartamentos	264	\$ 190.000.000	\$ 50.160.000.000	5%	\$ 2.508.000.000
<b>Total Viviendas</b>	864	\$ 350.000.000	\$ 115.800.000.000		\$ 9.342.000.000
Personas ubicadas en amenaza alta	48	\$ 250.000.000	\$ 12.000.000.000	100%	\$ 12.000.000.000
Sedes deportivas	2	\$ 2.500.000.000	\$ 5.000.000.000	10%	\$ 500.000.000
Estación Miraflores	1	\$ 1.880.381.351	\$ 1.880.381.351	10%	\$ 188.038.135
Talleres Miraflores	1	\$ 81.147.612.125	\$ 81.147.612.125	10%	\$ 8.114.761.213
Lucro Cesante	30 días	\$ 2.581.995	\$ 77.459.850	100%	\$ 77.459.850
<b>Instalaciones del Metro</b>					\$ 8.302.799.348
Locales comerciales	30	\$ 180.000.000	\$ 5.400.000.000	30%	\$ 1.620.000.000
<b>Total</b>					<b>\$ 49.409.598.695</b>

Tabla 4. Cálculo de datos de elementos expuestos.



Elaboración propia.

## **10.3 PERCEPCIÓN DEL RIESGO**

### **10.3.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN DE LA MUESTRA**

Las características necesarias que deben tener las personas participantes en la muestra son:

Que desee colaborar.

Que pueda participar (disponibilidad por la pandemia).

Que tengan la condición de habitantes de la comunidad.

### **10.3.2 IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES**

- Conocimiento sobre emergencias y desastres.
- Conocimiento sobre la gestión del riesgo

### **10.3.3 RESULTADOS**

A continuación, se relacionan las preguntas de la encuesta con los resultados de estas:

**¿Cuál cree usted que son los riesgos de desastres a los que se encuentra expuesta la zona?**  
(Figura 55)



Figura 55. Riesgos a los que se encuentra expuesta la población.

Elaboración propia

¿Conoces si en la zona donde vives se han presentado deslizamientos de tierra? (Figura 56)



Figura 56. Que tanto conoce la población sobre la ocurrencia de movimientos en masa en la zona.

Elaboración propia

¿Se vio afectado por esta emergencia? (Figura 57)



Figura 57. Cuanta población ha resultado afectada por emergencias

Elaboración propia

¿Cuál cree usted que son las principales causas que generan el riesgo de deslizamiento de tierra? (Figura 58)

