

ANÁLISIS DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD SECTOR SAN LUIS

**Análisis de Amenazas y Vulnerabilidad ante Inundaciones y Eventos Geológicos:  
Sector San Luis Altos del Cabo, km 5 vía a la Calera.**

**Agudelo Ramírez Laura Valeria, Gaviria Triana Nicolas David, Reina Valdés Jhoan  
Sebastián**



UNIVERSIDAD  
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería

Universidad la Gran Colombia

Bogotá

2024

**Análisis de Amenazas y Vulnerabilidad ante Inundaciones y Eventos Geológicos:  
Sector San Luis Altos del Cabo, km 5 vía a la Calera.**

Agudelo Ramírez Laura Valeria, Gaviria Triana Nicolas David, Reina Valdés Jhoan  
Sebastián

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de (Ingenieros Civiles)

Director: Ingeniero **Luis Efrén Ayala Rojas**



Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería

Universidad la Gran Colombia

Bogotá

2024

### Agradecimientos:

Agradecemos a todas las personas que contribuyeron de manera significativa en la realización de este trabajo de grado. En primer lugar, queremos expresar nuestro agradecimiento al director de tesis, el Ingeniero Ayala, por su compromiso desde la fase inicial de la investigación hasta la culminación de este proyecto. Su orientación, paciencia y conocimiento fueron fundamentales en todo el proceso. También deseamos extender nuestro agradecimiento a aquellos docentes de áreas como geotecnia y metodología de la investigación que apoyaron la realización de este trabajo.

No podemos pasar por alto el apoyo brindado por nuestros familiares y colegas. Sus palabras de aliento, comprensión y respaldo financiero fueron un pilar fundamental durante esta travesía académica. Por último, agradecemos a todas las personas que, de una forma u otra, nos inspiraron y motivaron a seguir adelante en la búsqueda del conocimiento.

## Tabla de contenido

<a href="#">Introducción</a>	15
<a href="#">Objetivos</a>	17
<a href="#">Objetivo General</a>	17
<a href="#">Objetivos Específicos</a>	17
<a href="#">Capítulo I: Antecedentes y contexto de la Investigación</a>	18
<a href="#">Antecedentes</a>	18
<a href="#">Marco teórico</a>	22
<a href="#">Infraestructura Existente</a>	25
<a href="#">Capítulo II: Generalidades de la zona de estudio</a>	28
<a href="#">Geomorfología de la zona</a>	28
<a href="#">Topografía:</a>	28
<a href="#">Hidrología</a>	29
<a href="#">Climatología</a>	29
<a href="#">Economía de la zona</a>	30
<a href="#">Amenazas hídricas presentes en la zona</a>	31
<a href="#">Capítulo III: Metodología de investigación</a>	33
<a href="#">Capítulo IV: Análisis Hidrológico y Geotécnico</a>	39
<a href="#">Análisis Hidrológico:</a>	39
<a href="#">1. Determinación de las cuencas:</a>	39
<a href="#">Análisis de las precipitaciones mensuales en el sector de San Luis Altos del Cabo</a>	43
<a href="#">Hietogramas</a>	43
<a href="#">Polígonos de Thiessen</a>	45
<a href="#">Tiempo de Retorno:</a>	47
<a href="#">Coeficiente de escorrentía:</a>	51
<a href="#">Generación de curvas IDF para el cálculo del caudal de diseño por el método racional</a>	52
<a href="#">Análisis Geotécnico:</a>	57
<a href="#">Monitorización del cambio:</a>	58
<a href="#">Estratigrafía:</a>	68
<a href="#">Geología estructural</a>	71
<a href="#">Perfil Geológico:</a>	77
<a href="#">Caracterización Geotécnica:</a>	79
<a href="#">Modelo de estabilidad:</a>	84
<a href="#">Capítulo V: Análisis de Amenazas y Vulnerabilidades</a>	88
<a href="#">Análisis de la Amenaza</a>	93
<a href="#">Análisis de la vulnerabilidad</a>	102
<a href="#">Capítulo VI: Evaluación del Modelo Propuesto</a>	111
<a href="#">Modelo Iber</a>	111
<a href="#">Resultados de Modelo Iber</a>	111
<a href="#">Quebrada Morací</a>	112
<a href="#">Quebrada Puente Piedra</a>	115
<a href="#">Quebrada Sureña</a>	117
<a href="#">Análisis y Discusión de Resultados</a>	119
<a href="#">Análisis Hidrológico</a>	119

Análisis Geotécnico	120
Análisis de riesgo de Amenaza y Vulnerabilidad	122
Capítulo VII: Recomendaciones Finales	123
Capítulo VII: Conclusiones	125
Capítulo VIII: Referencias Bibliográficas	127

## Lista de Figuras

Figura 1 [BARRIO SAN LUIS]. Tomada del [Fuente Propia] ([2024]).	14
Figura 2 [ESTRUCTURA FUNCIONAL Y DE SOPORTE]. Tomada del [Plan de Ordenamiento Territorial] ([2021]). En [POT- UPZ 89], p. 07."	19
Figura 3 [Perfil de San Luis Altos del Cabo]. Tomada de [OLARTE HERNANDEZ] ([2012]). En [DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA DEL ACUEDUCTO COMUNITARIO DEL BARRIO SAN LUÍS ALTOS DEL CABO, EN LA LOCALIDAD DE CHAPINERO], p. 177."	23
Figura 4 [Vía Bogotá- la Calera]. Tomada del [Google Maps] ([2024]). En [Línea].	25
Figura 5 [Relieve y topografía San Luis]. Tomada de [Google Earth] ([2023]).	27
Figura 6 [Temperatura Actual]. Tomada de [weather.com] ([En línea 12 dic 2023]). En [https://weather.com/es-CO/tiempo/mapas/interactive/l/Bogot%C3%A1?canonicalCityId=efb63a836e7633fda3cf21e17582fac5c0911eb484a12ce58b3b0bdaeb398b5].	29
Figura 7 [Uso de las Zonas San Luis]. Tomada del [Plan de Ordenamiento territorial] ([2021]). [En línea], p. 10.	30
Figura 8 [Estaciones y Cuencas Quebradas San Luis]. [Elaboración Propia] ([ArcMap]).	36
Figura 9 [Imágenes Satelitales MDT]. Tomada de [https://search.asf.alaska.edu/#/] ([en Línea]).	39
Figura 10 [Polígonos de Thiessen San Luis altos del cabo]. Tomada de [Elaboración propia]	45
Figura 11 [Áreas Cuencas por Polígonos de Thiessen San Luis altos del cabo]. Tomada de [Elaboración propia]	46
Figura 12 Longitud Cauces quebradas. Fuente. Propia	49
Figura 13 [Uso del suelo San Luis Altos del Cabo]. Tomada del [Plan de Ordenamiento territorial] ([2021]). [En línea], p. 5."	50
Figura 14 [Cálculo de IDF Manual de drenaje INVIAS]. Tomada de [Manual de drenaje de carreteras] ([2009]). En [Línea 7 dic 2023], p. 71."	52
Figura 15 [Coeficientes IDF Colombia]. Tomada de [Manual de drenaje de carreteras] ([2009]). En [Línea 7 dic 2023], p. 71."	53
Figura 16 Mapa del Estado de Cundinamarca (1865) En línea [https://issuu.com/centrosurbanos/docs/2015-ii_san_luis [Atlas Ecléctico proyecto centros urbanos] 3 marzo de 2024	58
Figura 17 [Evolución zona de estudio San Luis altos del cabo junio 1969 En línea]. [Google Earth]	59
Figura 18 [Evolución zona de estudio San Luis altos del cabo junio 1985 En línea]. Tomada de [Google Earth]	60

<a href="#">Figura 19 [Evolución zona de estudio San Luis altos del cabo junio 2000 En línea]. Tomada de [Google Earth]</a>	62
<a href="#">Figura 20 [Evolución zona de estudio San Luis altos del cabo junio 2013 En línea]. Tomada de [Google Earth]</a>	63
<a href="#">Figura 21 [Evolución zona de estudio San Luis altos del cabo junio 2023 En línea]. Tomada de [Google Earth]</a>	64
<a href="#">Figura 22 [Fallas de borde] En línea   <a href="https://geologicalmanblog.wordpress.com/2016/05/10/bordes-transformantes/">https://geologicalmanblog.wordpress.com/2016/05/10/bordes-transformantes/</a> 03 marzo 2024).</a>	70
<a href="#">Figura 23 [Fallas de Cabalgamiento] En línea   <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Cabalgamiento">https://es.wikipedia.org/wiki/Cabalgamiento</a> / 03 marzo 2024).</a>	71
<a href="#">Figura 24 INGEOMINAS. (1999). Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca. Plancha 209. Bogotá: INGEOMINAS.</a>	72
<a href="#">Figura 25 [Mapa Geológico de la Cordillera Oriental mostrando las estructuras más significativas pliegues y fallas]. La zona de este. El estudio está delineado en amarillo (modificado de Parra et al., 2009a).</a>	74
<a href="#">Figura 26 [Geología de la Plancha 228 Santafé de Bogotá Noreste]. Tomada de. Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS [   <a href="https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/">https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/</a>]</a>	75
<a href="#">Figura 27 [Geología de la Plancha 228 Santafé de Bogotá Noreste]. Tomada de. Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS [   <a href="https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/">https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/</a>]</a>	76
<a href="#">Figura 28 [Tipo de suelo] En línea   <a href="https://books.google.com.co/books?id=1rk6MwEACAAJ">https://books.google.com.co/books?id=1rk6MwEACAAJ</a> (2007).</a>	78
<a href="#">Figura 29 [Mapa de Suelos Bogotá Atlas Ambiental] Tomada de Bogotá, secretaria de ambiente 2007.</a>	78
<a href="#">Figura 30 Mapa geotécnico de Bogotá, en línea   {<a href="https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-geotecnico-de-Bogota-DC-con-el-trazado-de-la-primera-linea-del-metro_fig1_308962041">https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-geotecnico-de-Bogota-DC-con-el-trazado-de-la-primera-linea-del-metro_fig1_308962041</a>}</a>	81
<a href="#">Figura 31 [Modelo digital del terreno (KMZ-ASD Data Shear)].</a>	83
<a href="#">Figura 32 [Modelo de Superficie]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	109
<a href="#">Figura 33 Menú [Tabla de resultados]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	110
<a href="#">Figura 34 [Resultados Depth – Quebrada Morací]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	111
<a href="#">Figura 35 Figura [Resultados Froude – Quebrada Morací]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	111
<a href="#">Figura 36 [Resultados Descarga Específica – Quebrada Morací]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	112
<a href="#">Figura 37 [Resultados velocidad – Quebrada Morací]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	112
<a href="#">Figura 38 [Resultados Depth – Quebrada Puente Piedra]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	113
<a href="#">Figura 39 [Resultados Depth – Quebrada Puente Piedra]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	113

<a href="#">Figura 40 [Resultados Descarga Específica – Quebrada Puente Piedra]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	114
<a href="#">Figura 41 [Resultados Velocidad – Quebrada Puente Piedra]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	114
<a href="#">Figura 42 [Resultados Depth – Quebrada Sureña]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	115
<a href="#">Figura 43 [Resultados Froude – Quebrada Sureña]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	115
<a href="#">Figura 44 [Resultados Descarga Específica – Quebrada Sureña]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	116
<a href="#">Figura 45 [Resultados Velocidad – Quebrada Sureña]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).</a>	116

### **Lista de Tablas**

<a href="#">Tabla 1 Promedios mensuales de precipitaciones Estación Cerro Cazadores. Elaboración propia.</a>	42
<a href="#">Tabla 2 Promedios mensuales de precipitaciones Estación Escuela Pedagógica. Elaboración propia.</a>	42
<a href="#">Tabla 3 Promedios mensuales de precipitaciones Estación la Casita. Elaboración propia.</a>	42
<a href="#">Tabla 4 Áreas Quebradas Export QGis</a>	46
<a href="#">Tabla 5 Áreas Polígonos de Thiessen Área de estudio</a>	47
<a href="#">Tabla 6 Tiempos de retorno Estación Cerro Cazadores. Elaboración propia.</a>	48
<a href="#">Tabla 7 Tiempos de retorno Estación Pedagógica Experimental. Elaboración propia.</a>	48
<a href="#">Tabla 8 Tiempos de retorno Estación Casita LA. Elaboración propia</a>	49
<a href="#">Tabla 9 Tiempos de concentración Cuencas. Elaboración propia</a>	51
<a href="#">Tabla 10 Porcentaje de área que ocupa el tipo de suelo. Elaboración propia.</a>	52
<a href="#">Tabla 11 Valores Zona Andina Según Manual de drenaje INVIAS</a>	54
<a href="#">Tabla 12 Diseño curvas IDF. Elaboración propia</a>	55
<a href="#">Tabla 13 Datos para el cálculo de Caudal por el método racional IDF. Elaboración propia</a>	56
<a href="#">Tabla 14 Datos para el cálculo de Caudal por el método racional IDF. Elaboración propia</a>	56
<a href="#">Tabla 15 . [Distribución de las unidades litoestratigráficas]. Tomada de [Atlas Ambiental de Bogotá secretaria de ambiente] ([2007]).</a>	67
<a href="#">Tabla 16 [Esquema litoestratigráfico]. en línea   <a href="http://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/10672/5357-2.pdf?sequence=2&amp;isAllowed=y">repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/10672/5357-2.pdf?sequence=2&amp;isAllowed=y</a> (2003-2012)</a>	68
<a href="#">Tabla 17 [Tipos de Suelos Bogotá]. Tomada de [Atlas Ambiental de Bogotá secretaria de ambiente] ([2007])., p. 36."</a>	80
<a href="#">Tabla 18 [ruta de la caracterización del departamento]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 16."</a>	88
<a href="#">Tabla 19 [Ejemplos de actores por diferentes sectores]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 21."</a>	89

<a href="#">Tabla 20 [Clasificación de las amenazas según el origen]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 16."</a>	90
<a href="#">Tabla 21 [Criterios para determinar la frecuencia]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 28."</a>	91
<a href="#">Tabla 22 [Criterios para determinar la intensidad]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 29."</a>	91
<a href="#">Tabla 23 [Criterios para determinar el territorio afectado]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 28."</a>	92
<a href="#">Tabla 24 [Calificación de las amenazas]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 29."</a>	92
<a href="#">Tabla 25 Frecuencia de amenazas presentes en la zona. Elaboración propia</a>	93
<a href="#">Tabla 26 Intensidad de amenazas presentes en la zona. Elaboración propia</a>	93
<a href="#">Tabla 27 Territorio afectado por las amenazas presentes en la zona. Elaboración propia.</a>	94
<a href="#">Tabla 28 [Factores de vulnerabilidad]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 28."</a>	96
<a href="#">Tabla 29 [Criterios para determinar la vulnerabilidad física]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 33."</a>	96
<a href="#">Tabla 30 [Criterios para determinar la vulnerabilidad económica]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 34."</a>	97
<a href="#">Tabla 31 [Criterios para determinar la vulnerabilidad Ambiental]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 34."</a>	98
<a href="#">Tabla 32 [Criterios para determinar la vulnerabilidad Social]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 35."</a>	99
<a href="#">Tabla 33 [Calificación de la vulnerabilidad]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 36."</a>	100
<a href="#">Tabla 34 Vulnerabilidad de factores Físicos. Elaboración propia</a>	102
<a href="#">Tabla 35 Vulnerabilidad de factores económicos. Elaboración propia</a>	103
<a href="#">Tabla 36 Vulnerabilidad de factores Ambientales. Elaboración propia</a>	105
<a href="#">Tabla 37 . Vulnerabilidad de factores Sociales. Elaboración propia.</a>	106

### **Lista de Gráficas**

<a href="#">Gráfica 1 [Hietograma 1 año Estación CASITA LA]. Tomada de [Elaboración propia] ([2023]).</a>	44
<a href="#">Gráfica 2 [Hietograma 1 año Estación ESCUELA PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL]. Tomada de [Elaboración propia] ([2023]).</a>	45
<a href="#">Gráfica 3 Diseño de curvas IDF. Elaboración propia.</a>	55

## Glosario

- Amenaza: Evento natural o provocado por el hombre que puede causar daños a la población, las infraestructuras o el medio ambiente.
- Caudal: Volumen de agua que fluye por una unidad de tiempo en un curso de agua, como un río o una quebrada.
- Cordillera Oriental: Cadena montañosa importante en América del Sur, ubicada en Colombia.
- Geotécnica: Rama de la ingeniería que estudia las propiedades de los suelos y rocas y su comportamiento bajo diferentes condiciones.
- Hidráulica: Rama de la ingeniería que estudia el movimiento del agua, sus propiedades y sus aplicaciones.
- Inundaciones: Aumento temporal del nivel del agua que cubre áreas de tierra normalmente secas.
- Mitigación: Conjunto de medidas que se implementan para reducir los riesgos asociados a una amenaza.
- Quebrada: Curso de agua natural de pequeña longitud y caudal.
- Relieve: La forma en que se eleva y desciende la superficie terrestre.
- Sabana de Bogotá: Extensa altiplanicie ubicada en la Cordillera Oriental de Colombia alberga a la capital del país y a una población de más de 10 millones de personas.
- Vulnerabilidad: Grado de exposición de un sistema a una amenaza y la capacidad para resistir o recuperarse de ella.

## Introducción



*Figura 1 [BARRIO SAN LUIS]. [Fuente Propia] ([2024]).*

El presente proyecto parte de la investigación de factores críticos que influyen en los eventos de inundación en el Km 5 de la vía a La Calera zona rural de la capital de Colombia, Bogotá, una región que ha sido testigo de diversas situaciones de emergencia debido a las condiciones geográficas y climáticas de Colombia. Dado que Colombia se ubica cerca del ecuador y cuenta con una amplia variedad de climas y tipos de suelos, tiene una posición propensa a la manifestación de fenómenos naturales como inundaciones, deslizamientos de tierra y remociones en masa. Ejemplos recientes de estos eventos incluyen la inundación en el principal deprimido de Medellín en enero de 2023, los deslizamientos en la vía Bogotá-Villavicencio y la escasez de agua potable en múltiples municipios debido a las intensas lluvias. Además, es evidente el desbordamiento de ríos y quebradas en regiones con alta

precipitación, lo que genera un impacto hidrológico significativo en las áreas afectadas. Esta situación plantea la necesidad urgente de abordar el estudio y la comprensión de las dinámicas hidrológicas en áreas vulnerables. Por esto se identificará la importancia de estudiar esta área a partir de análisis hidrológico y modelamiento hidráulico de las quebradas Morací, Sureña y Puente Piedra, ubicadas en el sector sur del barrio San Luis, en el KM 5 vía La Calera, Colombia. con el fin comprender y evaluar el comportamiento hidrológico en estas quebradas, para así desarrollar un modelo hidráulico que permita predecir y gestionar los posibles eventos de inundación en la zona, ya que la problemática de las inundaciones en el sector ha generado múltiples daños materiales ocasionando diferentes riesgos en la población local y flotante. La falta de un adecuado sistema de drenaje ha dificultado la prevención de estos eventos, lo que resalta la importancia de llevar a cabo esta investigación con el fin que los resultados sean de utilidad para las autoridades y la comunidad en general, proporcionando información crucial para la comprensión y gestión de los eventos de inundación.

## Objetivos

### Objetivo General

- Evaluar y analizar las amenazas y vulnerabilidades asociadas a las inundaciones y eventos geológicos en el sector de San Luis, con el fin de proponer estrategias de mitigación que contribuyan a reducir el riesgo de la comunidad afectada en el sector de San Luis Vía La Calera generados por los aumentos de caudal de las quebradas Morací, Sureña y Puente Piedra.

### Objetivos Específicos

- Estudiar los factores socioeconómicos, ambientales y de infraestructura que contribuyen a la vulnerabilidad frente a inundaciones y eventos geológicos.
- Desarrollar un estudio hidrológico y geotécnico que permita caracterizar los factores que influyen en los eventos de inundación presentados en la zona de estudio.
- Diseñar un modelo a nivel de ingeniería para analizar las variables hidrológicas y geotécnicas en el punto de inundación identificado.
- Realizar matrices de amenaza y vulnerabilidad con las variables analizadas que permitan realizar una propuesta de mitigación para reducir el riesgo.
- Evaluar la pertinencia del modelo propuesto en el área de influencia directa del proyecto.

## Capítulo I: Antecedentes y contexto de la Investigación

### Antecedentes

San Luis, ubicado en la localidad de Chapinero, Bogotá. En la década de los años 70, el barrio experimentó un proceso de invasión, y posteriormente, el gobierno nacional modificó la reglamentación en materia de recursos naturales, declarando esta área como parte de la reserva nacional forestal para la década de los 80, los barrios circundantes experimentaron un rápido crecimiento, lo que llevó a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) a emitir una resolución que sustraía parte de la reserva correspondiente a los barrios San Isidro, San Luis, altos del Cabo, la Esperanza y La Sureña. Sin embargo, esta resolución fue anulada judicialmente debido a la falta de cumplimiento de requisitos formales; Desde entonces, los habitantes del barrio San Luis han emprendido una serie de acciones y procesos constitucionales con el objetivo de lograr la sustracción de la reserva y la posterior legalización del territorio en el que residen (Vargas & Hernández, 2009).

La importancia de comprender y abordar las inundaciones en Colombia radica en el impacto que esto genera en las comunidades, infraestructura y ecosistema; El país se encuentra expuesto a diferentes eventos climáticos debido a su ubicación geográfica y su variada topografía. Sin embargo, las inundaciones representan una de las amenazas más frecuentes y preocupantes, por ello es importante analizar otros casos de inundaciones anteriores que han ocurrido en el país como lo son:

Las inundaciones en la Región de la Mojana en Sucre que según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia, la región de La Mojana ha experimentado inundaciones recurrentes debido al desbordamiento de ríos como el

Cauca y el San Jorge (IDEAM, 2019). Estos eventos han generado impactos significativos en las comunidades locales, incluyendo pérdidas de cultivos y daños a la infraestructura (Gobierno de Colombia, 2018).