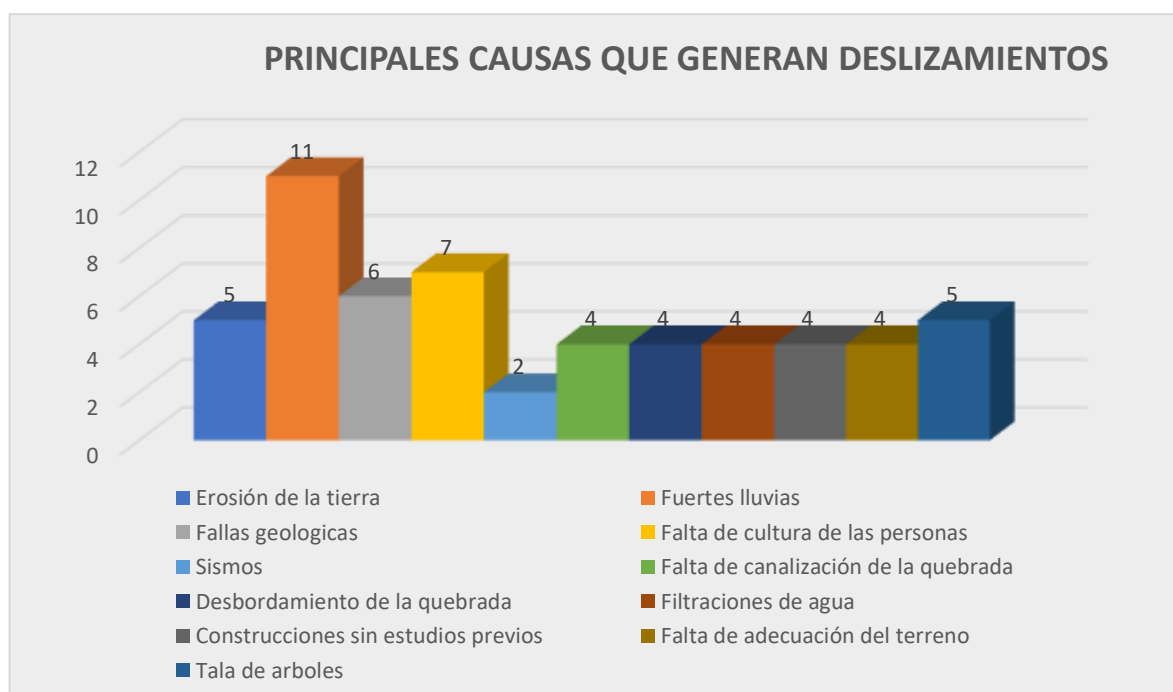


Figura 58. Cuáles son las causas que generan deslizamientos según los encuestados.

Elaboración propia

**¿Si se han presentado emergencias de deslizamiento en la zona que organizaciones atendieron la emergencia? (Figura 59)**

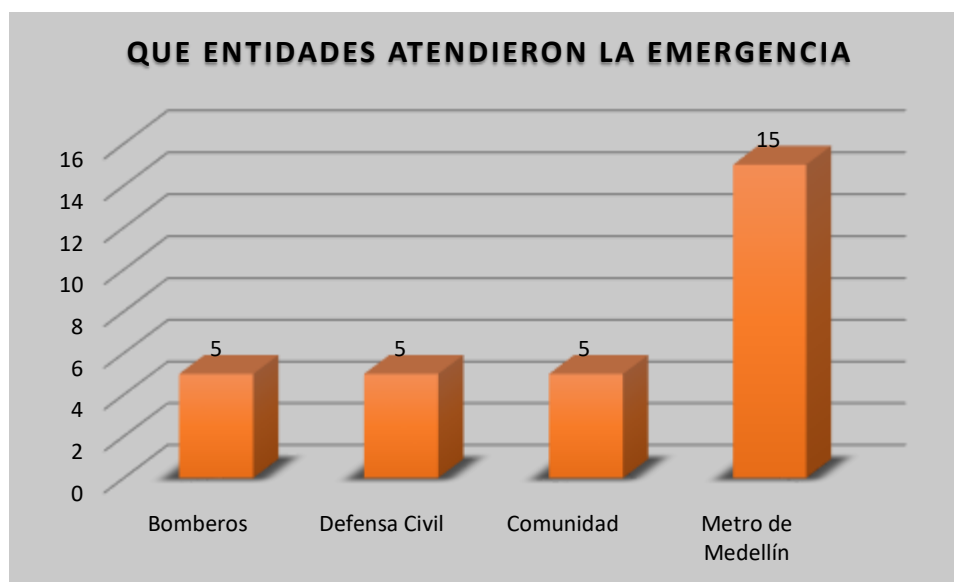


Figura 59. Cuáles son las entidades que atendieron las emergencias según la población encuestada.

Elaboración propia

**¿Cuáles considera que son los actores y/o las instituciones que deben liderar la gestión de riesgos de desastres en la comunidad? (Figura 60)**

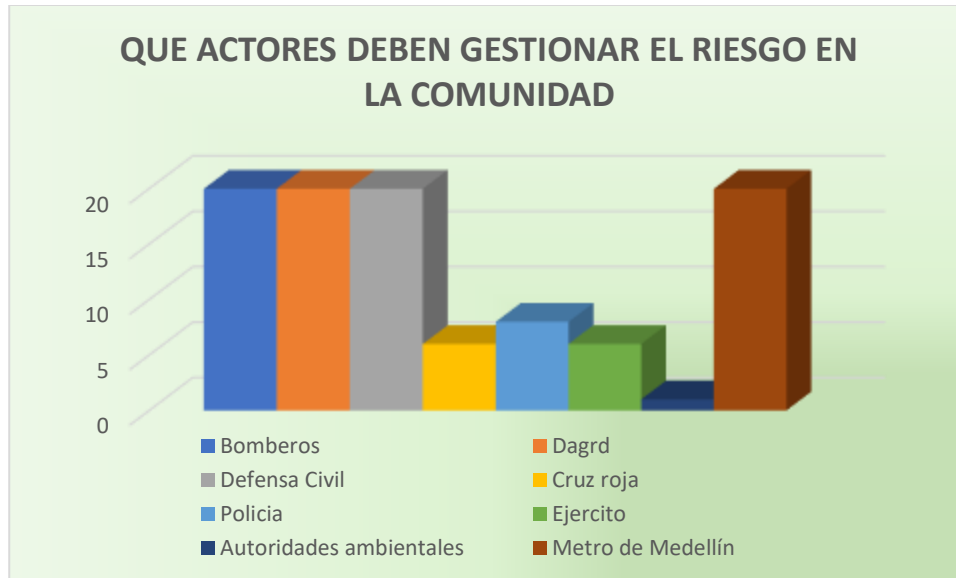


Figura 60. Actores reconocidos en la gestión del riesgo a nivel local.

Elaboración propia

**¿Cree usted que se pueda presentar un deslizamiento de tierra en la estación Miraflores debido a la cercanía con la quebrada Santa Elena? (Figura 61)**



Figura 61. Considera posible la ocurrencia de un deslizamiento en la estación Miraflores.

Elaboración propia

**Si ocurre un deslizamiento en la estación Miraflores. ¿Cree usted que puede afectar la comunidad? (Figura 62)**

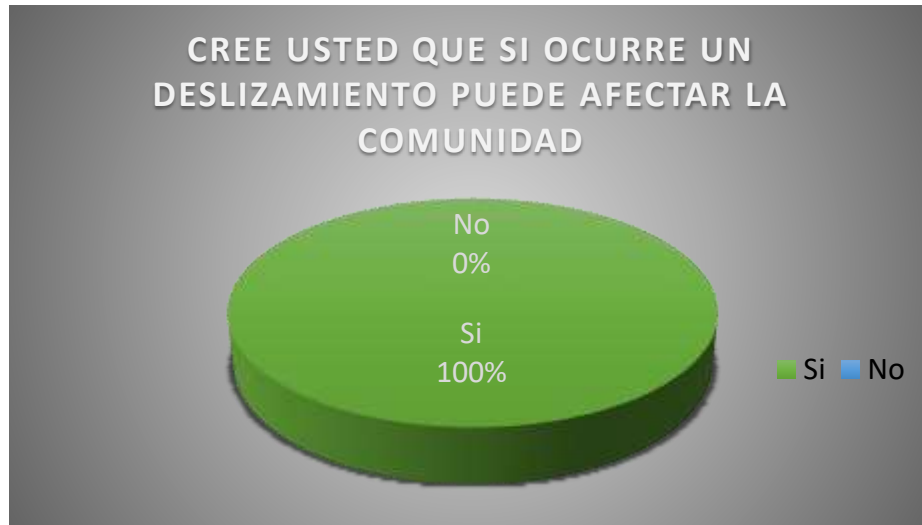


Figura 62. Si llegara a ocurrir un deslizamiento considera que lo afecta.

Elaboración propia

**¿Siente temor que por las lluvias fuertes se pueda incrementar el riesgo de deslizamiento en la estación Miraflores? (Figura 63)**



Figura 63. La ocurrencia de lluvias fuertes incrementan los deslizamientos.