Para mitigar estos eventos los entes encargados han realizado construcción y rehabilitación de infraestructuras hidráulicas todo con el fin de mantener el monitoreo constante, la evaluación de riesgos y la actualización de los planes de gestión del riesgo. Departamentos como Bolívar, también han sufrido de estos acontecimientos en su capital, Cartagena donde según estudios realizados por el Departamento Administrativo Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (DADGRR), la ciudad de Cartagena ha experimentado inundaciones en sus áreas urbanas y costeras debido a factores como las mareas altas y las precipitaciones intensas (DADGRR, 2020). Para abordar esta problemática, se han implementado proyectos de infraestructura y sistemas de drenaje, como el Plan Maestro de Drenaje Pluvial (DADGRR, 2019).

Otra de las zonas sumamente afectada por los eventos meteorológicos del país ha sido el eje cafetero que según estudios realizados por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda han enfrentado inundaciones debido a las intensas lluvias y al desbordamiento de ríos como el Cauca y el Chinchiná (UNGRD, 2017). Estos eventos han generado pérdidas económicas y daños en la infraestructura (UNGRD, 2020).

En el caso del barrio San Luis, situado en las afueras de Bogotá, pero perteneciente a la jurisdicción de la alcaldía de Bogotá, se encuentra en una zona montañosa que resguarda un importante páramo llamado Cruz Verde. En esta área, nacen diferentes quebradas, como las quebradas Morací y Puente Piedra, de las cuales se desprenden otras más pequeñas como lo es la

Sureña. Las múltiples olas invernales que experimenta la zona han dejado en evidencia el riesgo que existe en el barrio y a pesar de las diferentes eventualidades meteorológicas que han acontecido a lo largo de los años, las entidades encargadas de la gestión de estos recursos, como el IDIGER y la CAR, no han sido mencionadas en los registros consultados; la comunidad ha establecido un sistema de acueducto y alcantarillado comunitario para satisfacer sus necesidades básicas y aunque se encuentran en este proceso, la comunidad ha enfrentado repetidos problemas de inundaciones debido a los intensos inviernos en la zona.

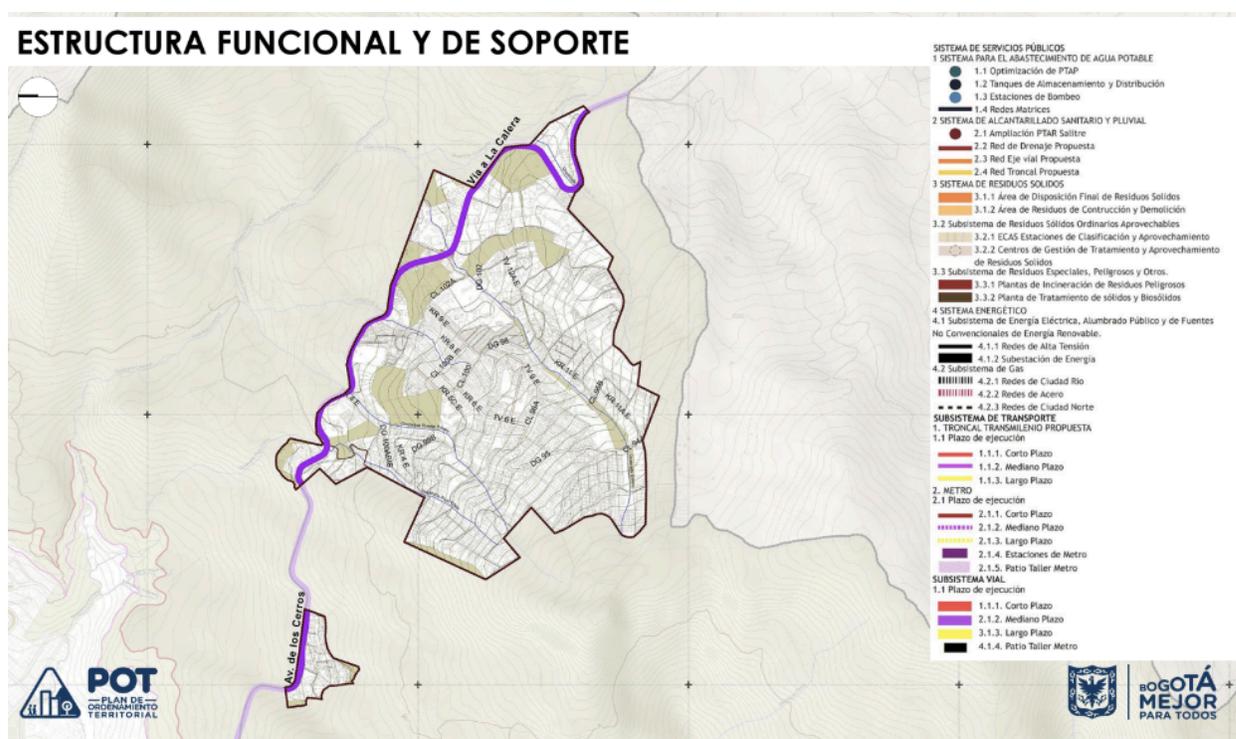


Figura 2 [ESTRUCTURA FUNCIONAL Y DE SOPORTE]. Tomada del [Plan de Ordenamiento Territorial] ([2021]). En [POT- UPZ 89], p. 07."

Es importante destacar que la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) tiene la responsabilidad de llevar a cabo diversas acciones para gestionar y proteger la zona de reserva forestal. En este sentido, la CAR está obligada a modificar el Plan de Manejo Ambiental de la Zona de Reserva Forestal, colaborar con Planeación Distrital en la elaboración de un plan

de manejo ambiental, así como revisar todas las licencias, concesiones y permisos otorgados para actividades de explotación de recursos naturales u otras actividades económicas. Además, la CAR debe suspender y clausurar las explotaciones que sean incompatibles con las disposiciones establecidas en la sentencia y en la resolución 1141 de 2006 de la CAR (Vargas Penagos & Hernández Serrano, 2009).

La historia de la zona, evidencia que muchas de las personas que residen en el barrio San Luis adquirieron legalmente sus predios a través del Instituto de Crédito Territorial. Esto gracias a las escrituras debidamente registradas por gran parte de los habitantes de esta zona. Lo que los ha llevado a formar una comunidad consolidada a lo largo de muchos años y han demostrado su compromiso y arraigo en el lugar. Es por esta razón que no contemplan la posibilidad de abandonar esta área.

Sin embargo, los residentes de San Luis se enfrentan a diversos desafíos en su día a día. Reclaman acciones por parte de las entidades responsables para brindarles seguridad ante las eventualidades naturales, mejorar las condiciones de vida y asegurar el acceso a servicios básicos. Después de haber luchado arduamente por la legalización de sus propiedades, ahora buscan el apoyo y la atención de los entes encargados para que se les garantice la seguridad jurídica y se realicen las adecuaciones necesarias en la zona; lo que destaca el contexto social y legal de la comunidad de San Luis, resaltando su compromiso y su lucha por los derechos a recibir los servicios y la atención necesaria por parte de las autoridades competentes.

Las Fuertes lluvias que se generan en el país producen crecientes en los ríos y quebradas, desbordando la capacidad de los cauces, produciendo así las inundaciones; La realización de un estudio hidráulico y geotécnico en el sector de San Luis alto del Cabo Km 5 Vía a la Calera, es

de suma importancia debido a la problemática recurrente de las inundaciones y los impactos negativos que generan en la comunidad.

Estas inundaciones han ocasionado daños materiales significativos y pérdida vidas humanas, así como una serie de riesgos para la población, Por consiguiente, los entes municipales deben estar al tanto de las zonas de riesgo para evitar que estas sean utilizadas en ocasiones para vivienda y así tomar medidas de contingencia según (Díaz & Ibarra, 2020, p 14).

Dado que es un barrio que lleva desde el 2018 en proceso de legalización no cuenta con todos los servicios básicos, ellos mismos generar sus sistemas de drenaje a partir de un alcantarillado comunitario, el cual no es suficiente para soportar estos eventos, por esto se pretende comprender las causas a partir de un estudio que permitirá obtener una visión clara de los factores que contribuyen a las inundaciones en la zona. Según la Base de Datos Internacional sobre Desastres (Bello, Bustamante & Pizarro, 2020, p. 12) analizar la cantidad y distribución de las precipitaciones, la respuesta hidrológica de las cuencas y las características de las quebradas. Es de gran importancia comprender las causas subyacentes de las inundaciones, se podrán identificar áreas de enfoque para implementar medidas de mitigación y evaluar el así el riesgo presentado.

### **Marco teórico**

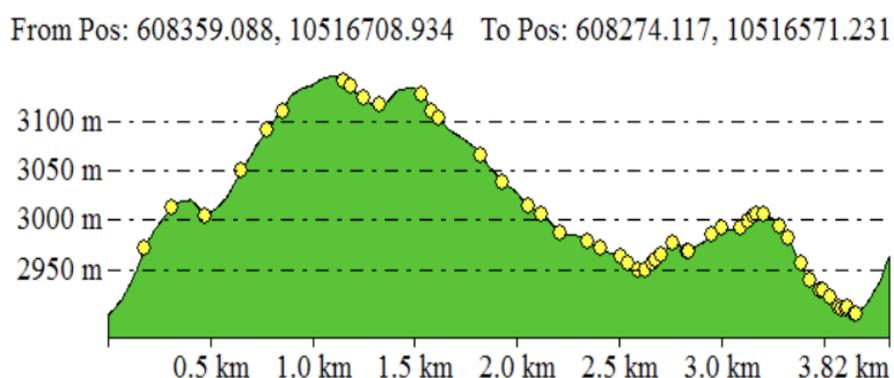
En el estudio del sector de San Luis Altos del Cabo, las amenazas se refieren a los eventos naturales o climáticos que pueden provocar inundaciones y poner en peligro a la población y las infraestructuras. Según el informe de amenazas naturales en Colombia de CEPREDENAC (2019), las amenazas hidrometeorológicas, como lluvias intensas y crecidas de

ríos, representan un riesgo significativo en el país y requieren una evaluación detallada para la implementación de medidas de mitigación adecuadas.

Altos del cabo, se caracteriza por su topografía montañosa y su proximidad a cuerpos de agua como quebradas y ríos. Estas características geográficas tienen un impacto directo en el comportamiento hidrológico y la susceptibilidad a las inundaciones en la zona. Es importante entender la interacción entre las características geográficas, los patrones de precipitación, el drenaje natural y las propiedades del suelo para comprender las amenazas y la vulnerabilidad asociadas. Además, el área de estudio puede presentar particularidades geotécnicas, como tipos de suelos específicos y la presencia de fallas geológicas, que requieren una evaluación detallada para comprender su influencia en la estabilidad de las estructuras y la prevención de deslizamientos de tierra. Por ello se pretende la mitigación de las inundaciones en el sector de San Luis Altos del Cabo, lo cual implica la implementación de medidas para reducir los riesgos asociados. Según el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en Colombia (UNGRD, 2020), las estrategias de mitigación pueden incluir la construcción de obras de control de inundaciones, la mejora del drenaje pluvial y la promoción de la participación de la sociedad en la gestión del riesgo.

El estudio hidrológico y geotécnico en el sector de San Luis Altos del Cabo es de gran importancia debido a su ubicación geográfica y las amenazas recurrentes de inundaciones en la zona. A pesar de la relevancia de estas amenazas, existe una falta de investigaciones específicas que aborden de manera integral el estudio de las condiciones hidrológicas y geotécnicas en esta área. Al llevar a cabo este estudio, se pretende llenar ese vacío de conocimiento y proporcionar una base científica sólida para la toma de decisiones informadas en la gestión del riesgo y la mitigación.

Desde la rama de la ingeniería, la hidráulica es esencial para comprender los procesos de flujo y el comportamiento del agua en el sector de San Luis Altos del Cabo. Según Ven Te Chow et al. (2014), el análisis hidráulico permite evaluar el caudal de las quebradas, las velocidades del agua y las condiciones de drenaje, lo que contribuye a la identificación de las áreas de riesgo y a la toma de decisiones en la mitigación de las inundaciones. Mientras el análisis geotécnico en el sector de San Luis Altos del Cabo se centra en la estabilidad del suelo y las rocas en relación con las construcciones y la prevención de deslizamientos de tierra. Según Holtz y Kovacs (2015), el análisis geotécnico proporciona información sobre las características físicas y mecánicas del suelo, la identificación de las zonas vulnerables y la implementación de medidas de estabilización.



*Figura 3 [Perfil de San Luis Altos del Cabo]. Tomada de [OLARTE HERNANDEZ] ([2012]). En [DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA DEL ACUEDUCTO COMUNITARIO DEL BARRIO SAN LUÍS ALTOS DEL CABO, EN LA LOCALIDAD DE CHAPINERO], p. 177."*

Las quebradas son elementos fundamentales para la vida y el resguardo de los ecosistemas, en el estudio hidrológico y geotécnico del sector de San Luis Altos del Cabo; el análisis de las quebradas permite comprender su comportamiento hidrológico y evaluar su impacto en el sector estudiado. Ahora desde el punto de vista social es crucial para la

identificación de amenazas y la implementación de medidas de mitigación. La participación de la comunidad, las autoridades locales y otros actores relevantes es esencial para la generación de conciencia, la planificación conjunta y la toma de decisiones informadas (UNDRR, 2015).

En conclusión, para el estudio hidrológico y geotécnico en la UPZ 89 del sector de San Luis Altos del Cabo, km 5 vía La Calera, Colombia, el análisis de las amenazas ha revelado que las inundaciones representan un riesgo significativo en el área de estudio, debido a varios factores naturales y del hombre, cabe destacar la importancia de la participación de la sociedad en la gestión del riesgo y la implementación de medidas de mitigación efectivas. La hidráulica será la disciplina clave para comprender el comportamiento del agua, mientras que la geotecnia ha proporcionado información valiosa sobre la estabilidad del suelo y las rocas. Finalmente, se proyecta la necesidad de realizar el análisis de los datos recopilados en el estudio para generar respuestas a la pregunta planteada.

### ***Infraestructura Existente***

El sector de San Luis altos del cabo Km 5 vía la Calera, hace parte de la zona rural de Bogotá. El cual se caracteriza por tener un entorno natural y su cercanía a la ciudad, este sector cuenta con diversas infraestructuras básicas las cuales permiten el desarrollo de varias actividades residenciales, comerciales y de interés turístico.

### **INFRAESTRUCTURA VIAL**

-Desde Bogotá se cuenta con la vía principal que da acceso por la calle 84 con carrera 7ma, tomando la circunvalar en un tramo aproximado de 500m para tomar la llamada vía a la calera hasta el km 5, el transporte público de Bogotá SITP llega hasta allí facilitando la llegada al

sector de San Luis y también existe un transporte intermunicipal el cual sale de la ciudad de Bogotá hasta llegar al municipio de la Calera. Adicionalmente se encuentra una segunda vía de acceso la cual proviene desde el norte de la ciudad y la cual también conecta con el sector de la calera, esta vía es conocida como la Avenida Alberto Lleras Camargo mejor conocida como la carrera séptima.



Figura 4 [Vía Bogotá- la Calera]. Tomada del [Google Maps] ([2024]). En [Linea],

-En la parte posterior encontramos la vía conocida como “Camino al Meta” que conecta desde el embalse san Rafael hasta la zona conocida como “patios” en el alto de la virgen, terminando así en la comunicación directa con la carretera a Choachí.

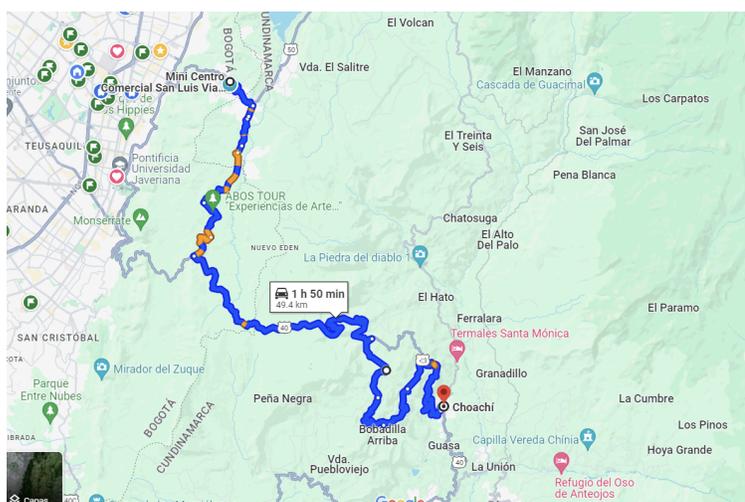


Figura 4.1 [vía camino al Meta]. Tomada del [Google Maps] ([2024]). En [Linea],

- El sector de San Luis Altos del Cabo, en la actualidad cuenta con los servicios públicos ofrecidos por las entidades codensa (energía eléctrica), gas natural fenosa (gas natural) y por último contamos con las entidades de Tigo, Movistar y Claro el cual presta servicios de telefonía, internet y televisión.
  
- En la UPZ 89 del sector de San Luis Altos del Cabo, km 5 vía La Calera, Colombia, pertenece a la ciudad de Bogotá, Colombia. Sin embargo, el Acueducto de Bogotá no presta el servicio de agua potable y alcantarillado en la zona. En 2019 se realizaron estudios para la implementación del servicio por parte del Acueducto, pero por diversas razones no se logró concretar; Ante la ausencia del servicio público, la comunidad cuenta con un acueducto comunitario administrado por una empresa privada llamada Acualcos. Esta empresa opera de manera independiente al Acueducto de Bogotá y se encarga de la captación, tratamiento y distribución de agua potable a los residentes de la zona.
  
- Entrando en la descripción de las zonas verdes, cuenta con dos reservas naturales de gran amplitud e importancia las cuales son: paramo cruz verde, el cual cuenta con senderos peatonales ecológicos y con diversos miradores apuntando hacia la ciudad de Bogotá. También contamos con el Río Teusacá, el cual tiene uno de los mayores afluentes del río Bogotá a lo largo de su recorrido, recibiendo las aguas de numerosos afluentes, entre los que destacan: Quebrada La Calera y Quebrada El Verjón.

## Capítulo II: Generalidades de la zona de estudio

### Geomorfología de la zona

El barrio San Luis Altos del cabo ubicado en la cordillera de los Andes, el km 5 vía a La Calera hace parte de la localidad de Chapinero, en el noroccidente de Bogotá, Colombia. Sus coordenadas geográficas son  $4^{\circ} 37' N$ ,  $74^{\circ} 07' O$ . El barrio se encuentra a una altitud de 2.900 metros sobre el nivel del mar específicamente en la vía que conecta a Bogotá con La Calera en la región central del país.

### *Topografía:*

La topografía de la zona donde se ubica el barrio San Luis km 5 vía La Calera, al estar en la cordillera de los Andes en Colombia, presenta un relieve montañoso, siendo una unión de elementos naturales que, a través de mediciones y análisis topográficos, se ha determinado que la elevación varía a lo largo de este tramo, mostrando una combinación de puntos más altos y bajos entre 2900 y 3100 msnm. Las curvas de nivel trazadas en mapas topográficos revelan la complejidad de las pendientes y cambios de elevación que caracterizan la región, teniendo colinas, laderas empinadas y algunas áreas planas intercaladas.

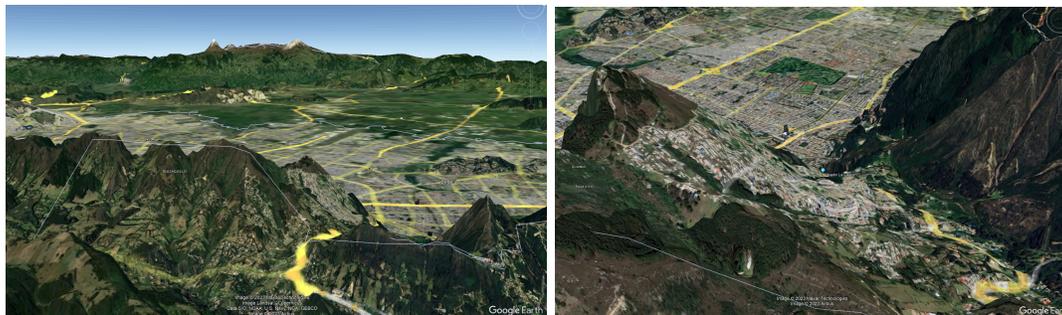


Figura 5 [Relieve y topografía San Luis]. Tomada de [Google Earth] ([2023]).

### ***Hidrología***

El Atlas de las quebradas de Colombia (IDEAM, 2022) identifica tres quebradas que nacen del páramo y desembocan en el mismo canal en la zona de San Luis Altos del Cabo. Estas quebradas Morací, Sureña y Puente Piedra tienen características similares en su comportamiento y caudal experimentando crecidas repentinas durante las épocas de lluvia.

Las quebradas son un importante recurso hídrico para la zona, ya que proporcionan agua para el consumo humano, el riego y la generación de energía eléctrica. Sin embargo, también representan un riesgo de inundaciones, especialmente durante las épocas de lluvia. El hecho de que el barrio esté en proceso de legalización puede aumentar el riesgo de inundaciones. Esto se debe a que el crecimiento urbano puede provocar la impermeabilización del suelo, lo que dificulta la absorción del agua y aumenta el riesgo de inundaciones. En general, la hidrología de la zona de San Luis Altos del Cabo es compleja y presenta un riesgo de inundaciones. Es importante tomar medidas para mitigar este riesgo, como la construcción de obras de control de inundaciones y la mejora del drenaje natural. El Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2020) señala que la zona de San Luis Altos del Cabo presenta un riesgo de inundaciones, especialmente durante las épocas de lluvia.

### ***Climatología***

Según el IDEAM, el clima en San Luis Altos del Cabo, ubicado en la vía a La Calera cerca de Bogotá, es frío y húmedo debido a su altitud de aproximadamente 2900 metros sobre el nivel del mar. Las temperaturas oscilan entre los 5°C y 17°C. Este clima es similar al de otras zonas de alta montaña en Colombia, con una alta probabilidad de lluvias frecuentes y niebla,

características de los ecosistemas de páramo y alta montaña, las épocas de lluvia se concentran entre los meses de abril y noviembre.

- Vientos: Los vientos en San Luis Altos del Cabo son predominantemente del noreste. La velocidad promedio del viento es de 10 km/h.
- Humedad: La humedad relativa en San Luis Altos del Cabo es alta, con un promedio de 80%.
- Radiación solar: La radiación solar en San Luis Altos del Cabo es alta, con un promedio de 5,5 horas de sol al día.



Figura 6 [Temperatura Actual]. Tomada de [weather.com] ([En línea 12 dic 2023]). En [https://weather.com/es-CO/tiempo/mapas/interactivo/l/Bogotá%3%A1?canonicalCityId=efb63aa836e7633fda3cf21e17582fac5c0911eb484a12ce58b3b0bdaeb398b5].

### ***Economía de la zona***

La economía de la zona se basa principalmente en el comercio, la ganadería y el turismo. El comercio es la actividad económica más importante en la actualidad, pues al ser un barrio “de paso” entre Bogotá y la calera cuenta con diferentes atractivos como restaurantes, miradores, tiendas entre otros se concentra en los servicios prestados a las personas que allí residen y van de

paso. La ganadería es otra actividad importante, y se concentra en la cría de ganado vacuno y en la actualidad implementando el ovino. El turismo es una actividad en crecimiento, y se basa en la belleza natural de la zona y sus múltiples servicios ofrecidos, desde comida hasta lugares de ocio nocturnos.

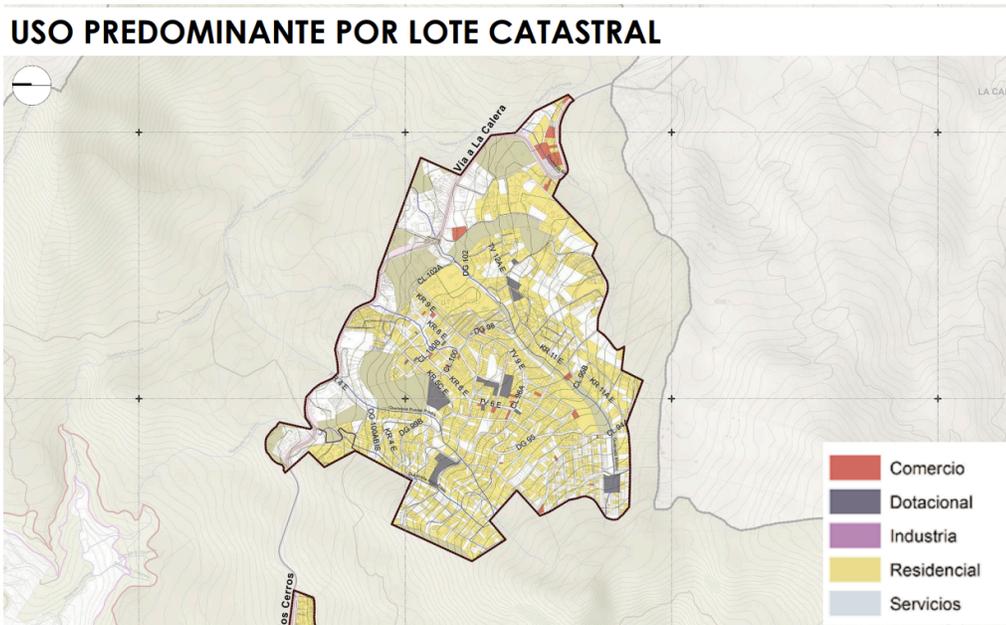


Figura 7 [Uso de las Zonas San Luis]. Tomada del [Plan de Ordenamiento territorial] ([2021]). [En línea], p. 10.

El POT UPZ 89 San Isidro Patios señala que la zona tiene un potencial para el desarrollo de actividades económicas relacionadas con el turismo, la agroindustria y la producción de energía renovable.

### ***Amenazas hídricas presentes en la zona***

La zona de San Luis Altos del Cabo, ubicada en la región montañosa, se enfrenta a una serie de amenazas hidrológicas, pues si bien allí se resguarda el páramo cruz verde, se tienen diferentes nacimientos de agua, siendo las crecidas repentinas en épocas de invierno de las quebradas Morací, Sureña y Puente Piedra las más importantes de analizar. Estas quebradas

tienen un caudal mayor al que puede soportar la zona urbana, y pueden experimentar crecidas repentinas durante las épocas de lluvia. Estas crecidas pueden provocar inundaciones, que pueden causar daños a la propiedad, infraestructura y vidas humanas. Los factores que pueden aumentar el riesgo de inundaciones en la zona incluyen:

- El crecimiento urbano: El crecimiento urbano puede provocar la impermeabilización del suelo, lo que dificulta la absorción del agua y aumenta el riesgo de inundaciones.
- La deforestación: La deforestación puede aumentar la escorrentía, lo que también aumenta el riesgo de inundaciones.
- El cambio climático: El cambio climático puede provocar un aumento de las precipitaciones, lo que también puede aumentar el riesgo de inundaciones.

La amenaza de inundaciones en la zona de San Luis Altos del Cabo es una amenaza importante, ya que puede causar daños a la propiedad, infraestructura y vidas humanas. Las crecidas repentinas de las quebradas pueden ser especialmente devastadoras, ya que pueden ocurrir con poca o ninguna advertencia. La frecuencia y magnitud de las inundaciones debe preverse en búsqueda de salvaguardar tanto la vida humana como los ecosistemas.

### **Capítulo III: Metodología de investigación**

En esta propuesta de monografía, se llevará a cabo una investigación de enfoque mixto, combinando elementos cualitativos y cuantitativos a pequeña escala, con un enfoque descriptivo. Este enfoque permitirá obtener una comprensión más completa y básica de las características

hidrológicas y geotécnicas en el sector de San Luis, así como de las percepciones y experiencias de las personas involucradas. El enfoque cualitativo se utilizará para recopilar datos accesibles sobre las experiencias y percepciones de las personas que allí residen, la literatura y otros actores relevantes en relación con las amenazas y vulnerabilidades asociadas a las venidas, crecientes y derrumbes en la región. Se emplearán métodos como entrevistas en profundidad, observaciones y análisis de contenido para capturar y analizar narrativas, opiniones y perspectivas. Por otro lado, el enfoque cuantitativo se utilizará para recopilar datos numéricos y objetivos que nos permitan caracterizar y medir las variables hidrológicas y geotécnicas relevantes en el área de estudio. Se recopilaron datos a través de técnicas de medición, cálculos de ingeniería, modelos digitales y herramientas estadísticas para analizar los datos y obtener resultados cuantitativos. Como se evidencia en el libro “El proceso de la investigación científica” la investigación descriptiva se podrá utilizar para describir y caracterizar las condiciones actuales de manera detallada sin manipular ni controlar variables haciendo una descripción detallada, observación sistemática y dándole un enfoque donde se realizan observaciones a lo largo del tiempo para identificar cambios o tendencias.

En cuanto a la población y muestra En este caso, involucra directamente a la comunidad que reside y transita en el sector de San Luis Altos del Cabo, km 5 vía La Calera, Colombia, utilizando técnicas de muestreo apropiadas para la investigación como lo son:

- Técnicas de recolección de datos - Encuestas - Entrevistas - Observaciones - Análisis de documentos Teniendo en cuenta estos datos, para poder determinar la gestión del riesgo presente en las cuencas hidrográficas en estudio, es importante ejecutar un análisis desde las amenazas y vulnerabilidad ya que al examinar estas condiciones podemos comprender la capacidad de una

comunidad para adaptarse y reconocer a un cambio en su entorno, especialmente en relación con los riesgos y desastres, basándose en un estudio comprendido en las fases:

- Revisión del estado del arte y corroboración de información: Se realizó una revisión detallada de la literatura técnica, artículos científicos, informes técnicos y normativas relevantes. Esta revisión permitirá verificar la información existente y obtener una base sólida para el estudio.

- Visita de campo y conocimiento de la zona de estudio: Se llevó a cabo una serie de visitas al barrio San Luis Altos del Cabo que está situado en los cerros orientales de la ciudad, cerca del páramo de Cruz Verde. La zona en la que se encuentra el barrio ha sido declarada parte de la reserva nacional forestal; todo con el fin de obtener una comprensión detallada de su geografía, topografía y características socioeconómicas. Durante estas visitas, se recopila información relevante sobre la ubicación, las condiciones del terreno y la problemática de venidas, crecientes y derrumbes para lo cual se llevará a cabo una serie de entrevistas a la población general y a los diferentes líderes sociales.

- Aplicación de herramientas SIG y Modelos de terreno: Los modelos de terreno pueden ser utilizados para simular diferentes escenarios y visualizar cómo afectarían al terreno y con ayuda de las herramientas de georreferenciación y bases de datos realizaremos los modelamientos correspondientes con el fin de identificar las zonas críticas usando modelos de terreno para analizar una topografía sin realizar un levantamiento topográfico tradicional lo cual es posible mediante el uso de datos y técnicas de mapeo digital.

- Recopilación de datos: Después de conocer los puntos a estudiar se obtienen los datos hidrológicos de las estaciones ubicadas en la zona de estudio. Se consultaron fuentes confiables, como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para obtener datos precisos y actualizados sobre las precipitaciones en la región.

- Delimitación de las cuencas: utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como ArcGIS y QGIS, se llevó a cabo la delimitación precisa de las cuencas de las quebradas que serán objeto de estudio. Se tuvieron en cuenta parámetros como la topografía, el flujo de agua y otros factores relevantes para definir los límites de cada cuenca.

- Análisis geotécnico: se realizará un estudio geotécnico el cual involucra una serie de actividades que van desde la evaluación topográfica para la caracterización geológica, que lleve a comprender la composición y conformación del suelo para el análisis en laboratorio que defina las propiedades y posibles riesgos geotécnicos presentes en la zona de estudio, como deslizamientos de tierra, erosión, venidas, crecientes entre otros.

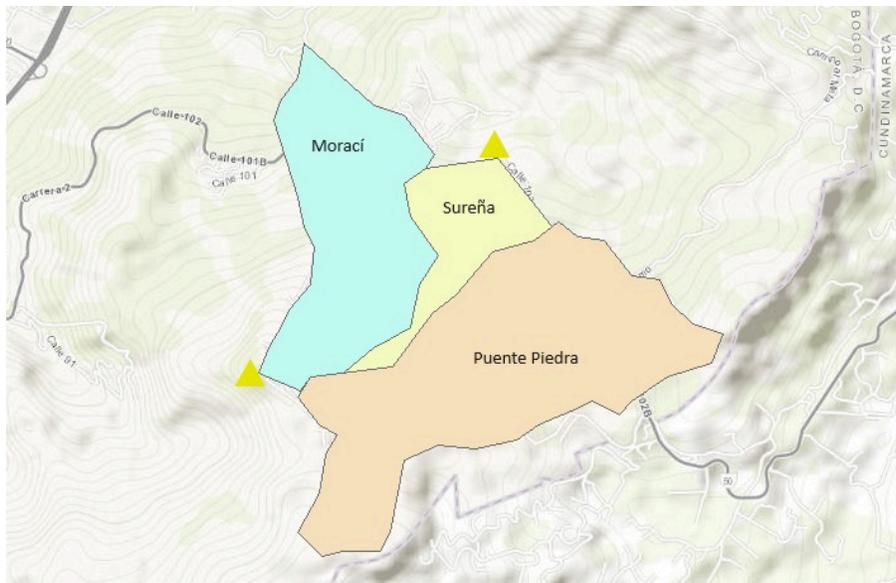
- Modelado hidrológico en IBER: a partir de los datos obtenidos y los datos pluviométricos recopilados, se desarrollaron modelos hidrológicos que permitan simular el comportamiento de las quebradas en relación con eventos de lluvia e inundación. El objetivo es determinar la cota máxima de inundación y el caudal asociado a diferentes escenarios.

- Matriz de amenaza y Vulnerabilidad: De acuerdo con la información que se obtenga, se procederá con la realización de la matriz de amenazas y vulnerabilidad, la cual comprenderá una

evaluación de las amenazas geotécnicas e hidrológicas presentes en la área de estudio, con el fin de establecer unos parámetros propios de la zona de estudio y así, poder establecer unas alternativas que ayuden a mitigar el riesgo, categorizando los niveles de amenaza y vulnerabilidad, para finalmente presentar los resultados obtenidos con el fin de proponer medidas de mitigación y prevención de venidas, crecientes y derrumbes que puedan ser implementadas en la zona de estudio, tales como construcción de obras de drenaje, la mejora de la infraestructura existente, la implementación de sistemas de alerta temprana, matrices de riesgo y educación a la comunidad.

En el marco del análisis sobre la amenaza y vulnerabilidad en el sector de San Luis, Altos del Cabo, se realizan una serie de pasos metodológicos que arrojan resultados significativos. A continuación, se detallan los rasgos más importantes obtenidos en cada etapa de la investigación:

**1. Análisis de las Cuencas:** Identificación de las quebradas en la zona, destacando las principales: Morací, Puente Piedra y Sureña. Caracterización de la afectación específica de cada quebrada, clasificando a Morací como la de mayor tamaño, seguida por Puente Piedra y Sureña. Determinado a partir del método polígonos de Thiessen la precipitación media, con un máximo de 100 mm, indicativo muy similar a los datos conocidos de la ubicación en la zona andina.



*Figura 8 [Estaciones y Cuencas Quebradas San Luis Proyeccion datos precipitacion IDEAM]. [Elaboración Propia] ([ArcMap]).*

**2. Caudales y Tiempos de Retorno:** Se genera un cálculo preciso de los caudales y tiempos de retorno para cada cuenca a 5 años. para la obtención de intensidades promedio en las IDF de la zona entre 57.36 y 40.94, indicando así la tasa a la que se espera que ocurra la precipitación durante un evento de lluvia de esa magnitud. En otras palabras, representan la cantidad de lluvia que cae por hora durante el período de mayor intensidad del evento.

**3. Estudio Geotécnico:** Se hace una investigación de la historia geológica y evolución del paisaje en la zona de estudio para así identificar los impactos de los asentamientos humanos en la ecología y ambiente local. Además, encontrando su ubicación en una zona de alto impacto geológico por sus múltiples formaciones la presencia de fallas, pliegues y formaciones geológicas, lo cual contribuye a comprender mejor la geodinámica del área.

**4. Modelo Geotécnico:** Se trabaja a base de información cercana a la zona para comprender mejor su composición y comportamiento analizando posibles dificultades y riesgos de remoción en masa, fundamentales para la planificación y mitigación de desastres. para lo cual a partir de un modelo geotécnico proyectado arroja un factor de seguridad de 1.5, indicando una relativa estabilidad frente a eventos naturales, pero sin contar los diferentes frentes que indican un riesgo alto para la zona frente a posibles eventos extremos.

**5. Modelo Hidráulico:** A partir de los caudales anteriormente encontrados se analiza con modelos digitales para comprender y predecir el comportamiento del flujo de agua en las quebradas estudiadas y así analizar si esto tiene desbordamientos o el por que afecta a la región; En el modelo de IBER ninguna de las tres quebradas se desborda a pesar de los picos de altos de flujos de agua, esto indica que el modelo ha simulado correctamente la capacidad de las quebradas para contener el agua dentro de su cauce, Sin embargo, es importante considerar algunas limitaciones del modelo.

**5. Matrices de amenaza y vulnerabilidad.** Tras realizar una investigación a fondo, que abarcó la revisión de datos geotécnicos, hidráulicos, mapas, el análisis de fuentes históricas, visitas de campo y la consulta con los habitantes locales, se procedió a evaluar detalladamente la amenaza y vulnerabilidad en el sector de San Luis, Altos del Cabo. Este análisis se llevó a cabo mediante matrices que permitieron una evaluación integral de los riesgos presentes en la zona.

- **Eventos de inundación e incendio:** Se identificó un riesgo alto de eventos de inundación e incendio. Este hallazgo se fundamenta en la presencia de quebradas, la alta

precipitación media registrada y los testimonios de la comunidad sobre eventos previos de inundaciones e incendios forestales.

- **Remoción en Masa**: Se determinó un riesgo medio-alto para eventos de remoción en masa. Esta evaluación se basa en la geología del área, la presencia de fallas y pliegues geológicos, así como en los datos obtenidos durante el estudio geotécnico, que indicaron condiciones propicias para este tipo de eventos.

## Capítulo IV: Análisis Hidrológico y Geotécnico

### **Análisis Hidrológico:**

El análisis hidrológico es el proceso de recopilación, análisis e interpretación de datos hidrológicos para comprender el comportamiento del agua en la naturaleza. En el caso del proyecto “ANÁLISIS DE AMENAZAS Y VULNERABILIDADES ANTE INUNDACIONES Y EVENTOS GEOLÓGICOS: SECTOR DE SAN LUIS ALTOS DEL CABO, KM 5 VÍA A LA CALERA”, el análisis hidrológico se utilizó para estimar el caudal de las quebradas Morací, Sureña y Puente Piedra.

#### ***1. Determinación de las cuencas:***

El análisis de las cuencas en el sector San Luis altos del Cabo km 5 vía La Calera se basó en una serie de pasos que mostraran la realidad de las vertientes hidrológicas de la zona, para posteriormente analizarlas de manera clara y concisa, siguiendo una serie de pasos tales como:

- a. **Obtención de datos:** Se obtuvieron imágenes satelitales de la zona a partir de un proveedor de imágenes satelitales de versión libre como lo es EARTHDATA; Las imágenes se seleccionaron de acuerdo con la resolución espacial y temporal adecuadas. Esta información ofrece una perspectiva integral y actualizada de la dinámica hidrológica de la región, facilitando así la identificación de patrones necesarios para la investigación.

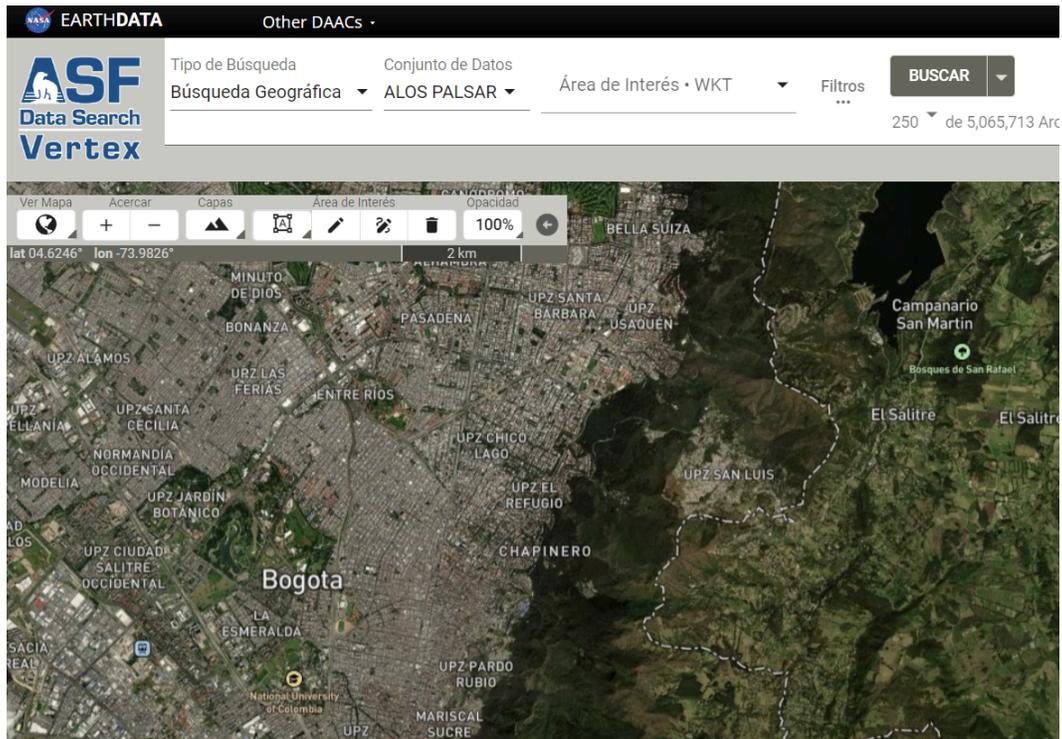


Figura 9 [Imágenes Satelitales MDT]. Tomada de [<https://search.asf.alaska.edu/#/>] ([en Línea]).

- b. **Preprocesamiento de datos:** Las imágenes se procesaron con el fin de hallar los cauces y las entregas de agua de la zona para posteriormente generar una segmentación de la cuenca para identificar las subcuencas dentro de la cuenca principal. que en este caso son la quebrada MORACÍ, SUREÑA Y PUENTE PIEDRA analizando sus tamaños, forma, pendiente y cobertura del suelo.



*Figura 10[Quebradas]. [Elaboración Propia] ([Google Earth]).*

La lógica de las cuencas en este sector está determinada por una serie de factores, entre los que se encuentran:

- La topografía: El sector se encuentra en una zona de alta montaña, lo que genera una pendiente pronunciada. Esta pendiente influye en el flujo de las aguas y en la probabilidad de venidas, crecientes y derrumbes.
- El clima: El sector tiene un clima frío, con una precipitación anual promedio de 1,100 mm. Esta precipitación es variable a lo largo del año, lo que aumenta el riesgo de venidas, crecientes y derrumbes durante los períodos de lluvias intensas.
- El uso del suelo: El sector está urbanizado en gran parte. La urbanización altera la cobertura vegetal y aumenta la impermeabilidad del suelo, lo que también incrementa el riesgo de venidas, crecientes y derrumbes.

Tabla 1 Promedios mensuales de precipitaciones Estación Cerro Cazadores. Datos tomados del geoportel del IDEAM. [Elaboración propia.]