Elaboración propia

**¿Qué tanto confía en la construcción y el mantenimiento de la estación Miraflores y su piona? Totalmente, parcialmente o nada. (Figura 64)**

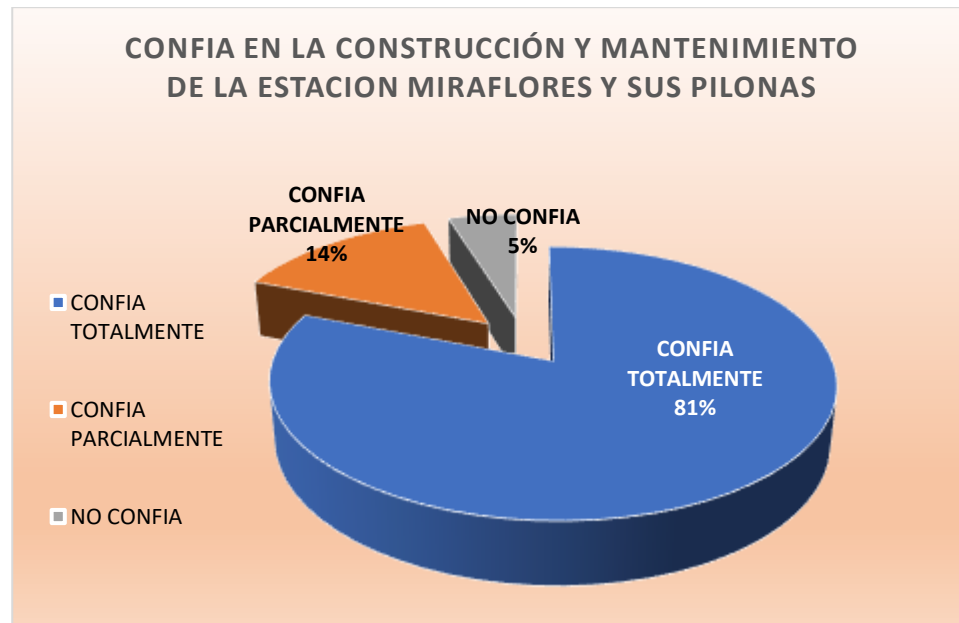


Figura 64. Grado de confianza en la construcción y mantenimiento de la Estación Miraflores.

Elaboración propia

## 11. RIESGO

De forma cualitativa se realizó un análisis del riesgo por movimientos en masa en la zona de estudio tomando como referencia los resultados de la amenaza y los elementos expuestos, se llegó a la conclusión que los asentamientos urbanos sobre las partes altas de las vertientes, han producido degradación ambiental incrementando los niveles de vulnerabilidad y riesgo en las últimas décadas.

En la zona de riesgo alto afloran depósitos aluviales y de terrazas aluviales de origen cuaternario, a nivel de geomorfología se asocian geoformas de origen fluvial como terrazas aluviales (Ft) y Aluviales (Fa). Con respecto a las Formaciones superficiales se presentan suelos derivados de las unidades mencionadas anteriormente y llenos usados para las construcciones de las viviendas.

Al cruzar los polígonos de susceptibilidad alta por movimientos en masa con los elementos expuestos se observa que este polígono se encuentra ubicado en la Comuna 8 Villa Hermosa, donde las viviendas en su mayoría son de uno y dos pisos; al momento de calcular las pérdidas o afectación en vidas humanas se estimó 5 habitantes en promedio por cada casa y que en caso de ocurrencia de un evento se tendría una afectación del 10% de los habitantes.

La zona de riesgo alto corresponde a la margen derecha de la Quebrada Santa Elena aguas abajo; en esta área se encuentran viviendas ubicadas en la franja protectora de la quebrada y en el mismo cauce, lo cual genera presión sobre la quebrada (Figura 65), y provoca que el cambio en la dirección del cauce afecte el talud donde se encuentra ubicada la Estación Miraflores y la Pilona 1, por lo que fue necesaria la intervención con una obra de control de socavación del cauce por parte de la Empresa Metro de Medellín.





Figura 65. Viviendas ubicadas en la margen derecha aguas abajo en la Quebrada Santa Elena.