CERRO CAZADORES [21206890]														
		MES												PPA
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	
AÑO	2018	35,1	107,9	165,1	228,8	108,7	59,5	75,7	57,7	55,4	74,2	139,9	26,8	94,6
	2019	37,3	42,9	159,5	151,2	99,1	115,4	65,2	53,5	128,0	82,0	179,3	116,7	102,5
	2020	105,0	186,3	162,3	52,6	76,7	89,5	113,8	43,6	63,9	44,7	291,1	88,6	109,8
	2021	19,1	50,5	102,2	153,7	124,3	155,5	75,5	102,1	44,7	121,5	98,9	35,5	90,3
PRECIPITACIÓN MENSUAL	MIN	19,1	42,9	102,2	52,6	76,7	59,5	65,2	43,6	44,7	44,7	98,9	26,8	56,4
	MED	49,1	96,9	147,3	146,6	102,2	105,0	82,6	64,2	73,0	80,6	177,3	66,9	99,3
	MAX	105,0	186,3	165,1	228,8	124,3	155,5	113,8	102,1	128,0	121,5	291,1	116,7	153,2

Tabla 2 Promedios mensuales de precipitaciones Estación Escuela Pedagógica. Datos tomados del geoportel del IDEAM. [Elaboración propia.]

E SC. PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL [2120000139]														
		MES												PPA
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	
AÑO	2018	40,6	75,7	148,1	145,2	107,5	108,9	93,9	68,5	68,1	91,9	69,0	23,4	86,7
	2019	32,6	32,6	136,4	199,8	92,9	129,7	75,8	54,2	110,3	67,7	248,8	68,8	104,1
	2020	116,9	191,1	205,6	69,3	75,0	74,8	124,2	49,4	78,4	55,3	338,0	90,2	122,4
	2021	11,5	32,3	138,6	111,4	116,8	135,6	75,8	114,6	50,7	128,9	135,6	55,0	92,2
PRECIPITACIÓN MENSUAL	MIN	11,5	32,3	136,4	69,3	75,0	74,8	75,8	49,4	50,7	55,3	69,0	23,4	60,2
	MED	50,4	82,9	157,2	131,4	98,0	112,3	92,4	71,7	76,9	86,0	197,9	59,4	101,4
	MAX	116,9	191,1	205,6	199,8	116,8	135,6	124,2	114,6	110,3	128,9	338,0	90,2	156,0

Tabla 3 Promedios mensuales de precipitaciones Estación la Casita. Datos tomados del geoportel del IDEAM. [Elaboración propia.]

CASITA LA [21201120]														
		MES												PPA
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	
AÑO	2018	20,5	34,0	180,6	306,1	139,3	114,3	82,5	84,3	47,2	64,1	31,3	17,0	93,4
	2019	31,6	15,3	68,0	204,0	135,6	135,4	89,7	43,2	64,5	75,2	69,7	36,2	80,7
	2020	20,7	105,9	107,4	27,7	50,9	102,6	134,9	26,5	23,7	13,5	449,6	48,8	92,7
	2021	16,2	33,6	203,1	92,4	163,0	86,0	120,3	124,2	82,3	98,9	83,3	31,9	94,6
PRECIPITACIÓN MENSUAL	MIN	16,2	15,3	68,0	27,7	50,9	86,0	82,5	26,5	23,7	13,5	31,3	17,0	38,2
	MED	22,3	47,2	139,8	157,6	122,2	109,6	106,9	69,6	54,4	62,9	158,5	33,5	90,4
	MAX	31,6	105,9	203,1	306,1	163,0	135,4	134,9	124,2	82,3	98,9	449,6	48,8	157,0

### ***Análisis de las precipitaciones mensuales en el sector de San Luis Altos del Cabo***

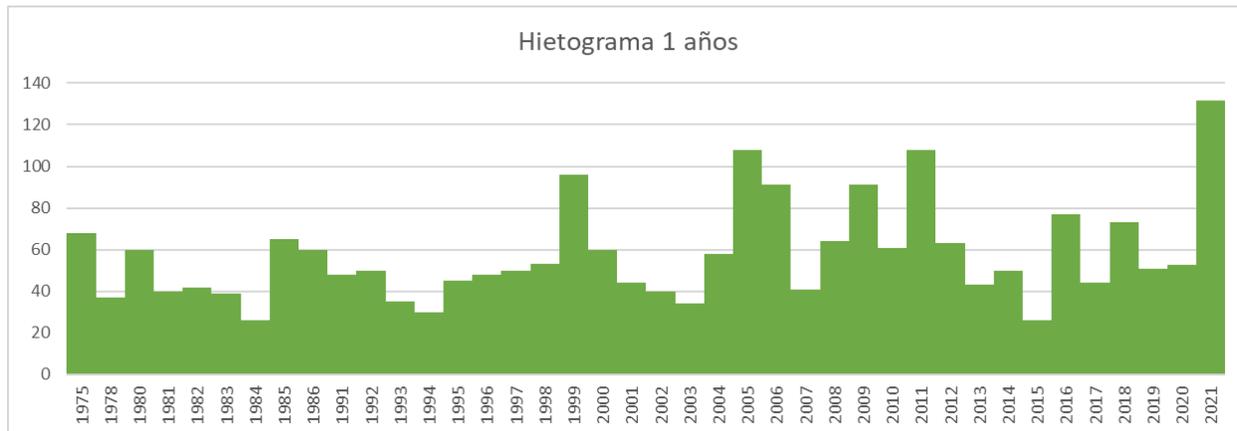
La precipitación es un factor importante que determina el riesgo de inundaciones en un sector. En el sector de San Luis Altos del Cabo, la precipitación mensual promedio es de 99,3 mm. Esto significa que el sector recibe una cantidad relativamente baja de precipitación, lo que reduce el riesgo de venidas, crecientes y derrumbes. Sin embargo, la precipitación es más variable en la estación Casita LA, que es la más alejada de la zona y la de menor altitud. Esto se debe a que la humedad se condensa en las capas de aire más frías de la atmósfera, por lo que la precipitación es mayor en las zonas de mayor altitud.

Es cierto que, incluso con una precipitación mensual relativamente baja, el sector de San Luis Altos del Cabo puede sufrir venidas, derrumbes y crecientes. Esto se debe a que la población ha crecido en la zona, lo que ha aumentado la cantidad de esorrentía. Además, el sector no cuenta con un sistema de drenaje adecuado, lo que dificulta la evacuación del agua.

### ***Hietogramas***

Un hietograma es una representación gráfica de una distribución temporal de la precipitación máxima anual durante un evento particular. Para el sector de estudio es muy importante contar con esto ya que nos muestra si realmente la zona tiene afecciones por causa de las altas precipitaciones y poder entender cómo puede verse la variación de la precipitación a lo largo del tiempo en la zona, lo cual es de gran ayuda para cuestionar una respuesta de una cuenca hidrológica y realizar actividades de prevención y mitigación de riesgos futuros en el sector de San Luis teniendo de las estaciones más cercanas:

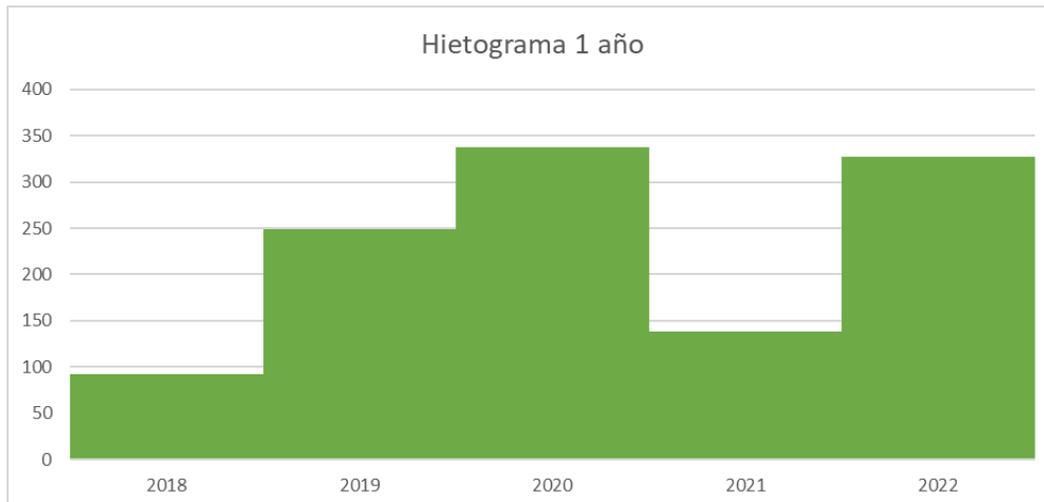
- CASITA LA:



*Gráfica 1 [Hietograma 1 año Estación CASITA LA]. Datos tomados del geoportal del IDEAM. [Elaboración propia.] ([2023]).*

En la Gráfica 1 se tiene en cuenta los datos obtenidos de la estación Casita la, se puede observar que se presentan distintos picos entre los 6 a los 5 años lo cual es un indicio de que este tiempo de retorno a trabajar se estará comportando inicialmente en estos años, mayormente se tienden a presentarse continuamente después del año de 1999, de igual manera antes de este año se presentan diversos picos, pero con una precipitación no mayor a los 70 mm anuales.

- ESCUELA PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL



*Gráfica 2 [Hietograma 1 año Estación ESCUELA PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL]. Datos tomados del geoportal del IDEAM. [Elaboración propia.] ([2023]).*

En la gráfica 3, tomada de la estación Escuela Pedagógica Experimental, en esta estación la precipitación aumentó gradualmente de 2018 a 2020, alcanzando un máximo de 338 mm en 2020. Sin embargo, en 2021 la precipitación se redujo drásticamente, a sólo 138 mm. Esta disminución representa una caída de más del 50% en la precipitación anual. Una de las posibles explicaciones para este fenómeno es que se deba a un fenómeno meteorológico natural, como un fenómeno de La Niña.

### ***Polígonos de Thiessen***

El método de Thiessen es un método que se utiliza para asignar una precipitación a un punto del espacio basándose en las precipitaciones de las estaciones meteorológicas más cercanas. Este método es sencillo y fácil de aplicar, y proporciona una estimación razonable de la precipitación en un punto del espacio que, en el caso del sector de San Luis Altos del Cabo, se utilizan tres estaciones meteorológicas para estimar la precipitación en el sector. Sin embargo, las

estaciones meteorológicas no están ubicadas en el mismo lugar, por lo que la precipitación que registran puede variar. Por ejemplo, la estación Cerro Cazadores, que está ubicada a mayor altitud, recibe más precipitación que la estación Casita LA, que está ubicada a menor altitud, pero es importante tener en cuenta que CASITA LA no aporta a los datos por su lejanía, sino su función principal es cerrar el polígono de áreas.

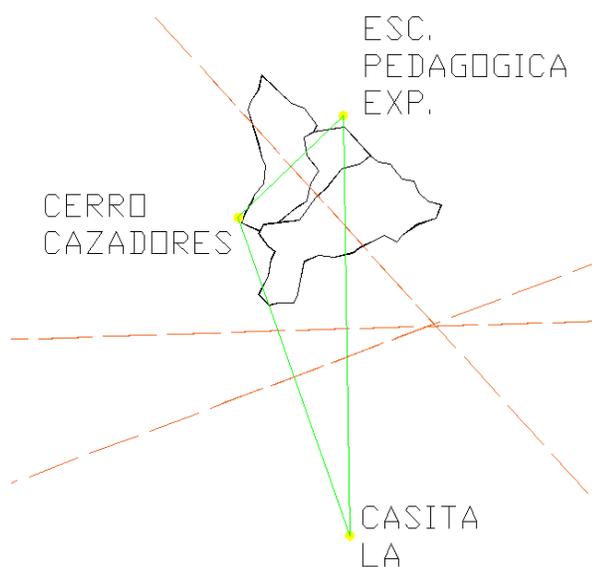


Figura 11 [Polígonos de Thiessen San Luis altos del cabo]. Estaciones Tomadas del IDEAM [Elaboración propia].

Tabla 4 Áreas Quebradas Export QGIS.

Id	Nombre	Área (m <sup>2</sup> )	Área (Ha)
1	Que_Moraci	886.954	88.7
2	Que_Sureña	321.687	32.2
3	Que_Puentep	1.509.853	151

Tabla 5 Áreas Polígonos de Thiessen Área de estudio.

POLIGONOS DE THIESSEN				
ÁREA TOTAL 1	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	Pm
2,751,714	1,608,342	1,143,568	0,000	100,165

AREA TOTAL 1	AREA (Ha)	AREA 2 (Ha)	AREA 3 (Ha)
0,275	0,16	0,114	0

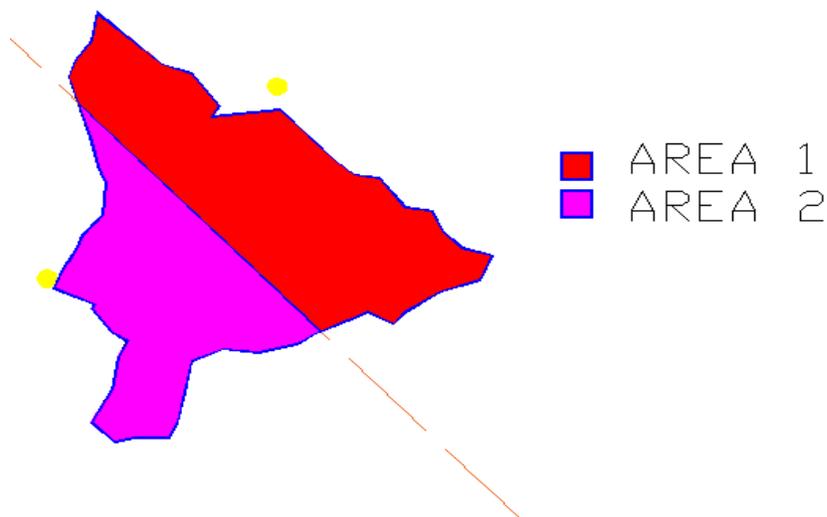


Figura 12[Áreas Cuencas por Polígonos de Thiessen San Luis altos del cabo]. Tomada de [Elaboración propia].

El método de Thiessen permite asignar una precipitación a un punto del espacio basándose en las precipitaciones de las estaciones meteorológicas más cercanas. En el caso del sector de San Luis Altos del Cabo, las estaciones meteorológicas se agrupan en polígonos de Thiessen. Cada polígono representa el área que está más cerca de una determinada estación meteorológica.

### **Tiempo de Retorno:**

El tiempo de retorno representa un intervalo de tiempo teniendo en cuenta las ocurrencias de los diversos eventos meteorológicos, estos eventos están dados principalmente por una crecida o una sequía de alguna magnitud específica. Para este caso, se realiza un análisis utilizando el método de Weibull, ya que se ejecuta un análisis tomando principalmente una serie de datos máximos anuales. Dicho método se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$T = (n + 1)/m \text{ Obteniendo:}$$

Tabla 6 Tiempos de retorno Estación Cerro Cazadores Datos tomados del geoportal del IDEAM. Elaboración propia.

CERRO CAZADORES [21206890]							
AÑO		PRECIPITACIÓN MÁX MENSUAL	AÑO	PRECIPITACIÓN MÁX MENSUAL	No. DE ORDEN	PROBABILIDAD	PERIODO DE RETORNO
	2018	228,8	2020	291,1	1	20	5,000
	2019	179,3	2018	228,8	2	40	2,500
	2020	291,1	2019	179,3	3	60	1,667
	2021	155,5	2021	155,5	4	80	1,250

Tabla 7 Tiempos de retorno Estación Pedagógica Experimental Datos tomados del geoportal del IDEAM. Elaboración propia.

ESC. PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL [2120000139]							
AÑO		PRECIPITACIÓN MÁX MENSUAL	AÑO	PRECIPITACIÓN MÁX MENSUAL	No. DE ORDEN	PROBABILIDAD	PERIODO DE RETORNO
	2018	149,6	2020	338,0	1	20	5,000
	2019	248,8	2019	248,8	2	40	2,500
	2020	338	2018	149,6	3	60	1,667
	2021	138,6	2021	138,6	4	80	1,250

Tabla 8 Tiempos de retorno Estación Casita LA, Datos tomados del geoportal del IDEAM. Elaboración propia.

CASITA LA [21201120]							
AÑO		PRECIPITACIÓN MÁX MENSUAL	AÑO	PRECIPITACIÓN MÁX MENSUAL	No. DE ORDEN	PROBABILIDAD	PERIODO DE RETORNO
	2018	306,1	2020	449,6	1	20	5,000
	2019	204	2018	306,1	2	40	2,500
	2020	449,6	2019	204	3	60	1,667
	2021	203,1	2021	203,1	4	80	1,250

Los resultados arrojados en las tablas salieron a partir del método de Weibull. Este método se basa en una distribución de probabilidad continua que se puede utilizar para modelar la intensidad de la precipitación. En este caso, los parámetros de Weibull se estimaron utilizando los datos de precipitación de las tres estaciones meteorológicas. Los resultados del análisis mostraron que el tiempo de retorno de 5 años es el más probable, aunque puede variar en función de las condiciones climáticas específicas de la zona, si se tuvieran más datos podrían encontrarse otros valores.

La precipitación máxima anual de esos 4 años de valores arroja un tiempo de retorno de 5 años significa que, en promedio, se espera que una tormenta de esa intensidad ocurra una vez cada 5 años. Si se observan los registros de precipitación durante un período de 25 años, se espera que se produzcan 5 tormentas de esa intensidad. Los resultados de análisis mostraron que el tiempo de retorno es de 5 años ya que es la probabilidad que nos muestra este método teniendo en cuenta la precipitación máxima Anual de cada una de nuestras estaciones.

***Tiempo de Concentración:***

El tiempo de concentración ( $T_c$ ) de una cuenca se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de la cuenca aporten agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre (Chow et al., 1988). Se determina por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante (Maidment, 1993).

El método de Témez (1972) es una fórmula empírica para calcular el tiempo de concentración ( $T_c$ ) de una cuenca hidrográfica. Se basa en la relación entre el tiempo de concentración, la longitud de la cuenca principal ( $L$ ) y la pendiente media de la cuenca ( $S$ ).

- Tc: Tiempo de concentración (min).
- L: Longitud de la cuenca principal (Km).
- S: Pendiente media de la cuenca (%).

$$T_c = 0.3 \left( \frac{L}{S_0^{0.25}} \right)^{0.75}$$

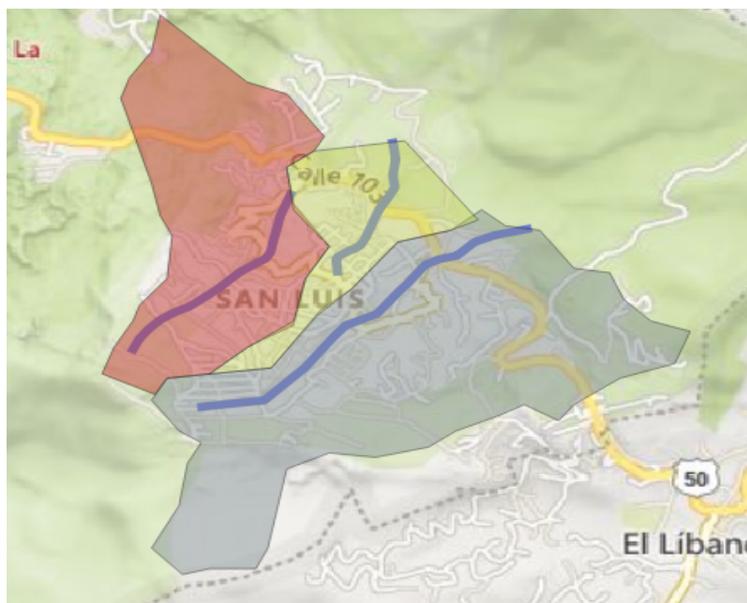


Figura 13 Longitud Cauces quebradas. Fuente. Propia.

Tabla 9 Tiempos de concentración Cuencas. Elaboración propia.

	L CAUCE (m)	L CAUCE (Km)	Cota Mayor	Cota Menor	$\Delta$ (m)	PENDIENTE %	PENDIENTE m/m	T DE CON (m)	T DE CON (m)
Puente Piedra	1015.2	101.523	3185	2894	291	28.66	287	32.48	40.00
Morací	1586.5	158.655	3252	2951	301	18.97	190	49.59	50.00
Sureña	682.0	68.203	2982	2865	117	17.15	172	26.40	30.00

### ***Coefficiente de escorrentía:***

El coeficiente de escorrentía es un factor que representa la proporción de la precipitación que se convierte en escorrentía superficial. El valor del coeficiente de escorrentía puede variar en función de factores como el tipo de suelo, la cobertura vegetal y el uso del suelo, para el caso de

estudio se tomaron los valores del libro de Ven Te Chow. El barrio cuenta con diferentes tipos de suelos, cada uno con un coeficiente de escorrentía diferente. Por ejemplo, los suelos con buen drenaje, como los suelos arenosos, tienen un coeficiente de escorrentía más alto que los suelos con mal drenaje, como los suelos arcillosos.



Figura 14[Uso del suelo San Luis Altos del Cabo]. Tomada del [Plan de Ordenamiento territorial] ([2021]). [En línea], p. 5.”

La tabla que estás analizando muestra el porcentaje de área que ocupa cada tipo de suelo en el barrio. Para calcular el promedio de coeficiente de escorrentía, se debe multiplicar el coeficiente de escorrentía de cada tipo de suelo por su porcentaje de área y luego dividir la suma por 100.

Tabla 10 Porcentaje de área que ocupa el tipo de suelo. Elaboración propia.

SUELO	TR-5AÑOS	% DE ÁREA	ÁREA TOTAL CUENCA	% ÁREA SUELO
ASFALTO	0,77	10	2751714	275171,4
ZONAS VERDES	0,4	40	2751715	1100685,903
ZONAS RURALES	0,36	20	2751715	550342,9514
COMERCIALES	0,87	30	2751715	825514,4271
<b>TOTAL</b>				<b>0,5700001356</b>

el coeficiente de escorrentía se estimó en 0,57. Este valor es aceptable para el tipo de cuenca hidrográfica con un suelo con buen drenaje y una cobertura vegetal densa. Este promedio se puede utilizar para estimar el caudal de diseño de la cuenca hidrográfica del barrio. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este promedio es sólo una estimación.

### ***Generación de curvas IDF para el cálculo del caudal de diseño por el método racional***

El método racional es un método sencillo para estimar el caudal de diseño de una cuenca hidrográfica. Este método se basa en la siguiente ecuación:

$$Q = CIA/360$$

- Q: Caudal máximo [m<sup>3</sup>/s] C: Coeficiente de escorrentía, en este Tutorial encontrarás algunos valores para cuencas Rurales y Urbanas.
- I: Intensidad de la Lluvia de Diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño (Curvas de I-D-F) [mm/h].
- A: Área de la cuenca. [Ha].
- 360 es un factor de conversión para pasar de mm/h a m<sup>3</sup>/s.