Fuente propia

Dichas viviendas y locales comerciales se encuentran en inminente riesgo, por lo tanto, las entidades encargadas de la gestión del riesgo en el municipio de Medellín deberán tomar acciones inmediatas para reducir el riesgo.

En la zona de riesgo alto se encuentra infraestructura importante como un tramo de la línea tranviaria, las pilonas 1 y 2 de la Línea M, por lo que se hace necesario que la Empresa Metro de Medellín realice las gestiones e inversiones necesarias para evitar la materialización del riesgo.

## 12. CONCLUSIONES

- En la zona de estudio afloran cinco unidades geológicas, la más antigua corresponde a la Dunita de Medellín, las demás unidades corresponden a depósitos de vertiente, aluviales y terrazas.
- A nivel de geomorfología afloran tres unidades de origen fluvial como Cauce actual, Llanura Aluvial y Terraza aluvial; dos unidades de origen estructural; superficie de erosión y ladera estructural, por último, se encuentra una unidad de origen denudacional.
- Las formaciones superficiales corresponden a Llenos y/o explanaciones antrópicas, suelos derivados de depósitos aluviales, terrazas aluviales y de vertiente. Los llenos y/o explanaciones antrópicas son los que presentan mayor extensión en la zona de estudio.
- Las coberturas del suelo en la zona de estudio corresponden a Bosque de galería, bosques secundario y antrópico. En la zona de estudio se verificó que no se cumple con las franjas estipuladas por el Decreto 1449 de 1977 del Ministerio de Ambiente, por medio del cual se determina que las franjas de protección de las quebradas no deben ser inferiores a 30 metros de ancho, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos. La presión que la población ha colocado sobre la quebrada ha generado que sobre el cauce actual se encuentren construidas viviendas, que han alterado la dinámica de la quebrada Santa Elena.
- Durante la construcción de la línea tranviaria de Ayacucho se retiraron árboles de la franja protectora de la quebrada para realizar la obra de infraestructura; este tipo de acciones también generan impactos ambientales en el tiempo.
- Para la elaboración del mapa de pendientes se determinaron rangos de 0° - 10° Plano a suavemente inclinado, 10° - 20° Inclinado, 20° - 30° Muy inclinado, 30° - 40° Abrupta, 40° -

50° Muy abrupta, 50° - 60° Escarpada > 60° Muy escarpada, siendo la pendiente plana a suavemente inclinada la que presenta mayor extensión.

- Durante las visitas de campo se observó que, en varios sitios, el cauce de la quebrada Santa Elena se encuentra a menos de 10 metros de distancia de la línea Tranviaria, haciendo más vulnerable esta zona, ya que de presentarse un movimiento en masa el servicio de transporte de esta línea deberá ser suspendido en este tramo.
- Después de analizar los elementos expuestos en la zona de estudio, se pudo identificar que la principal causa del movimiento en masa y socavación del terreno en la margen donde se encuentra la estación Miraflores es provocado por la presión que generan las viviendas ubicadas a la margen derecha de la quebrada.
- En caso de materializarse un evento por movimiento en masa en la zona de estudio, se pueden ver afectadas las instalaciones del Cable línea M y los patios de estacionamiento de Tranvías, lo que podría generar la suspensión del servicio comercial en estas dos líneas, afectando un gran número de la población del sector.
- Con los datos de zonificación climática del Ideam, 2021 y los datos recolectados en diversas fuentes se puede definir que la ciudad de Medellín se encuentra en una zona de calificación 5 donde hay mayor influencia a movimientos en masa por calificación climática, porque cumple con las condiciones expresadas como temperaturas menor a 18° C y las precipitaciones medias anuales son mayores a 2.000 mm.
- En la zona de estudio se encuentran ubicados un gran número de viviendas, locales comerciales, zonas deportivas y algunas instalaciones del Metro, lo cual generaría grandes pérdidas de vidas humanas y económicas en caso de materializarse un evento de MM.

- Según los resultados de la encuesta, la percepción del riesgo por parte de la comunidad aledaña a la zona de estudio respecto a la amenaza por movimiento en masa en la estación Miraflores es muy baja.
- Se evidencio con los resultados de la encuesta, la confianza que la comunidad tiene frente a la construcción y mantenimiento de las líneas M Cables Aéreos y Patio de Miraflores.
- De acuerdo con las respuestas sobre la atención de las emergencias, en el sector las personas encuestadas tienen claro las entidades encargadas de la gestión del riesgo y atención de desastres.

### 13. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de amenaza por avenida torrencial e inundación sobre la Quebrada Santa Elena, por el nivel de urbanización que presenta y la invasión del cauce por viviendas que ha generado un cambio en la dinámica de la Quebrada.
- Las entidades encargadas del cuidado de la cobertura forestal, deben aumentar el potencial de los bosques en la parte alta de la Quebrada Santa Elena, de esta forma mitigar los efectos del cambio climático.
- El Área Metropolitana debe realizar las visitas técnicas continuas a la Quebrada Santa Elena con el fin de verificar sus condiciones y proyectar inversiones que permitan disminuir el riesgo.
- Realizar estudios que permitan un continuo monitoreo a la Quebrada Santa Elena, determinar la instalación de pluviómetros, equipos que permitan la medición del cauce, y/o el establecimiento de sistemas de alerta temprana, que la comunidad conozca los niveles de alerta y la Empresa Metro de Medellín tome las acciones pertinentes con el fin de salvaguardar la vida de las personas y proteger la infraestructura.
- La Alcaldía de Medellín a través del Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de desastres DAGRD debe formular un proyecto para reubicar las familias de la margen derecha de la quebrada Santa Elena y retirar las viviendas con el objeto principal de eliminar las obstrucciones que representan estas estructuras para el flujo, así como recuperar parte de

la sección natural del cauce y con ello disminuir los niveles de flujo. Esta alternativa se considera con el fin de mitigar el riesgo que implica tanto para la Estación Miraflores como para las viviendas de la margen derecha de la quebrada Santa Elena las amenazas existentes por movimientos en masa, por inundaciones y avenidas torrenciales.

- Fortalecer las interacciones entre la comunidad y las entidades encargadas de la gestión de riesgo del municipio de Medellín para realizar un trabajo conjunto y articulado entre los habitantes y los organismos de socorro.
- Realizar campañas de educación ambiental y de ordenamiento territorial para evitar más construcciones sobre el cauce de la Quebrada.

## 14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía de Manizales. 2002. Reseña histórica Cable aéreo. Manizales.  
[www.cableaereo.gov.co](http://www.cableaereo.gov.co)
- Alcaldía de Medellín. 2021. Mapas de Medellín  
([https://www.medellin.gov.co/MAPGISV5\\_WEB/mapa.jsp?aplicacion=0](https://www.medellin.gov.co/MAPGISV5_WEB/mapa.jsp?aplicacion=0))
- Alcaldía de Medellín. 2014. Plan de ordenamiento territorial de Medellín. Gaceta Oficial del Municipio de Medellín. No 4267 del 17 de diciembre de 2014.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. AMVA. (2012). Directrices y lineamientos para la elaboración de los estudios geológicos geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera en el Valle de Aburrá. Medellín.
- Asociación Cable aéreo de Manizales. 2021. Proceso de operación y mantenimiento.  
<https://www.cableaereomanizales.gov.co>.
- AMVA. (2017). Programa para el mejoramiento integral de la Microcuenca Santa Elena, municipio de Medellín.
- ARL SURA. 2017. Metodología análisis de riesgo.
- Bayardelle, Roberto. 2020. Entrevista con el Ingeniero Civil, profesional del Metro de Medellín, experto en construcción de proyectos de líneas de Cables aéreos.

Bustamante, M. 1990. Los deslizamientos de Media Luna (1954), Santo Domingo (1973) y Villatina (1987) y las dunitas de Medellín. I Conferencia Colombiana de Geología Ambiental. Medellín.