Para utilizar el método racional, es necesario conocer la intensidad de la precipitación para el período de diseño. En el caso del sector de San Luis Altos del Cabo, se pueden utilizar las precipitaciones anuales de las estaciones meteorológicas para generar las curvas IDF.

El método simplificado de cálculo de curvas IDF se utiliza cuando no se dispone de datos históricos de precipitación de corta duración (datos pluviográficos). Para este caso, este método se basa en la correlación entre la precipitación máxima promedio anual en 24 horas y la

intensidad de precipitación para diferentes períodos de retorno y duraciones. La fórmula para hallarla es:

$$i = \frac{a \times T^b \times M^d}{(t/60)^c} \quad [2.103]$$

- Donde: i: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).
- T: Periodo de retorno, en años.
- M: Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual
- t: Duración de la lluvia, en minutos (min).
- a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados como se presenta en la Figura 2.13, y sus valores se presentan en la Tabla 2.12.

*Figura 14 [Cálculo de IDF Manual de drenaje INVIAS]. Tomada de [Manual de drenaje de carreteras] ([2009]). En [Línea 7 dic 2023], p. 71."*

Los parámetros a, b, c, y d se han regionalizado para Colombia, según la Figura 2.13 del Manual de drenaje del INVIAS. En el caso de estudio se tiene la ubicación en la zona andina, los valores de estos parámetros se presentan en la Tabla 2.12.

**Tabla 2.12. - Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia**

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

*Figura 15 [Coeficientes IDF Colombia]. Tomada de [Manual de drenaje de carreteras] ([2009]). En [Línea 7 dic 2023], p. 71."*

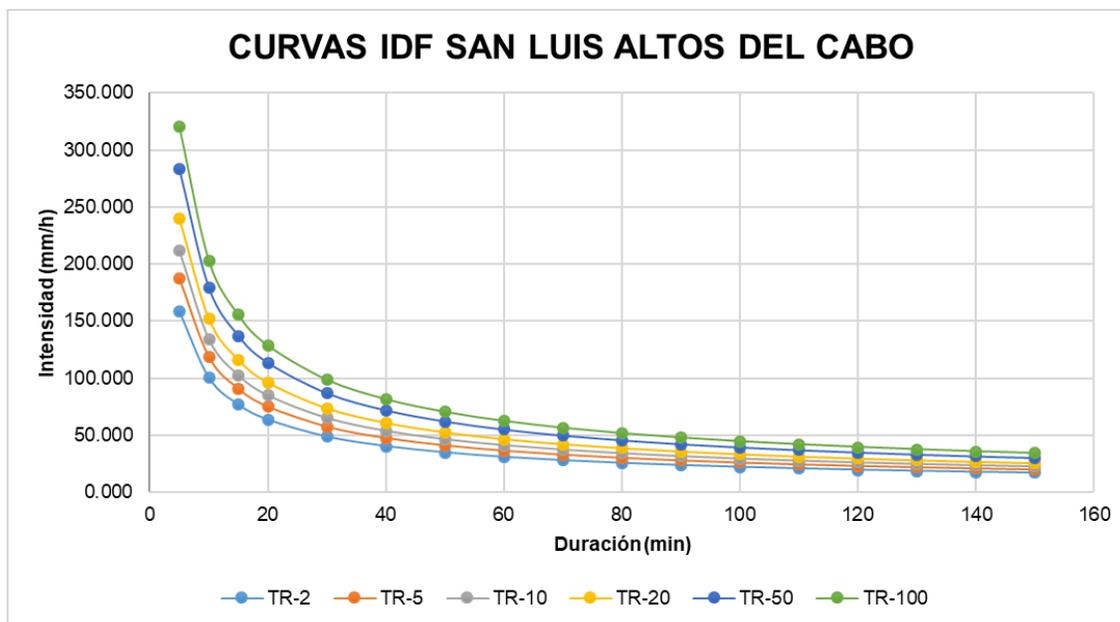
El parámetro M es la precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual. Es un parámetro importante en el método simplificado de cálculo de curvas IDF, ya que se utiliza para estimar la intensidad de precipitación para diferentes períodos de retorno y duraciones. En este caso se obtuvo a partir de los datos pluviográficos; la precipitación máxima registrada en 24 horas:

*Tabla 11 Valores Zona Andina Según Manual de drenaje INVIAS.*

<b>A</b>	<b>0,94</b>
<b>B</b>	<b>0,18</b>
<b>C</b>	<b>0,66</b>
<b>D</b>	<b>0,83</b>
<b>M</b>	<b>57,58</b>

*Tabla 12 Diseño curvas IDF. Elaboración propia.*

IDF	Tiempo de Retorno					
	2	5	10	20	50	100
<b>Duración (m)</b>						
5	158,708	187,166	212,038	240,214	283,288	320,932
10	100,443	118,453	134,194	152,026	179,287	203,111
15	76,860	90,642	102,686	116,332	137,192	155,422
20	63,568	74,967	84,928	96,214	113,467	128,544
30	48,643	57,365	64,988	73,624	86,826	98,363
40	40,231	47,445	53,749	60,892	71,811	81,353
50	34,721	40,948	46,389	52,553	61,977	70,212
60	30,785	36,305	41,129	46,595	54,950	62,252
70	27,807	32,793	37,151	42,088	49,634	56,230
80	25,461	30,027	34,017	38,537	45,447	51,487
90	23,557	27,781	31,473	35,655	42,048	47,636
100	21,974	25,915	29,358	33,260	39,224	44,436
110	20,635	24,335	27,569	31,232	36,832	41,727
120	19,483	22,977	26,030	29,489	34,777	39,398
130	18,481	21,794	24,691	27,972	32,987	37,371
140	17,598	20,754	23,512	26,636	31,413	35,587
150	16,815	19,830	2,465	25,451	30,014	34,003



Gráfica 3 Diseño de curvas IDF. Elaboración propia.

La intensidad de precipitación es la cantidad de precipitación que cae en un período de tiempo determinado, Para el caso de estudio según los datos obtenidos de precipitación el estudio se da en un tiempo de retorno de 5 años a 15 minutos que es de 90,642 mm/h. Esto significa que, durante una tormenta de 5 años, caerán 90,642 mm de precipitación en una hora, para una cuenca de área de 2.75km<sup>2</sup>.

Tabla 13 Datos para el cálculo de Caudal por el método racional IDF. Elaboración propia.

CAUDALES POR CUENCA					
	Área (Ha)	Área (Km)	i	c	Caudal m <sup>3</sup> /s
<b>Puente Piedra</b>	89	0.89	47.445	0.57	6.68
<b>Moraci</b>	150	1.5	40.948	0.57	9.72
<b>Sureña</b>	36	0.36	57.365	0.57	3.26

$$Q = CIA/360$$

El factor 360 en la ecuación del método racional es una constante que se utiliza para convertir la intensidad de precipitación de mm/h a m<sup>3</sup>/s. La intensidad de precipitación se mide en mm/h, que es la cantidad de precipitación que cae en un área de 1 m<sup>2</sup> en un período de 1 hora. Para convertir la intensidad de precipitación a m<sup>3</sup>/s, se debe dividir por el volumen de un m<sup>3</sup>.

*Tabla 14 Datos para el cálculo de Caudal por el método racional IDF. Elaboración propia.*

CAUDALES POR CUENCA	
	Q m <sup>3</sup> /s
Puente Piedra	6,685
Morací	9,725
Sureña	3,269

El caudal máximo recolectado por tres quebradas en un área aproximada de 3.1 km<sup>2</sup> en la zona de San Luis Altos del Cabo es de 19.68 m<sup>3</sup>/s. Aunque este caudal es el caudal máximo, se podría llegar a considerar alto para el área estudiada. En primer lugar, estas quebradas son las principales fuentes de agua para el área y están ubicadas en una región con una topografía montañosa. Lo cual es de esperar que estas quebradas experimenten un flujo significativo de agua, especialmente durante períodos de precipitación intensa. ajustándose al ciclo hidrológico regional. En muchas regiones montañosas, se observan variaciones estacionales en los caudales de los ríos y quebradas debido a los patrones de precipitación.

### **Análisis Geotécnico:**

La Sabana de Bogotá, ubicada en la Cordillera Oriental de Colombia, es un extenso altiplano que alberga a la capital del país y a una población de más de 10 millones de personas. Esta región, caracterizada por su clima templado y su paisaje ondulado, esconde una historia geológica compleja que ha dado forma a su relieve y ha condicionado su desarrollo urbano.

Las rocas que afloran en la Sabana de Bogotá narran una historia que se remonta a millones de años. Las más antiguas, pertenecientes a la Formación Guaduas, datan del Cretácico Superior y se formaron en un ambiente marino. Posteriormente, durante el Paleoceno, se depositaron los sedimentos que dieron origen a la Formación Bogotá, una secuencia de lutitas, calizas y areniscas. Finalmente, en el Eoceno, se formó la Formación Une, compuesta principalmente por areniscas.

El paisaje de San Luis Altos del Cabo, ubicado en la UPZ 89 de Chapinero, Bogotá, Colombia, es una parte importante de la historia geológica de la región. A lo largo de millones de años, las fuerzas tectónicas, la erosión, el clima y la actividad humana han transformado este territorio, creando un paisaje único y complejo que, a su vez, es una ventana al pasado de la Cordillera Oriental, una de las cadenas montañosas más importantes de América del Sur.

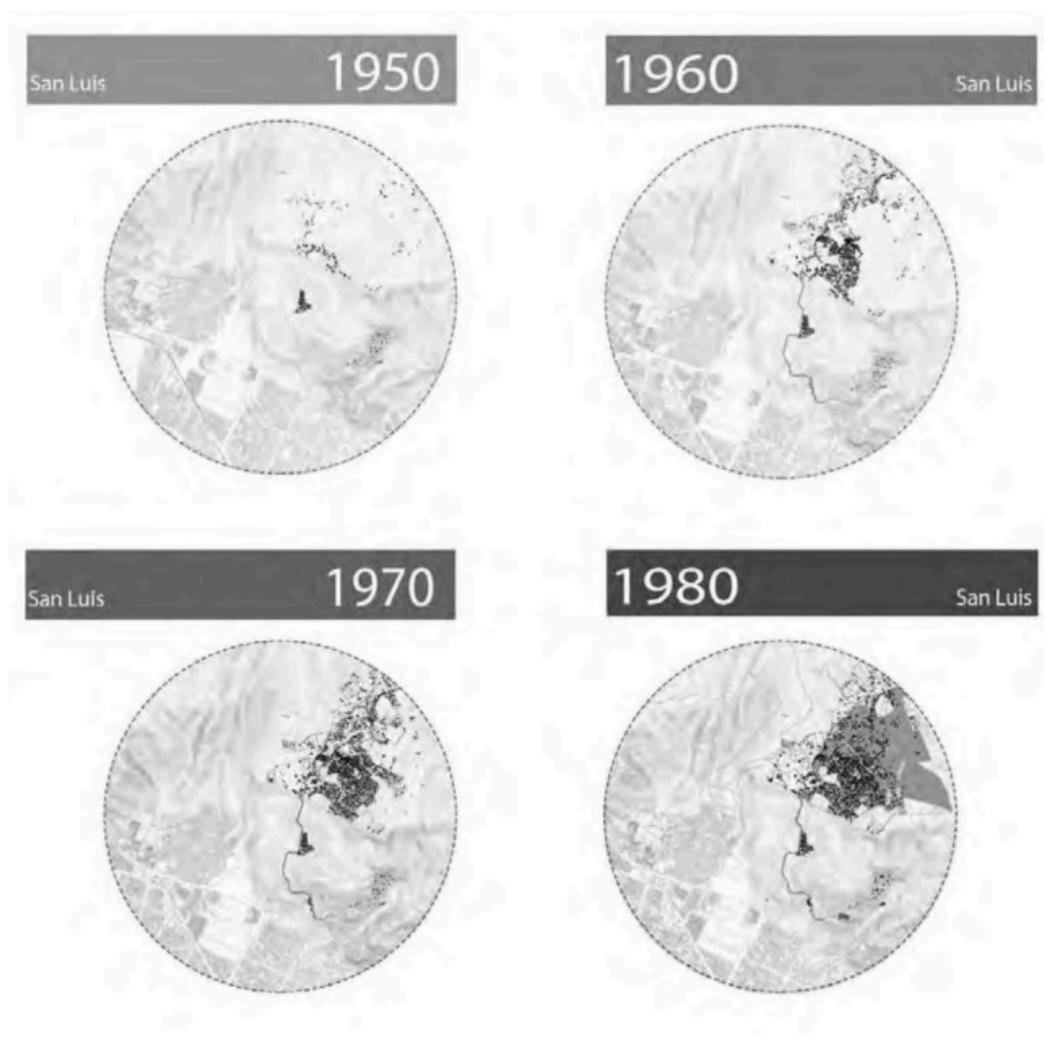
### ***Monitorización del cambio:***

#### **- Siglo XIX**

Antes de 1969, la zona rural de San Luis Altos del Cabo en Bogotá, Colombia, estaba inmersa en un paisaje predominantemente agrícola y ganadero. La población era considerablemente menor en comparación con la actualidad, con comunidades dispersas y pequeñas fincas que se dedicaban principalmente a la producción agrícola y a la cría de ganado. La agricultura era la columna vertebral de la economía local, con cultivos tradicionales como maíz, frijoles, yuca y papas, que se cultivaban en las tierras fértiles de la región. La ganadería

también desempeñaba un papel importante, con pastizales que proporcionaban alimento para el ganado vacuno y ovino.

La infraestructura vial era escasa y se encontraba en condiciones precarias. Las carreteras sin pavimentar y los caminos de tierra dificultan el acceso a la zona, lo que limitaba el comercio y la movilidad de los habitantes. El transporte de productos agrícolas y ganaderos era especialmente desafiante debido a estas condiciones. El acceso a servicios básicos como agua potable y electricidad era limitado y, en muchos casos, inexistente. Las comunidades dependían en gran medida de fuentes naturales de agua, como arroyos y manantiales, y la electrificación de la zona era un lujo que aún no estaba al alcance de todos los habitantes. en ese entonces aún Bogotá no se había expandido de tal manera que contara con información de esta zona como propia de su distrito capital.



*Figura 16 Mapa del Estado de Cundinamarca (1865) En línea [https://issuu.com/centrosurbanos/docs/2015-ii\\_San\\_luis](https://issuu.com/centrosurbanos/docs/2015-ii_San_luis) [Atlas Eclético proyecto centros urbanos] 3 marzo de 2024.*

Ya en la actualidad desde que la tecnología evolucionó a tal punto de dejarnos una recopilación de información hasta la actualidad se puede encontrar como ha venido evolucionando el paisaje con el paso del tiempo; para este informe, se ha optado por utilizar imágenes satelitales de Google Earth como herramienta principal para analizar el cambio de paisaje en la zona de estudio.

- **1969**

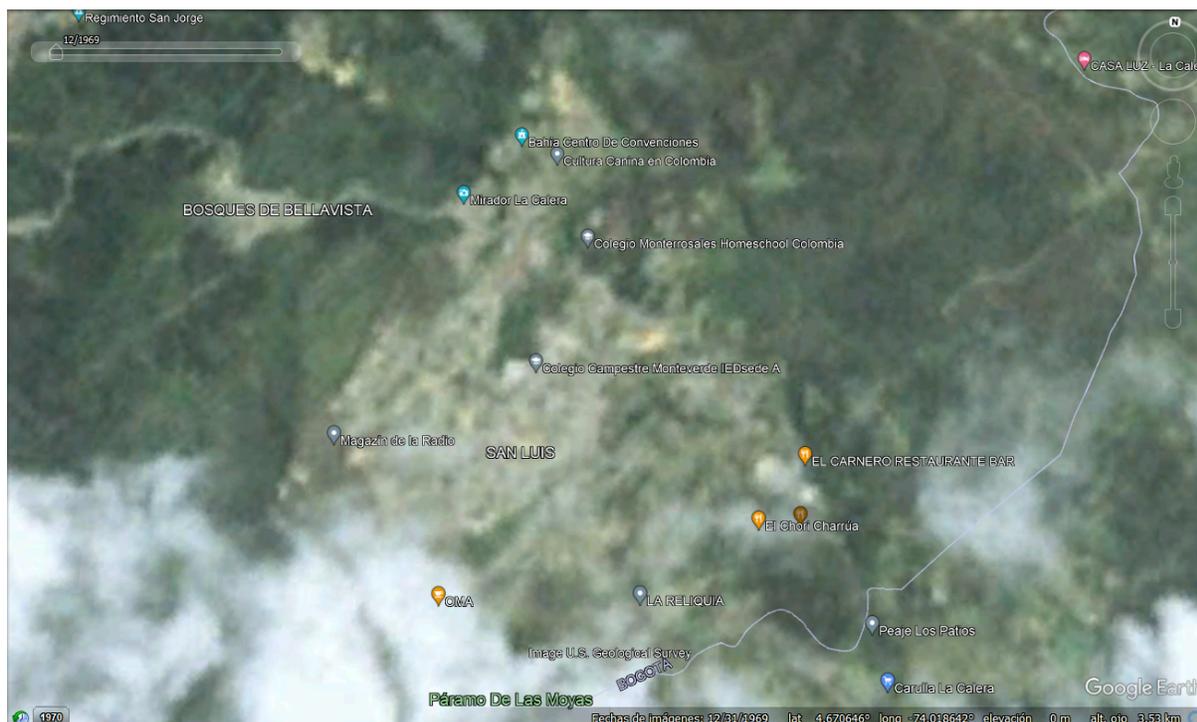


Figura 17 [Evolución zona de estudio San Luis altos del cabo junio 1969 En línea]. [Google Earth].

### Características generales:

- La imagen muestra una zona principalmente rural, con áreas de bosque y vegetación natural.
- Se observan algunos caminos de tierra y pequeñas construcciones dispersas.
- No hay evidencia de una expansión urbana significativa.
- Se observa la presencia de algunos cuerpos de agua, como lagunas y arroyos.
- En la parte central de la imagen se observa un área con mayor concentración de construcciones, posiblemente un pequeño pueblo o aldea.
- Al norte de la imagen se observa una zona con actividad agrícola, con parcelas de tierra cultivadas.

- Al sur de la imagen se observa una zona con mayor cobertura vegetal, posiblemente un bosque o una reserva natural.
- La calidad de la imagen es irregular, con algunos píxeles y distorsiones.
- **1985**

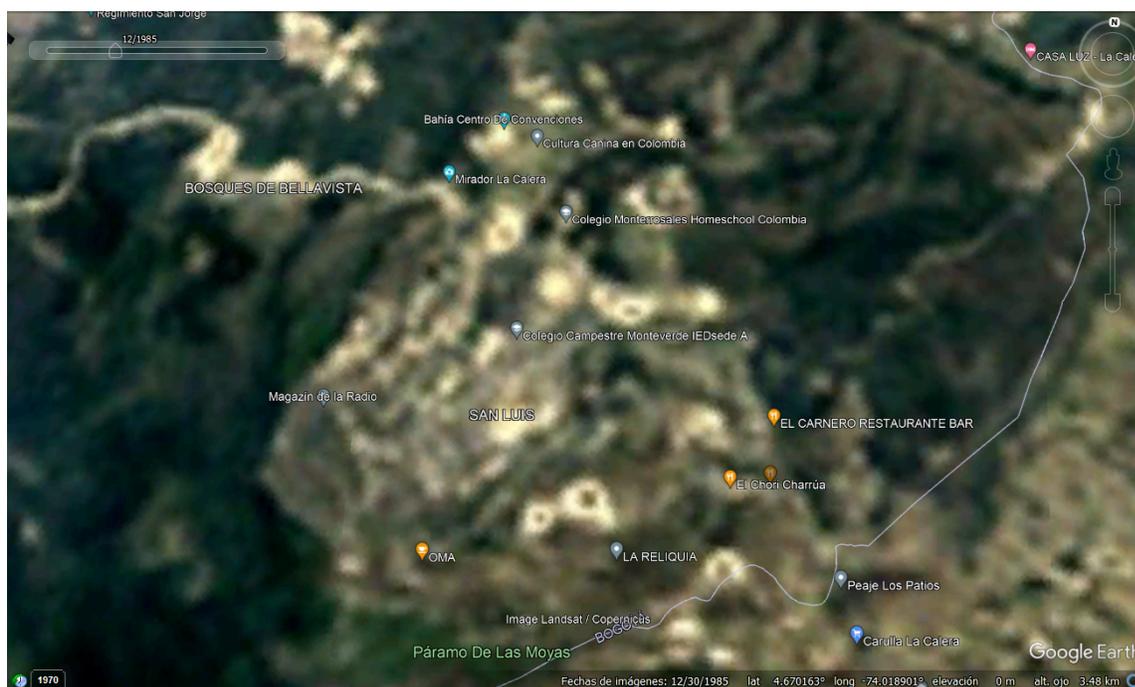


Figura 18 [Evolución zona de estudio San Luis altos del cabo junio 1985 En línea]. Tomada de [Google Earth].

### Características generales:

- La imagen de 1985 muestra un paisaje en transición, con signos de desarrollo tanto rural como urbano.
- En comparación con la imagen de 1969, hay un aumento en el número de edificios y carreteras, lo que sugiere cierto crecimiento y desarrollo demográfico.
- Sin embargo, la densidad general de desarrollo es todavía relativamente baja y todavía existen grandes áreas de terreno no urbanizado con vegetación natural.
- El grupo central de edificios observado en la imagen de 1969 ha crecido en tamaño y parece más definido, lo que sugiere la expansión de la ciudad o pueblo existente.

- Se pueden ver nuevas carreteras que irradian hacia afuera desde el área central, conectando potencialmente con áreas poco desarrolladas posiblemente en las periferias de Bogotá facilitando así el transporte.
- Todavía se ven áreas de tierra cultivada, particularmente en la parte norte de la imagen, lo que indica actividad agrícola en curso.
- Si bien la calidad de la imagen sigue siendo moderada, es ligeramente más clara que la imagen de 1969, lo que permite una mejor distinción de las características.
- **2000**

En el año 2000, San Luis Altos del Cabo experimentó cambios significativos en su evolución social, económica, geológica e hidrológica, marcados por el crecimiento urbano, la diversificación económica, la mejora de infraestructuras y el impacto ambiental. Estos cambios reflejaron una transición hacia una comunidad más moderna y desarrollada, pero también plantearon desafíos en términos de sostenibilidad y gestión ambiental.

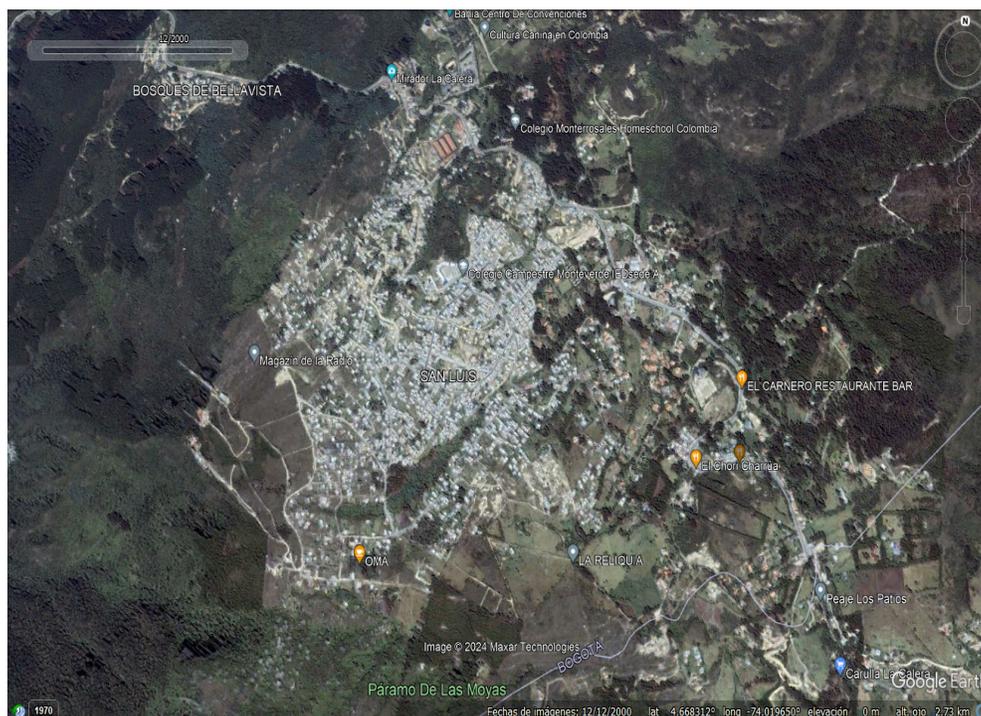


Figura 19 [Evolución zona de estudio San Luis altos del cabo junio 2000 En línea]. Tomada de [Google Earth].

**Características generales:**

- La imagen del año 2000 muestra un paisaje en plena transformación, con una expansión urbana significativa en comparación con las imágenes de 1969 y 1985.
- Se observa un aumento considerable en la densidad de construcciones, con la formación de nuevos barrios y zonas residenciales.
- La red vial también se ha expandido y mejorado, con la construcción de nuevas carreteras y avenidas.
- Se aprecia una disminución de la cobertura vegetal natural, con la sustitución de bosques y áreas verdes por construcciones e infraestructura urbana.
- La zona central de la imagen ha experimentado un crecimiento notable, con una mayor concentración de edificios comerciales, institucionales y de servicios.
- Se observa la construcción de nuevas infraestructuras, como centros comerciales, escuelas y hospitales, lo que indica un aumento en la población y en la demanda de servicios.
- Las áreas de cultivo aún son visibles, pero en menor medida que en las imágenes anteriores, lo que sugiere una reducción de la actividad agrícola.
- La calidad de la imagen es buena, lo que permite una mejor identificación de los elementos del paisaje.

- 2013

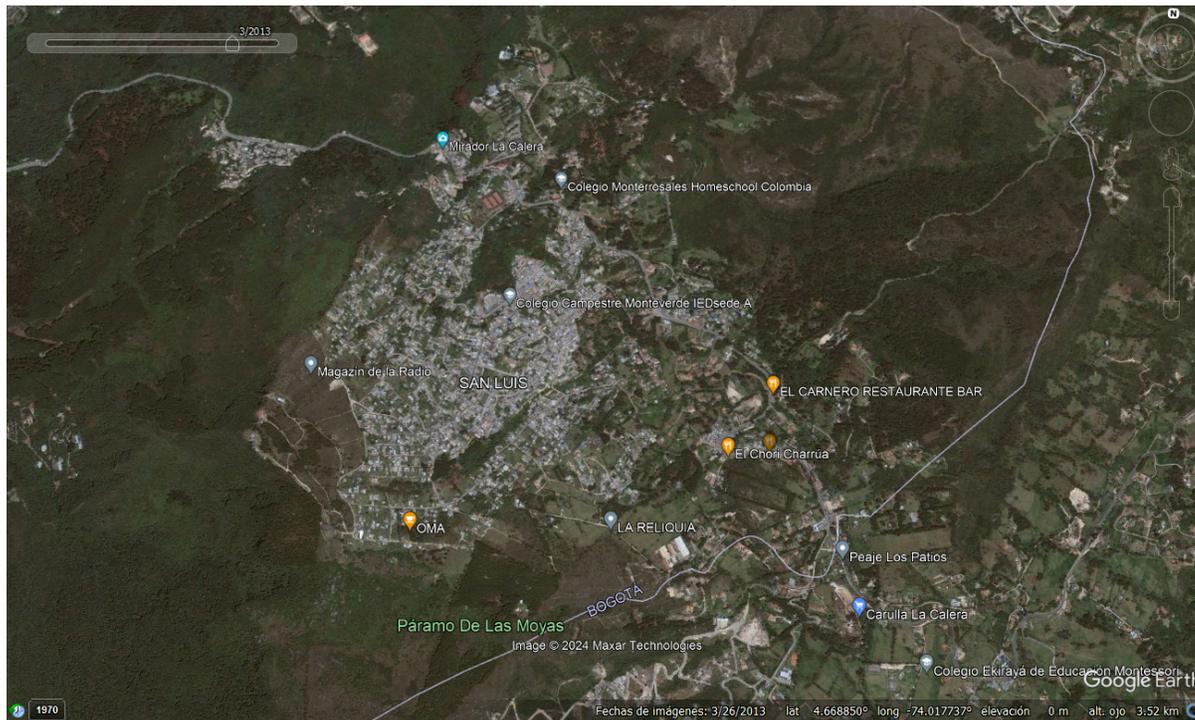
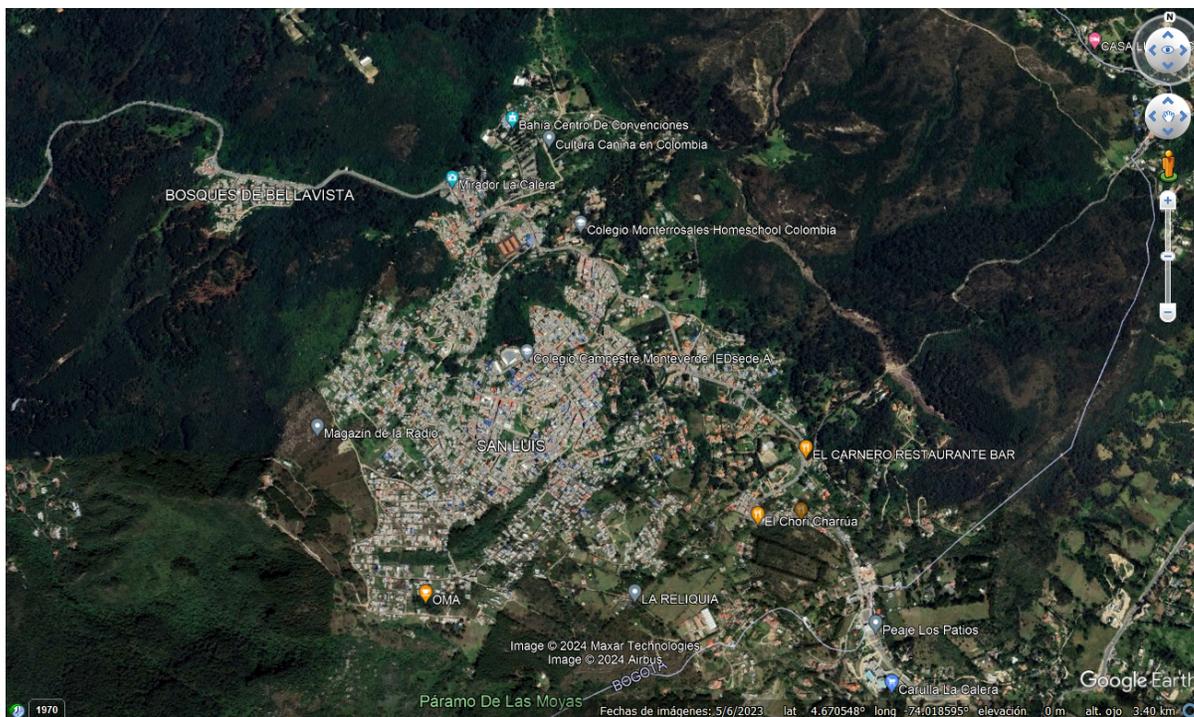


Figura 20 [Evolución zona de estudio San Luis altos del cabo junio 2013 En línea]. Tomada de [Google Earth].

### Características generales:

- Se observa una densidad de construcciones baja, con predominio de viviendas unifamiliares y algunas fincas.
- Presencia de algunos pequeños comercios y servicios.
- Se observa una cobertura vegetal natural abundante, con bosques y áreas verdes.
- Se observa la presencia de algunos cuerpos de agua, como quebradas y humedales.
- Se observa la presencia de algunas fallas geológicas que podrían generar sismos en la región.
- Se evidencia como zona de riesgo de deslizamientos de tierra debido a la pendiente del terreno.

## - ACTUALIDAD



*Figura 21 [Evolución zona de estudio San Luis altos del cabo junio 2023 En línea]. Tomada de [Google Earth].*

- Evolución Social: La zona ha experimentado un notable crecimiento demográfico debido a la expansión urbana y la atracción de nuevos residentes, generando una mayor diversidad cultural y social. Se han establecido nuevas comunidades, fortaleciendo el sentido de identidad local.
- Evolución Económica: La economía se ha diversificado con el desarrollo de nuevos sectores como el turismo, la tecnología y los servicios financieros, además de la agricultura y ganadería. Esto ha contribuido a la creación de empleo y al crecimiento económico.

- Evolución Geológica: Aunque los cambios geológicos han sido mínimos, la intensificación del asentamiento humano ha aumentado la frecuencia de eventos como remoción en masa e inundaciones, debido a la topografía de la región. Es necesario implementar medidas de planificación urbana y gestión del suelo para minimizar riesgos.
- Evolución Hidrológica: Se han mejorado los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado, pero el crecimiento urbano puede ejercer presión sobre los recursos hídricos, requiriendo una gestión cuidadosa para garantizar la sostenibilidad. Promover el uso responsable del agua y la reutilización es esencial.
- Medio Ambiente: Se han implementado medidas como la conservación de áreas naturales, la reforestación y la gestión de residuos. Sin embargo, el crecimiento urbano y económico continúan ejerciendo presión sobre el medio ambiente, destacando la importancia de políticas de desarrollo sostenible y prácticas ambientales responsables, así como la necesidad de fortalecer la conciencia ambiental comunitaria.

### ***Estratigrafía:***

#### **1. Litología:**

Los barrios La Esperanza, San Luis y San Isidro - sector sur se encuentran en la zona alta de ladera que se caracteriza por ser rectilínea conformando una ladera estructural; con base en afloramientos observados en la zona se encuentra una capa delgada de suelos de origen volcánico de 50 cm de espesor seguido por suelos residuales arenosos orgánicos y finalmente se completa el perfil con rocas de la formación Guadalupe; en la parte baja central y noroccidental por areniscas arcillolitas y lodolitas de la formación

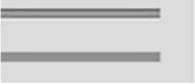
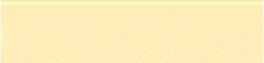
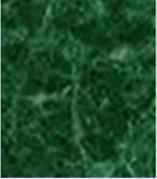
Plaeners y por areniscas de Labor-Tierna en la parte alta sur-oriental. La región del Altiplano Cundiboyacense exhibe una variedad significativa de formaciones geológicas, reflejada en la tabla proporcionada. Se identifican 11 unidades distintas, La mayoría de las formaciones en el Altiplano son de naturaleza sedimentaria, indicando que en el pasado gran parte de la región estuvo cubierta por mares y ríos. Las áreas con mayor diversidad litológica en el Altiplano Cundiboyacense son la Cordillera Oriental y el Macizo Colombiano. En la Cordillera Oriental se encuentran las formaciones Une, Chipaque, Guadalupe, Guaduas, Bogotá y Fusa, mientras que en el Macizo Colombiano se hallan las formaciones Usme, La Regadera y Río Tunjuelito. La zona de estudio se encuentra sobre la formación Guadalupe más exactamente sobre la cordillera oriental Colombia, con una litología predominantemente compuesta por lutitas, areniscas y calizas:

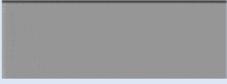
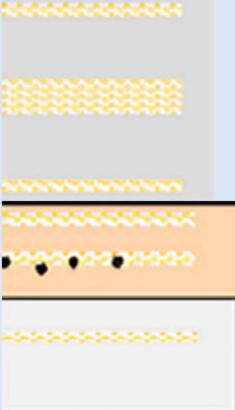
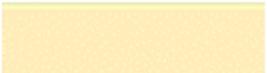
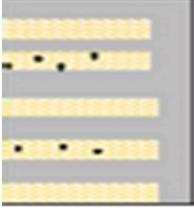
*Tabla 15 . [Distribución de las unidades litoestratigráficas]. Tomada de [Atlas Ambiental de Bogotá secretaria de ambiente] ([2007]).*

Geología	Área total (hectáreas)	Área total (%)
Formación Une (Kiu)	8.190,50	5
Formación Chipaque (Ksc)	26.970,60	16,5
Grupo Guadalupe (Ksg)	22.031,40	13,5
Formación Guaduas (KTg)	6.826,60	4,2
Formación Bogotá (Tpb)	10.341,90	6,3
Formación Fusa (Tf)	24.632,10	15,1
Formación La Regadera (Tr)	3.250,70	2
Formación Usme (Tsu)	3.192,60	2
Formación Río Tunjuelito (Qct)	2.943,70	1,8
Formación Sabana (Qs)	36.243,20	22,1
Depósitos fluvioglaciares (Qfg)	444	0,3
Depósitos de pendiente (Qdp)	3.268,30	2
Depósitos aluviales (Qal)	15.324,40	9,4
Total	163.660	100

Para el estudio se cuenta con una litología detallada de la formación Guadalupe siendo un esquema litológico en San Luis Altos del Cabo que proporciona una representación visual de la composición y distribución de las rocas en esta área específica de la Cordillera Oriental en Colombia:

Tabla 16 [Esquema litoestratigráfico]. en línea  
[repositorio.cdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/10672/5357-2.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://repositorio.cdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/10672/5357-2.pdf?sequence=2&isAllowed=y) (2003-2012).

EDAD	FORMACIÓN	ESPESOR TOTAL	ESPESOR TOTAL	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Cenomaniano Superior	Grupo Guadalupe	262 m	10 m		Areniscas de color blanco y amarillentas de grano medio, compactas masivas.
			15 m		Areniscas blancas deleznales, intercaladas con lutitas grises oscuras.
			30 m		Arenisca cuarzo de grano fino a medio de color blanco, macizas, con intercalaciones de lutitas grises, semi compacta presenta micas y óxidos de hierro.
			8 m		Arena de Color gris, de grano fino, compacta.
			30 m		Cubierto.
			5 m		Lutitas negras compactas, intercaladas con limolitas grises oscuras y amarillas.
			5 m		Arenisca amarilla de grano fino.
			10 m		Limolitas y arcillolitas grises oscuras y claras con intercalaciones de grano fino a grueso.
			5 m		Arenisca arcillosa de color amarillo, semicompacta.
			23 m		Lutitas y limolitas negras con intercalaciones de areniscas de pocos centímetros de espesor. Seguida de areniscas cuarzosas de grano fino.

EDAD	FORMACIÓN	ESPESOR TOTAL	ESPESOR TOTAL	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Cenomaniano Superior	Grupo Guadalupe	262 m	15 m		Lutitas grises oscuras compactas.
			20 m		Arenisca gris semicompacta con intercalaciones de arcilla.
			25 m		Lutitas grises con intercalaciones de chert y estratificación laminar.
			10 m		Chert de color gris con intercalaciones de arcillolitas amarillas a oscuras; presenta fósiles.
			18 m		Arenisca gris clara a oscura de grano fino a medio.
			40 m		Lutitas y limolitas negras con intercalaciones de areniscas de pocos centímetros de espesor, seguida por areniscas cuarzosas de grano fino. Chert gris oscuro con intercalaciones de lutitas grises oscuras presencia de fósiles. Además, se percibe la presencia de fosfatos.

### ***Geología estructural***

La zona de estudio, ubicada en San Luis, Altos del Cabo y la vía a La Calera, se encuentra dentro del departamento de Cundinamarca, en la Cordillera Oriental. Como se ve en el Mapa geológico del departamento de Cundinamarca. Escala 1:250.000 La cordillera en esta región presenta una dirección regional N-S a NE. La posición geográfica de las unidades litológicas en la zona de estudio da lugar a diferentes estilos estructurales, que están relacionados con los bloques tectónicos del departamento. A continuación, se presenta una descripción general de las estructuras presentes en la zona de estudio, haciendo referencia a los bloques tectónicos a los que están asociadas.

La zona de estudio se encuentra entre la zona urbana de Bogotá y el pueblo de Cundinamarca conocido como “LA CALERA” allí se encuentran varias fallas geológicas importantes, Las fallas geológicas son fracturas en la corteza terrestre donde se ha producido un desplazamiento de los bloques de roca adyacentes. Estas fracturas pueden ser de diversos tipos y tener diferentes causas. En la zona se pueden dividir en tres categorías principales:

**Fallas de borde:** Se encuentran en los límites de las placas tectónicas. Estas fallas pueden ser de tipo normal, inverso o de desgarre.

- **Falla de Bogotá:** Es la más importante de la región, bordeando los cerros orientales de la Sabana (Monserrate y Guadalupe) y extendiéndose desde el Páramo de Sumapaz hasta el norte de Bogotá. Se cree que continúa más al norte, fosilizada por depósitos cuaternarios.

- Falla de La Calera: Se encuentra al oriente de la Falla de Bogotá, siguiendo la traza del río Bogotá. Esta falla es menos activa que la Falla de Bogotá, pero aun así puede generar sismos y deslizamientos de tierra.

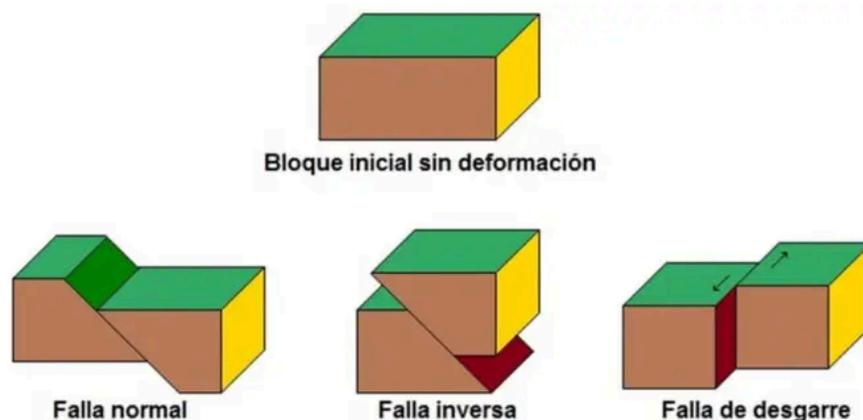


Figura 22 [Fallas de borde] En línea <https://geologicalmanblog.wordpress.com/2016/05/10/bordes-transformantes/> 03 marzo 2024).

**Fallas internas:** Se encuentran dentro de las placas tectónicas y no están relacionadas con los límites de las placas. Estas fallas también pueden ser de tipo normal, inverso o de desgarre.

- Falla de Cajitas: Se encuentra al norte de la Falla de Bogotá, con dirección norte-sur. Es una falla relativamente corta, pero ha sido responsable de algunos sismos de magnitud moderada.
- Falla de Sibaté: Se encuentra al sur de la Falla de Bogotá, también con dirección norte-sur. Es similar a la Falla de Cajitas en cuanto a su tamaño y actividad sísmica.
- Falla de Santa Bárbara: Se encuentra al occidente de la Falla de Bogotá, con dirección noroeste. Esta falla es menos activa que las demás, pero aun así puede generar sismicidad y deslizamientos.

**Fallas de Cabalgamiento:** Son un tipo de falla inversa en la que el bloque superior se ha movido horizontalmente sobre el bloque inferior. Las fallas de cabalgamiento son comunes en zonas de compresión tectónica.

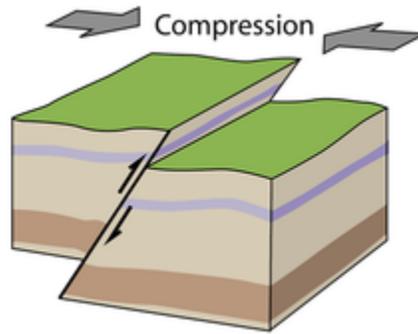


Figura 23 [Fallas de Cabalgamiento] En línea <https://es.wikipedia.org/wiki/Cabalgamiento> / 03 marzo 2024).