Cardona, Omar Darío. 2001. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Climate, 2021. Temperatura promedio y precipitación. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/antioquia/medellin-4088/>.

Congreso de la República de Colombia. 1997. Ley 388 de 1997. Diario oficial. Año CXXXIII. No. 43091. 24, Julio, 1997. Pág. 4.

Corz, C. 2019. Suspenden servicio de la Línea Amarilla del Teleférico tras deslizamientos. Periódico la Razón. La Paz.

Derpic, J. C. 2015. Capítulo 1 Orden, seguridad y limpieza. El teleférico de La Paz y El Alto: diferenciación urbana, informalidad y Estado en Bolivia. ¿Todo cambia? Reflexiones sobre el “proceso de cambio” en Bolivia, 23.

El Diario. 2019. Líneas del Teleférico suspenden servicios. Bolivia, 14 de noviembre de 2019. <https://www.eldiario.net/movil/index.php?n=16&a=2019&m=11&d=14>

Flórez Mario, 2016 Villatina recuerdos de una tragedia. Artículo académico.

Giraldo, M & Sánchez, D., (2004). Cartografía Geológica del Contacto del Cuerpo Sur de La Dunita de Medellín con sus Rocas Asociadas, Escala 11:10 000. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Medellín. Pp

Grupo de Sismología de Medellín. GSM. (2002). Microzonificación sísmica de los municipios del Valle de Aburrá y definición de zonas de riesgo por movimientos en masa e inundaciones en el Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.



-----, - GSM. (2006). Microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La estrella, Caldas y Envigado.

Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 2013. Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000. Subdirección de ecosistemas e información ambiental. Bogotá

-----, – IDEAM. 2021. Atlas climatológico de Colombia.

<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

Leibler, L., & Brand, P. (2012). Movilidad e inclusión social: la experiencia desde la periferia de Medellín y el primer Metrocable. Bulletin de l'Institut français d'études andines, (41 (3)), pág. 363-387).

Mejía Tamayo, E. (2019). Historia de los cables aéreos en Colombia: una solución de movilidad para zonas de difícil acceso en Colombia. Tesis de grado, Universidad de los Andes. Bogotá.

Mejía Vargas, A. F. (2011). Diseño y construcción de un sistema de transporte de carga por medio de cables para topografía de gran pendiente (Tesis de grado, Universidad EAFIT).

Metro de Medellín. 2015. Manual de servicio de transporte Metro de Medellín.

Ministerio de Transporte - Mintransporte. 2004. Decreto 1072 de 13 de abril de 2004. Reglamenta el servicio público de transporte por cable de pasajeros y carga. Diario oficial n°:45519 de abril 14 de 2004.

Montero Olarte, Juan. 2017. Publicaciones Especiales Geológicas. Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, D. C., Colombia.

Organización de las Naciones Unidas ONU Hábitat. 2014. ONU Hábitat: Foro Urbano Mundial. <https://news.un.org/es/story/2014/04/1298481>

Presidencia de la Republica de Colombia. 2011. Decreto 1454 de 201. Diario Oficial No. 48.115 de 29 de junio de 2011

----- 2012. Ley No 1523 de 2012 Política nacional de gestión del riesgo de desastres. Diario Oficial No. 48.411 de 24 de abril de 2012.

----- . 2014. Decreto 1807 de 2014, Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial. Diario Oficial. Año CL. N. 49279. 19, Septiembre, 2014. Pág. 33.

----- .2015. Decreto 1079 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte. Diario Oficial. Año CL. N. 49523. 26, Mayo, 2015. Pág. 1296.

----- . 2017. Decreto 2157 del 2017. Diario Oficial. Año CLIII. N. 50453. 20, Diciembre, 2017. Pág. 93.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas (PMA: GCA), P. M. (2007). Movimientos en masa en la Región Andina: una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería. (pág. 432p). Publicación Geológica Multinacional.