- Falla de Teusacá: Se encuentra al oriente de la Falla de La Calera, siguiendo la traza del río Teusacá. Es una falla menor, pero ha sido responsable de algunos deslizamientos de tierra.
- Falla de Guaduas: Se encuentra al norte de la Falla de Bogotá, siguiendo la traza del río Guaduas. Es una falla menor, pero ha sido responsable de algunos sismos de magnitud baja.

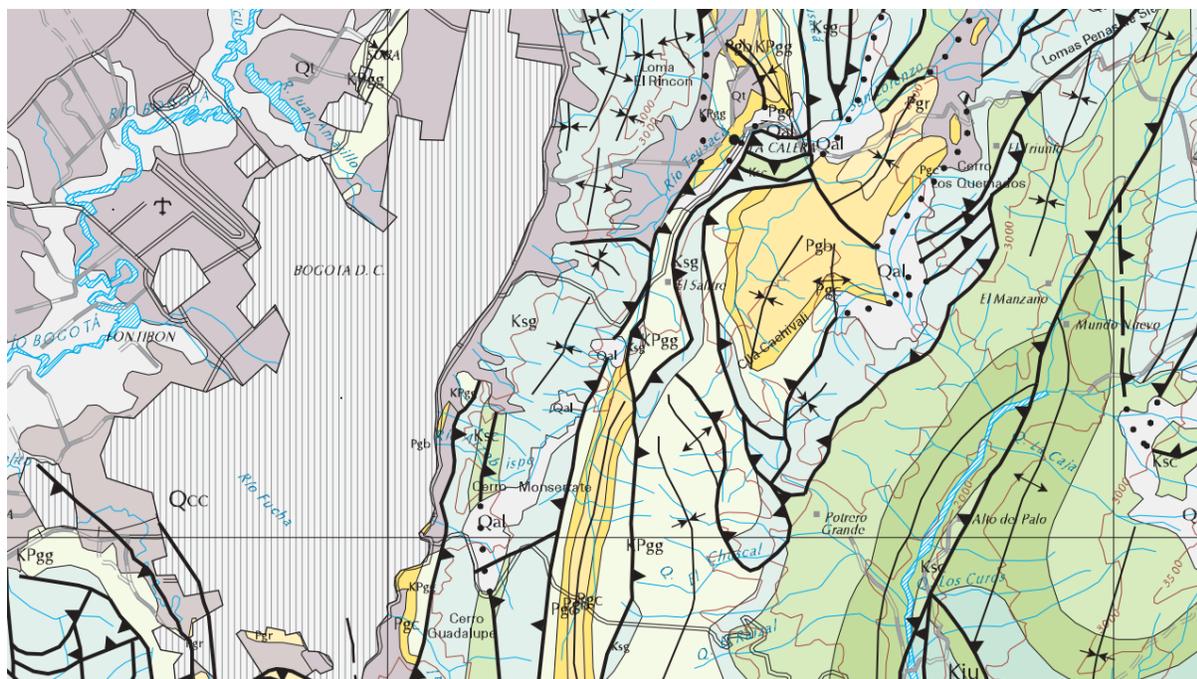


Figura 24 INGEOMINAS. (1999). Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca. Plancha 209. Bogotá: INGEOMINAS.

Las flechas en la imagen del Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca (1999) - Plancha 209 indican la dirección y el sentido del buzamiento de las capas de roca; El buzamiento es la inclinación de las capas de roca con respecto a la horizontal. Se mide en grados y se representa con una flecha que apunta en la dirección del buzamiento y con un número que indica el ángulo de inclinación. La imagen proporcionada muestra un mapa topográfico de la zona de Bogotá, Colombia. En el informe de la zona de 2019 se menciona: "Desde el punto de vista geomorfológico el sitio se encuentra localizado en laderas de la formación Guadalupe; la parte alta correspondiente a los barrios La Esperanza, San Isidro Sur y San Luis conforman una ladera de tipo estructural, es decir que la pendiente del terreno coincide con el buzamiento de la ladera y tiene unos 10 a 15 grados de inclinación. En la parte baja correspondiente a los barrios La Sureña y San Isidro Norte se encuentran escalonamientos en la superficie del terreno que obedecen a escarpes rocosos verticales y pequeños depósitos en las partes sub horizontales que

cubren la ladera rocosa de baja pendiente. En la zona no se evidencian procesos de remoción en masa exceptuando algunos procesos de reptación leves en la zona baja de la quebrada La Sureña en donde la zona del cauce está invadida por viviendas las cuales presenta algunas deformaciones leves por reptación del terreno. En la parte baja no hay fenómenos de masa pero no se descarta que se presenten desprendimientos localizados de bloques de los taludes verticales de las zonas de escarpes”. En el mapa se pueden observar varias fallas geológicas. En la zona de la imagen se pueden observar las siguientes fallas geológicas:

- Falla de Bogotá: Es una falla de borde de tipo normal que se encuentra en la ciudad de Bogotá. Esta falla ha sido responsable de algunos sismos de magnitud moderada.
- Falla de Teusacá: Es una falla interna de tipo normal que se encuentra al oriente de la ciudad de Bogotá. Esta falla ha sido responsable de algunos deslizamientos de tierra.
- Falla de Guadalupe: Es una falla interna de tipo inverso que se encuentra al sur de la ciudad de Bogotá. Esta falla ha sido responsable de algunos sismos de magnitud baja.

Las fuerzas tectónicas que actuaron sobre la región durante millones de años han dejado su huella en la geología de la Sabana de Bogotá. La falla de Bogotá, una falla inversa de gran magnitud atraviesa la zona de norte a sur y ha sido responsable del levantamiento del altiplano.

- **Pliegues y Foliaciones:**

En el altiplano cundiboyacense en general se pueden evidenciar diferentes tipos de pliegues, entre ellos Anticlinales y Sinclinales; como el Anticlinal de Bogotá, con ejes orientados NE-SW y flancos con inclinaciones diferenciadas. Además, hay pliegues sinclinales de menor escala asociados a los anticlinales, con cierres hacia el norte y el sur. para las foliaciones

encontramos las más relevantes como La foliación pizarrosa que se encuentra en la Formación Guadalupe y es paralela a la axialidad de los pliegues. La foliación crenulada, presente en las rocas metamórficas del Grupo Quetame, muestra pliegues menores superpuestos a la foliación pizarrosa.

Todos estos pliegues y foliaciones se formaron como resultado de la deformación orogénica que afectó la región durante el Cretácico Superior y el Paleógeno. Estos procesos deforman tanto las rocas sedimentarias como las metamórficas, indicando que ocurrieron después de la sedimentación y el metamorfismo. sugiriendo que la zona experimentó una intensa deformación orogénica, con una orientación predominante NE-SW. Esta información geológica permite entender la historia de la zona, desde la sedimentación inicial hasta los procesos posteriores de deformación, proporcionando una visión más completa de su evolución geológica.

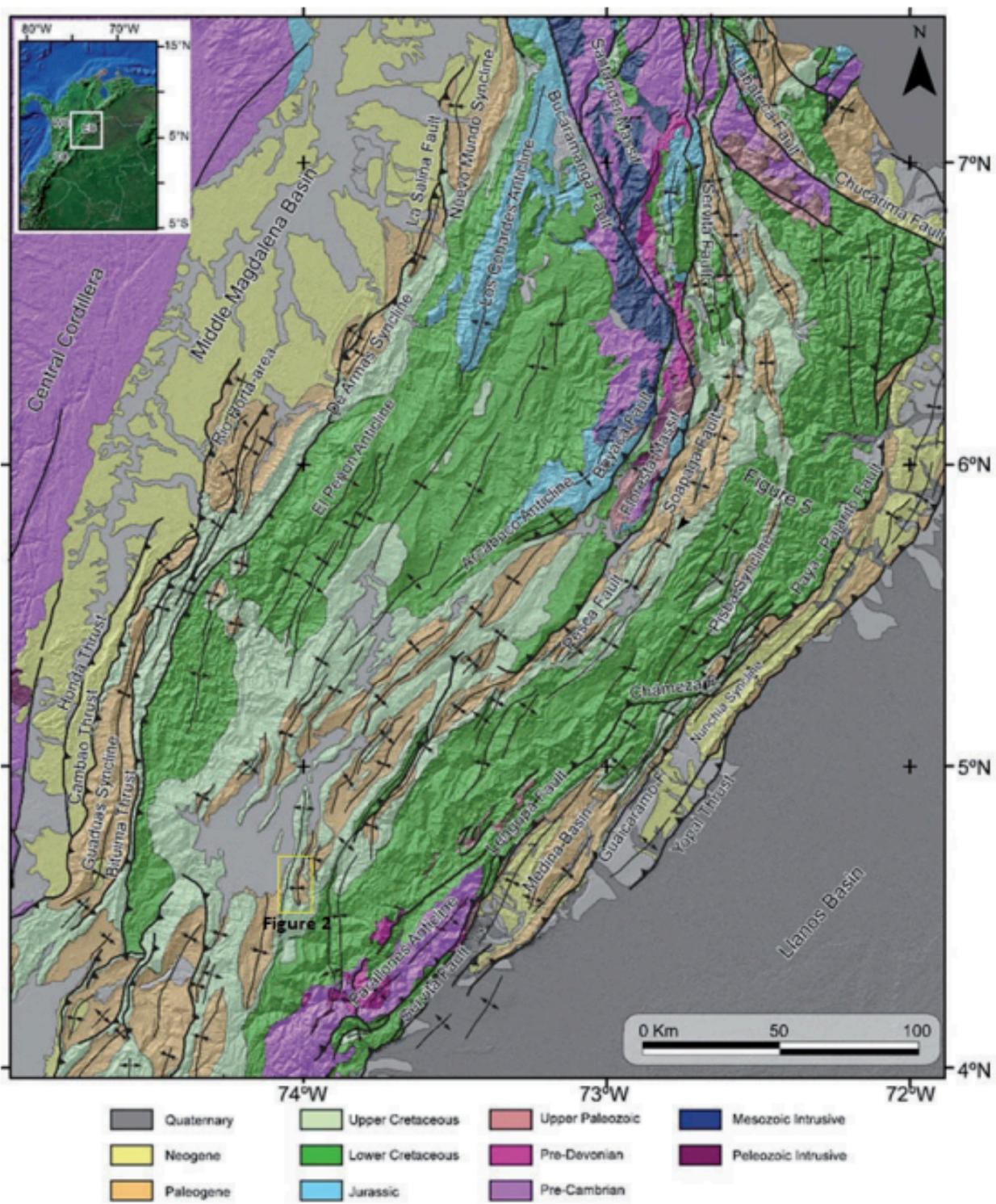


Figura 25 [Mapa Geológico de la Cordillera Oriental mostrando las estructuras más significativas pliegues y fallas]. La zona de este. El estudio está delineado en amarillo (modificado de Parra et al., 2009a).



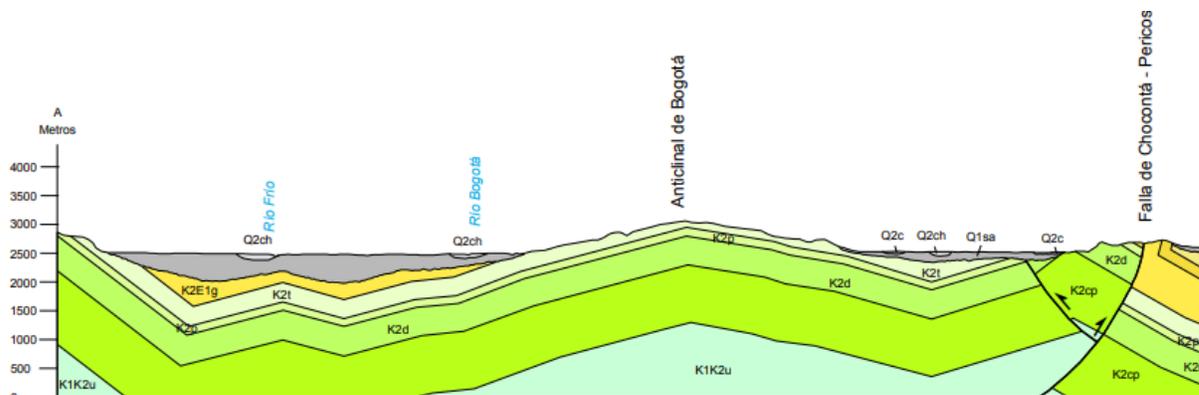


Figura 27 [Geología de la Plancha 228 Santafé de Bogotá Noreste]. Tomada de. Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS [ [https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado\\_Cartografia\\_Geologica/](https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/)].

en el perfil geológico se pueden evidenciar diferentes características de los suelos en la zona de estudio como son:

### 1. Unidades Litoestratigráficas:

**Formación Guaduas (K1k2u):** Esta formación corresponde al Cretácico Inferior y está compuesta por una secuencia de areniscas, calizas y lutitas, indicando un ambiente sedimentario marino.

**Formación Bogotá (K2d):** Representa el Cretácico Superior y está compuesta principalmente por areniscas y lutitas, también indicando un ambiente marino sedimentario.

**Depósitos aluviales recientes (Q2ch):** Estos depósitos pertenecen al Holoceno y están compuestos por gravas, arenas y limos, sugiriendo un ambiente fluvial reciente.

### 2. Estructuras Geológicas:

**Anticlinal de Bogotá:** Se trata de un pliegue anticlinal que afecta a las formaciones Guaduas y Bogotá, lo que indica una deformación tectónica en la región.

Falla de Chocontá-Pericos: Es una falla inversa que pone en contacto la Formación Guaduas con el Cretácico Inferior, lo que sugiere un movimiento tectónico que ha afectado la disposición de las capas de roca en la zona.

- Los ríos Bogotá y Teusacá drenan el altiplano hacia el oeste, mientras que el Río Guavio drena el flanco oriental hacia el este, lo que indica la dirección del flujo de agua en la región.

### ***Caracterización Geotécnica:***

#### 1. Propiedades físicas del suelo y la roca:

Los suelos de la Sabana de Bogotá, producto de la erosión y la meteorización de las rocas, presentan características geotécnicas que deben ser consideradas para el desarrollo urbano. Las arcillas y limos, que predominan en la zona, son materiales con baja resistencia al corte y alta compresión. Esto implica que las construcciones deben tener cimientos especiales para evitar hundimientos y otros problemas de estabilidad. La comprensión de la geología y la geotecnia de la Sabana de Bogotá es fundamental para la planificación urbana sostenible. Los estudios geológicos permiten identificar áreas con riesgos geológicos, como deslizamientos de tierra o inestabilidad de taludes.

El mapa de unidades de suelos de Bogotá, Colombia, clasifica los suelos en 14 unidades principales según sus características físicas, químicas y mineralógicas. La distribución de las clases de capacidad de uso de la tierra refleja la influencia de factores como las propiedades del suelo, la pendiente, la erosión y la disponibilidad de agua.

### Tipo de Suelo

	ME		MLC		RLO
	MEF		MLK		RLQ
	MGF		MLS		RMO
	MGS		MLV		ZU
	MGT		MMC		
	MKC		MMV		

Figura 28 [Tipo de suelo] En línea <https://books.google.com.co/books?id=1rk6MwEACAAJ> (2007).

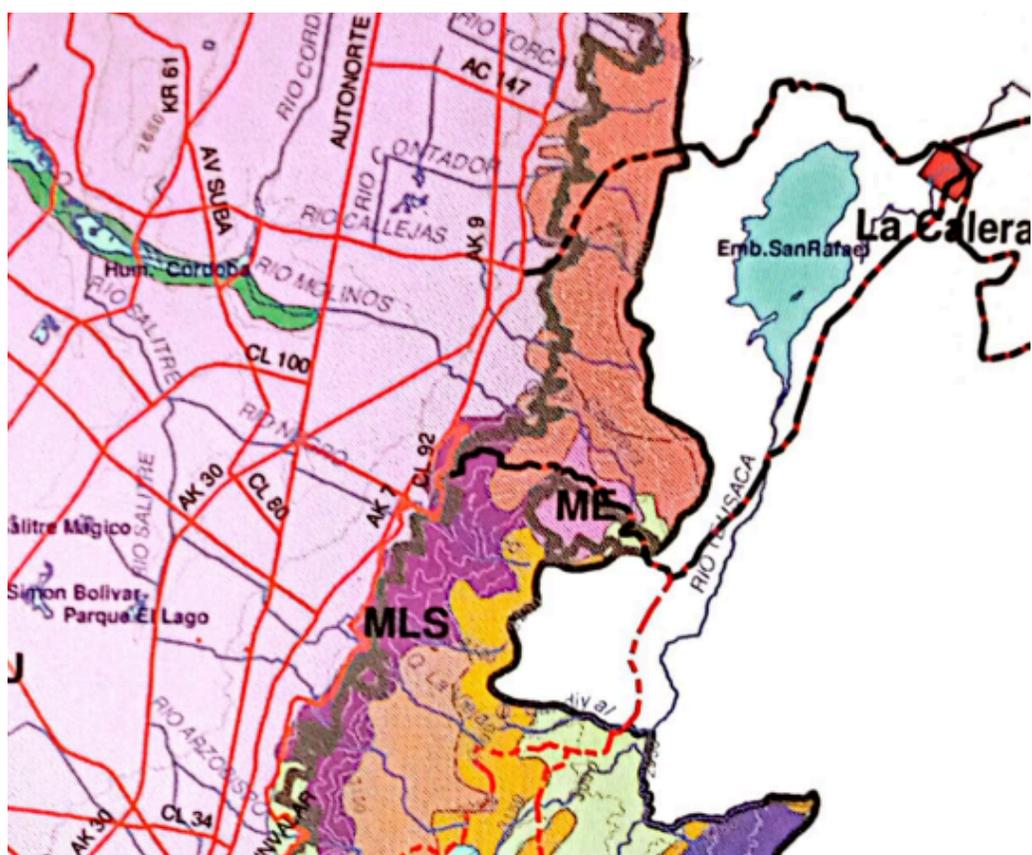


Figura 29 [Mapa de Suelos Bogotá Atlas Ambiental] Tomada de Bogotá, secretaría de ambiente 2007.

El mapa de suelos del Atlas Ambiental de Bogotá es una herramienta valiosa para comprender las características de los suelos en la ciudad. El mapa utiliza diferentes colores para

representar diferentes tipos de suelos. En este caso, los colores rosados, amarillos, curuba y púrpuras que se observan en la zona de estudio corresponden a:

Tabla 17 [Tipos de Suelos Bogotá]. Tomada de [Atlas Ambiental de Bogotá secretaria de ambiente] ([2007]), p. 36."

TIPO DE SUELO	Descripción	U nidad cartográfica
Suelos de montañas estructurales erosionadas en clima extremadamente humedo	Asociación Typic Dystrocrepts (45%), en-Humic Dystrocrepts (25%), Humic lithic Dystrocrepts (15%), Afloramientos rocosos (15%)	MEF
Suelos de montañas estructurales erosionadas en clima muy frio muy humedo	Consociación Andic Dystrudepts (75%), inclusiones de los suelos Humic Lithic Dystrudepts (20%) y de afloramientos rocosos (5%)	MGF
	Consociación Typic Hapludands (30%), Pachic Melanudands (30%), Humic Dystrudepts (30%), con Hydric Haplohemist (10%)	MGT
	Consociación Humic Lithic Dystrudepts (50%) y Andic Dystrudepts (20%)	MGS
Suelos de montañas estructurales erosionadas en clima frío muy humedo	Consociación Andic Dystrudepts (85%) Typic Hapludands en el (15%)	MKC
Suelos de montañas estructurales erosionadas en clima frío humedo	Consociación Typic Eutrudeps (70%), Typic Hapludands (20%) inclusiones de Typic Placudande (5%) y afloramientos rocosos (5%)	MLS
	Consociación Humic Lithic Eutrudepts (70%) Dystric Eutrudepta (25%) Typic Placudands (5%)	MLV
	Consociación Humic Dystrudepts (70%), con inclusiones de los suelos Typic Argudulle (18%) y Typic Haplutarch (15%)	MLC
	Consociación Pachic Metandards (75%) inclusiones de los Typic Hapludands (25%)	MLK
	Consociación Type (100%) elusures de los suelos Aan Enks (10%) Thaph Hapludands (10%)	FILO
	Consociación Type Happ (100%)	ME
	Consociación Type Happ (10%) Litic Ustorthens 20%	MMY
Suelos de montañas estructurales erosionadas en clima frío Seco	Asociación Humic Dystrhes (100%)	MMC
Zona Urbana	Zona Urbana	A

La imagen muestra una tabla que describe los diferentes tipos de suelos que se encuentran en Bogotá, Colombia. La tabla está organizada por color, que se utiliza para identificar el tipo de suelo. Los colores que se muestran en la imagen son:

- Rosado: Suelos de montaña estructurales erosionables en clima frío seco.
  - Amarillo: Suelos de montaña estructurales erosionables en clima frío húmedo.
  - Púrpura: Suelos de montaña estructurales en clima frío muy húmedo.
- ME
  - MLC
  - MLK
  - MLS

La tabla también muestra la siguiente información para cada tipo de suelo:

- Código: Un código único que identifica el tipo de suelo.
- Descripción: Una breve descripción del tipo de suelo.
- Unidad cartográfica: La unidad cartográfica es la unidad espacial más pequeña que se puede representar en un mapa. La información proporcionada por el mapa de suelos concuerda con las características de la zona de estudio. Las temperaturas frías y la cercanía a un páramo indican que el clima es frío y húmedo.

La información de la tabla se puede utilizar para comprender las características de los suelos en San Luis. Los suelos de color rosado son suelos de montaña estructurales erosionables en clima frío seco. Estos suelos son susceptibles a la erosión y tienen una baja capacidad de retención de agua. Los suelos de color amarillo son suelos de montaña estructurales erosionables en clima frío húmedo. Estos suelos son menos susceptibles a la erosión que los suelos de color rosado y tienen una mayor capacidad de retención de agua. Los suelos de color púrpura son suelos de montaña estructurales en clima frío muy húmedo. Estos suelos son los menos susceptibles a la erosión de todos los tipos de suelo y tienen la mayor capacidad de retención de agua.