Rodríguez, et al, (2005); Geología de la Plancha 147 Medellín Oriental a escala 1:100.000. Instituto Colombiano de Geología y Minería. INGEOMINAS. Ministerio de Minas y Energía.

Rodríguez, et al, (2016); Geología de la plancha 147 Medellín Oriental Escala 1:50.000 Versión 2016. Servicio Geológico Colombiano.

Romo, H. L. (1998). Técnicas de investigación en sociedad, cultura y comunicación, 33-74.

Servicio Geológico Colombiano SGC, 2013. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000. Versión 2.

Bogotá, D. C., Colombia.

----- SGC, 2016. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Colecciones, guías y manuales. Bogotá, D. C., Colombia.

----- SGC, 2017. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000. Dirección de Geoamenazas, grupo de Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa. Bogotá, D. C., Colombia.

----- SGC, 2021. Consulta de la Amenaza sísmica en Colombia.

[https://amenazasismica.sgc.gov.co/map/co18\\_results\\_rock\\_sites/#14/6.2444/-75.5584](https://amenazasismica.sgc.gov.co/map/co18_results_rock_sites/#14/6.2444/-75.5584)

Sistema de Alerta Temprana del valle de Aburrá – Siata, 2021. Estación 182. Quebrada Santa Elena. [https://siata.gov.co/siata\\_nuevo/](https://siata.gov.co/siata_nuevo/)

Slovic, Paul. 1987. Perception of Risk. Revista Science. University of Oregon.

<https://www.researchgate.net/publication/271767726>.

Teddlie & Tashakkori. 2008. Foundations of Mixed Methods Research: Integrating Quantitative and Qualitative Approaches in the Social and Behavioural Sciences, Sage Publications, Los Angeles.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, UNGRD. 2017. Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes. Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo SNGRD.

----- UNGRD, 2019. Colombia: uno de los primeros países del mundo en consolidar y validar los indicadores del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2019/Colombia-uno-de-los->

[primeros-paises-del-mundo-en-consolidar-y-validar-los-indicadores-del-Marco-de-Sendai-para-la-Reduccion.aspx.](#)

Vargas, A. F. (2011). Diseño y construcción de un sistema de transporte de carga por medio de cables para topografía de gran pendiente. Medellín: Universidad EAFIT).

Universidad Simón Bolívar, 2019. Diagnóstico transporte Mariche. Venezuela.

Waterspark, 2021. Precipitación en Medellín.

<https://es.weatherspark.com/y/22535/Clima-promedio-en-Medell%C3%ADn-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Humidity>

Wilches-Chaux, Gustavo, 1993. La Vulnerabilidad Global

## Anexo 11

### Modelo de encuesta para la comunidad

**Objetivo:** Conocer la percepción del riesgo que tiene la comunidad ubicada en la zona de influencia de la estación Miraflores de la línea M del Metro de Medellín, frente al riesgo por movimiento en masa.

En estas encuestas se proponen las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál cree usted que son los riesgos de desastres a los que se encuentra expuesta la zona?
2. ¿Conoces si en la zona donde vives se han presentado deslizamientos de tierra y dónde?
3. ¿Se vio afectado por esta emergencia?
4. ¿Cuál cree usted que son las principales causas que generan el riesgo de deslizamiento de tierra?
5. ¿Si se han presentado emergencias de deslizamiento en la zona que organizaciones atendieron la emergencia?
6. ¿Cuáles considera que son los actores y/o las instituciones que deben liderar la gestión de riesgos de desastres en la comunidad?
7. ¿Cree usted que se pueda presentar un deslizamiento de tierra en la estación Miraflores debido a la cercanía con la quebrada Santa Elena?

8. Si ocurre un deslizamiento en la estación Miraflores. ¿cree usted que puede afectar la comunidad?
9. ¿Siente temor que por las lluvias fuertes se pueda incrementar el riesgo de deslizamiento en la estación Miraflores?
10. ¿Qué tanto confía en la construcción y el mantenimiento de la estación Miraflores y su pilona?