Ya entrando en parámetros conocidos de la zona de estudio En cuanto al tipo de suelo en la zona de estudio, según el mapa geotécnico de Bogotá, se clasifica como tipo C-3:

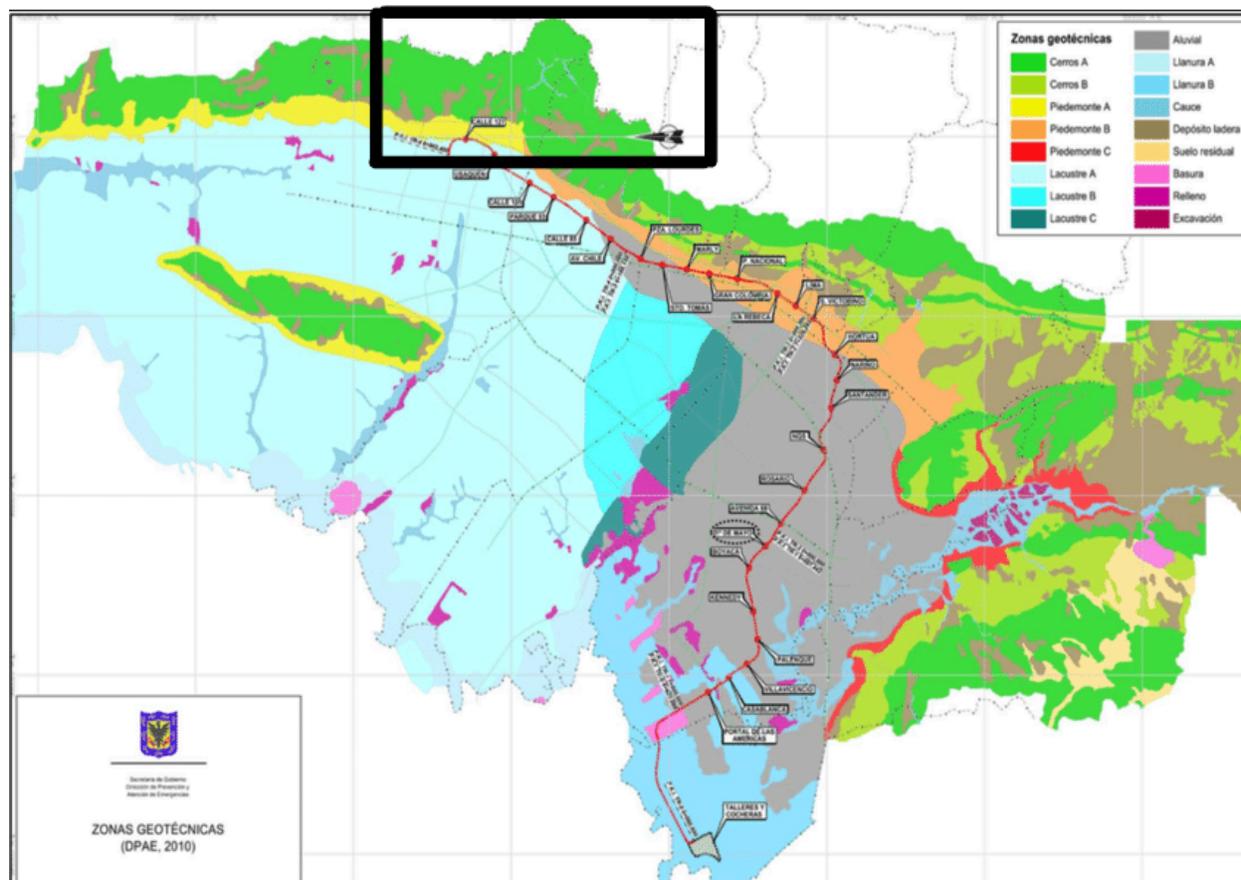


Figura 30 Mapa geotécnico de Bogotá, en línea  
[https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-geotecnico-de-Bogota-DC-con-el-trazado-de-la-primera-linea-del-metro\\_fig1\\_308962041](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-geotecnico-de-Bogota-DC-con-el-trazado-de-la-primera-linea-del-metro_fig1_308962041).

- **Arcillas y Limos de Baja a Media Plasticidad:** El suelo en esta área se caracteriza por contener arcillas y limos con una plasticidad que varía entre baja y media.
- **Penetraciones Medias a Altas:** Se observan penetraciones del suelo que oscilan entre medias y altas.
- **Capacidad Portante Media a Alta:** La capacidad portante del suelo se sitúa en un rango que va desde media hasta alta.
- **Asentamientos Moderados a Bajos:** Los asentamientos del suelo en esta zona tienden a ser moderados o bajos.

***Modelo de estabilidad:***

Un modelo de estabilidad geológica y geotécnica es esencial en un área como San Luis altos del Cabo km 5 a la Calera, dada su importancia socioeconómica y su proximidad a la zona urbana. La topografía y la geología de San Luis altos del Cabo son únicas debido a su ubicación en la Cordillera Oriental. Un modelo de estabilidad geológica y geotécnica proporciona una representación simulada de las condiciones del terreno, lo que permitiría comprender mejor cómo interactúan diferentes factores geológicos y geotécnicos en el área.

Dado que la zona es propensa a deslizamientos de tierra, movimientos sísmicos y erosiones, es fundamental evaluar la estabilidad de las estructuras existentes y futuras. El modelo por diseñar es una aproximación básica y sencilla a las condiciones actuales de la zona pues no se cuenta con información detallada y precisa de la zona en la actualidad. Es importante tener en cuenta que este modelo será una aproximación básica debido a la limitada información disponible.

- Datos topográficos: La zona de estudio presenta una topografía montañosa con una altura máxima de 3206 metros sobre el nivel del mar (msnm) y una altura mínima de 2840 msnm. La pendiente promedio del terreno es del 6.8%, lo que indica un relieve variado con áreas de pendientes pronunciadas y otras más suaves. Estas características topográficas sugieren la presencia de valles y crestas, lo que puede influir en la estabilidad del terreno.

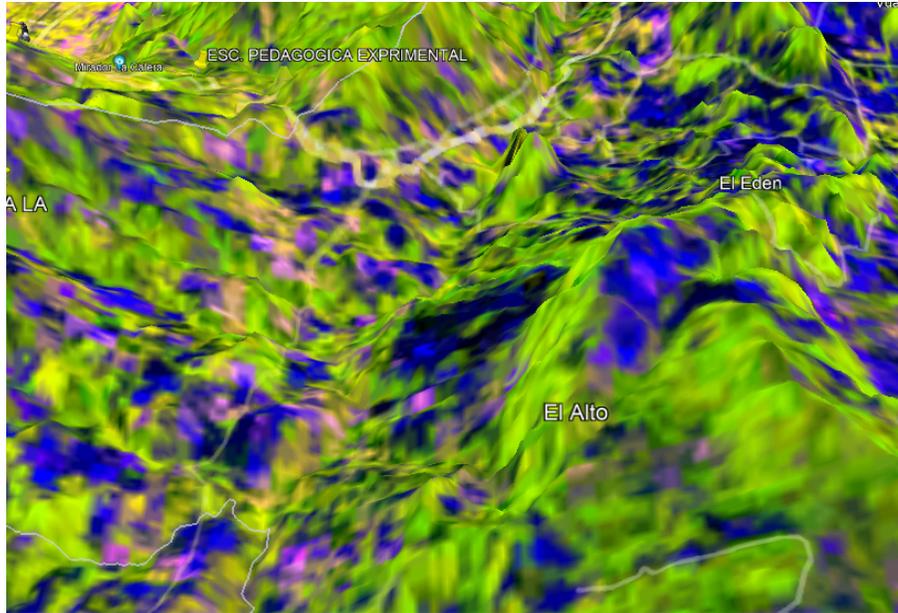


Figura 31 [Modelo digital del terreno (KMZ-ASD Data Shear)].

- Propiedades del suelo: La zona de estudio presenta un suelo predominantemente arcilloso con presencia de areniscas y limolitas. La arcilla puede variar en plasticidad de baja a alta, lo que puede afectar significativamente la estabilidad del terreno. Las areniscas y limolitas, aunque más compactas y estables, pueden enfrentar problemas de erosión. Se han identificado hasta cuatro capas de suelo distintas en la zona: la capa superficial consiste en suelo arcilloso de baja a mediana plasticidad; la capa intermedia está compuesta por arenisca o limolita con intercalaciones de arcilla; la capa profunda es arcillosa y de alta plasticidad; finalmente, la roca madre está compuesta por arenisca o limolita.

Estas características del suelo, incluyendo la variabilidad en la plasticidad de la arcilla y la composición de las diferentes capas, deben ser consideradas en el análisis de estabilidad geotécnica y en la evaluación de posibles riesgos geológicos, como deslizamientos de tierra y

erosión, en la zona de estudio. Se va a evaluar de manera empírica y aproximada la estabilidad de un talud en San Luis Altos del Cabo usando el método de análisis de equilibrio límite y un nivel freático a 2 metros de profundidad, teniendo en cuenta que la variabilidad de esta dato en el sector es alta y no se conoce a precisión.

Pendiente del talud: 30°.

Altura del talud: 10 metros.

Propiedades del suelo:

Peso unitario: 18 kN/m<sup>3</sup>.

Ángulo de fricción interna: 30°.

Cohesión: 10 kPa.

Nivel freático: 2 metros por debajo de la superficie del terreno.

### 1. Cálculo del factor de seguridad:

El factor de seguridad (FS) se define como la relación entre la resistencia al corte del suelo (F) y la fuerza desestabilizadora (W).

$$FS = F / W$$

$$F = F_s * A$$

donde:

$F_s$  = Coeficiente de fricción =  $\tan(\text{ángulo de fricción interna})$

$A$  = Área de la superficie de falla

Cálculo de la fuerza del agua:

La fuerza del agua se calcula como:

$$U = \gamma_w * h * A$$

donde:

$\gamma_w$  = Peso unitario del agua (10 kN/m<sup>3</sup>)

h = Altura del agua por encima del plano de falla

A = Área de la superficie de falla

$$FS = (\tan(30^\circ) * 18 \text{ kN/m}^3 * (10 \text{ m} - 2 \text{ m})) / (18 \text{ kN/m}^3 * 10 \text{ m} * \cos(30^\circ))$$

$$FS = 1.5$$

El factor de seguridad obtenido es de 1.5, lo que indica que el talud es estable con un nivel freático a 2 metros de profundidad. Sin embargo, San Luis Altos del Cabo, ubicado en el km 5 de la vía a La Calera en Bogotá, Colombia, presenta características geológicas y geotécnicas que lo hacen susceptible a la remoción en masa. Esta evaluación se basa en la información disponible, incluyendo:

**Geología:**

- Presencia de arcillas y limos con baja resistencia al corte.
- Pendientes pronunciadas.
- Según estudios de suelos realizados por el Acueducto de Bogotá entre 2018 y 2020, el nivel freático es altamente variable, fluctuando entre 1.5 metros y 10 metros de profundidad. Además, hay áreas donde el nivel freático no se encuentra presente. Esta variabilidad puede influir significativamente en la estabilidad del terreno y en la gestión del agua subterránea, afectando tanto la construcción como la planificación urbana en la región.

**Topografía:**

- Valles y crestas que pueden concentrar el flujo de agua.

- Precipitación:
- Lluvias intensas pueden saturar el suelo y aumentar el riesgo de deslizamientos.

**Actividad humana:**

- Deforestación, construcción de taludes y excavaciones pueden aumentar la susceptibilidad a la remoción en masa.

### **Capítulo V: Análisis de Amenazas y Vulnerabilidades**

El análisis de amenazas y vulnerabilidad es una herramienta crucial en el estudio hidrológico, ya que permite identificar los riesgos potenciales que pueden afectar la gestión del agua y la infraestructura asociada a la zona de estudio. Al aplicar este estudio, se pueden identificar diferentes amenazas, así como las vulnerabilidades de los sistemas hidrológicos y las comunidades que dependen de ellos. Este enfoque integral proporciona una comprensión más profunda de los desafíos y oportunidades en la gestión del agua, lo que a su vez permite desarrollar estrategias efectivas para mitigar los riesgos que se identifican en esta metodología.

- **Análisis de amenazas naturales**

Diversas metodologías se encuentran para estimar los distintos tipos de amenaza. en este proyecto se usa la metodología planteada por la guía metodológica para la elaboración de planes departamentales para la gestión del riesgo PNUD-UNGRD (Programa de las naciones unidas para el desarrollo, Unidad nacional para la gestión del riesgo de desastres) por la cual se desarrolla con una serie de pasos que están distribuidos de la siguiente manera:

- Paso 1: se realiza un autodiagnóstico de la capacidad para la formulación

Esta identificación consiste en realizar un "inventario" sobre las herramientas, instrumentos, programas, marco jurídico y recursos humanos que se dispone para elaborar el plan. A lo cual implica en cuestionarse sobre las carencias que tiene el departamento para su formulación, ya que desde la identificación de lo que se debe gestionar de manera priorizada para superar dichas necesidades, se podrá establecer las estrategias de acción y las actividades que componen el plan.

- Paso 2: Se caracterizan las condiciones del departamento, especificando la zona de estudio.

En este paso se realiza una comprensión más profunda de los riesgos que indican una fuerte correlación con el desarrollo social y económico de cada departamento y región natural de la nación; como resultado, promover la inclusión de la gestión de riesgos en el proceso de desarrollo socioeconómico de la nación. Para el desarrollo de este paso es importante contar con la información departamental y regional.

*Tabla 18 [ruta de la caracterización del departamento]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 16."*

Conocimiento del territorio	=	Recopilación de la información	+	Validación y análisis de la información
-----------------------------	---	--------------------------------	---	---

- Recopilación de la información

Es necesario recopilar los datos que se utilizarán para analizar el departamento a la luz de los requisitos del plan departamental, teniendo en cuenta factores relacionados con la gestión de riesgos. La información debe ser concisa, pertinente y derivada de fuentes oficiales. Puede ser de naturaleza cuantitativa o cualitativa, para lograr así, la exactitud y relevancia en la información.

- Validación y análisis de la información

La confirmación, verificación y análisis de la información debe realizarse considerando las características geográficas, biofísicas, socioeconómicas y ambientales, además de su relación con las principales amenazas y vulnerabilidades identificadas en el departamento. En un contexto departamental, es importante hacer un análisis conciso sobre las características del departamento que permita una caracterización enfocada a la gestión del riesgo.

- Paso 3: Identificación de actores clave

Para formular planes de acción departamentales es crucial identificar claramente las competencias de cada actor dentro del marco institucional y, lo más importante, tener claro su papel dentro del sistema y en relación con las acciones del departamento. Los actores de diversos sectores sociales ya sean locales, departamentales, nacionales o internacionales, pueden observarse en la siguiente tabla y pueden tener relaciones entre sí.

*Tabla 19 [Ejemplos de actores por diferentes sectores]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 21."*

Socio cultural	Económicos	Administrativos	Internacional
Docentes Investigadores Asociaciones Corporaciones Juntas de acción comunal	Ganaderos Agricultores Constructores Servicios	Concejales Diputados Lideres Comunitarios alcaldes	ONG Banco Mundial

- Paso 4: Identificación de los factores de riesgo.

El objetivo del análisis de riesgos es estimar y evaluar los efectos y consecuencias potenciales de desastres naturales extremos en un grupo de población particular y su forma de vida. Implica efectos a nivel social, económico y ambiental también.

La amenaza y la vulnerabilidad se consideran factores de riesgo. Una amenaza es un fenómeno natural, socio natural, antrópico no intencional y tecnológico que causa daño en un momento y lugar específico y condiciones desfavorables en una comunidad, para que suceda un evento que pueda generar un desastre.

- Evaluación y categorización de la amenaza.

Se percibe como una amenaza el riesgo latente de que un incidente físico natural, provocado o resultado de una acción humana involuntariamente, se presente con una gravedad lo suficientemente alta como para provocar muertes o efectos en salud, así como lesiones y pérdidas en los activos, la infraestructura y recursos ambientales.

Para esta guía se retoman los factores de amenaza definidos en la Guía Municipal para la Gestión del Riesgo (SNPD, 2010), A continuación, se presenta la clasificación de las amenazas según el origen como se evidencia en la siguiente tabla:

*Tabla 20 [Clasificación de las amenazas según el origen]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 16."*

<b>NATURALES</b> Inherentes a la dinámica natural del planeta tierra		<b>SOCIO-NATURALES</b> Similares a los naturales, pero son conocidos
<b>Hidrometeorológicas</b>	<b>Geológicas</b>	Inundaciones Remoción en masa Incendios forestales Degradación de recursos naturales
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Huracanes</li> <li>• Vendavales</li> <li>• Amenaza cerámica</li> <li>• Heladas</li> <li>• Sequías</li> <li>• Inundaciones</li> <li>• Avenidas torrenciales</li> <li>• Granizadas</li> <li>• Erosión litoral</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sismos</li> <li>• Actividad volcánica</li> <li>• Remoción en masa</li> <li>• Tsunamis o maremotos</li> <li>• Diapirismo de lodos</li> </ul>	
<b>ANTRÓPICAS</b> Se refiere a las acciones directamente humanas tanto intencionales como no intencionales.		<b>TECNOLÓGICAS</b> Asociadas con actividades industriales y de transporte de sustancias peligrosas.

Aglomeraciones de personas Contaminación.	Derrames Fugas Explosiones Incendios (estructurales y forestales)
--	--

Las variables para el análisis de la amenaza son:

- **Tipo de amenaza**
- **Frecuencia**
- **Intensidad**
- **Territorio Afectado**

A continuación, se presentan las tablas que ayudan a la determinación de la Frecuencia, intensidad y territorio afectado por medio de la siguiente tabla:

*Tabla 21 [Criterios para determinar la frecuencia]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 28."*

FRECUENCIA		
Descripción	Valor	Calificación
Evento que se presenta más de una vez en el año o por lo menos una vez en un periodo de uno a tres años.	3	Alta
Evento que se presenta por lo menos una vez en un período de tiempo entre 3 y 5 años.	2	Media
Evento que se presenta al menos una vez en un período de tiempo entre 5 a 20 años.	1	Baja

*Tabla 22 [Criterios para determinar la intensidad]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 29."*

INTENSIDAD		
Descripción	Valor	Calificación
Numerosas personas fallecidas, gran cantidad de personas lesionadas, afectación de grandes extensiones del territorio, afectaciones graves en los recursos naturales, suspensión de servicios públicos básicos y de actividades económicas durante varios meses, pérdidas económicas considerables, graves afectaciones en la infraestructura departamental y un gran número de viviendas destruidas.	3	Alta

Pocas personas fallecidas, varias personas lesionadas de mínima gravedad, afectación moderada del territorio, afectación moderada de los recursos naturales, afectaciones en las redes de servicios públicos, suspensión temporal de actividades económicas, afectación moderada en la infraestructura departamental, pocas viviendas destruidas y varias viviendas averiadas.	2	Media
Sin personas fallecidas, muy pocas personas lesionadas de mínima gravedad, mínima afectación en el territorio, sin afectación en las redes de servicios públicos, no hay interrupción en las actividades económicas, sin afectación en infraestructura departamental, no hay destrucción de viviendas, ni viviendas averiadas.	1	Baja

Tabla 23 [Criterios para determinar el territorio afectado]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 28."

TERRITORIO AFECTADO		
Descripción	Valor	Calificación
Más del 80% de su territorio se encuentra afectado.	3	Alta
Entre el 50% y 80% del territorio presenta afectación.	2	Media
Menos del 50% del territorio presenta algún tipo de afectación.	1	Baja

### Evaluación de las amenazas

Es necesario conocer el nivel de intensidad, frecuencia e impacto territorial de cualquier amenaza. A continuación, se debe proceder al cálculo indicativo, entre las amenazas que se describen a continuación:

$$\text{Amenaza (A)} = \text{intensidad (I)} + \text{frecuencia (f)} + \text{territorio afectado (T)}$$

Tabla 24 [Calificación de las amenazas]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 29."

Intervalo	Calificación de la amenaza
1 - 3	Baja

4 - 6	Media
7 - 9	Alta

### **Análisis de la Amenaza**

En el barrio San Luis se caracteriza por ser un sector urbano discontinuo, en donde la mayoría del territorio hay una susceptibilidad a la inundación durante el periodo el periodo de lluvia es alto, es por eso por lo que la amenaza presente en esta zona es alta y presenta un posible escenario de riesgo alto por todos los antecedentes que se tienen como evidencia. De acuerdo con la información suministrada en este documento, se puede evidenciar un registro de venidas, derrumbes y crecientes en la zona, por esta razón se busca determinar en análisis de vulnerabilidad y amenaza en la zona, por un conjunto de elementos climáticos, geográficos, hidrográficos y sociales que pueden intervenir en la ocurrencia de estos eventos.

A continuación, se presentan los eventos que, según la matriz de amenaza realizada, son recurrentes y han afectado la zona de estudio:

*Tabla 25 Frecuencia de amenazas presentes en la zona. Elaboración propia.*

AMENAZA	Frecuencia	Calificación
Inundaciones	3	8
Remoción en Masa	3	9
Incendios Forestales	3	9
Incendios (Estructurales y Forestales)	3	9

De acuerdo con la tabla anterior, se pueden evidenciar los eventos recurrentes que son asociados a las inundaciones, remociones en masa e incendios forestales por lo cual tienen una calificación alta en un siendo los plazos de corto de tiempo, en donde se puede evidenciar que

cada año las cuencas y cauces de los ríos y quebradas en la zona han presentado alteraciones que han generado inundaciones por conseguido, producen daños y pérdidas mayores en la población.

*Tabla 26 Intensidad de amenazas presentes en la zona. Elaboración propia.*

AMENAZA	Intensidad	Calificación
Remoción en Masa	3	7
Incendios Forestales	3	8
Degradación de recursos naturales	3	9
Incendios (Estructurales y Forestales)	3	9

Para los eventos de amenaza más intensos presentados en la tabla anterior, se puede evidenciar que las inundaciones, incendios y la degradación de los recursos naturales, son los principales eventos que han causado más daño en la zona, como evidencia de los incendios forestales, se presentan de forma frecuente en el periodo de análisis, causando diversos impactos sobre la vegetación como pérdida de cultivos, bosques y selvas; impacto sobre la fauna debido a la destrucción de ecosistemas y cadenas tróficas que aportan alimento y refugio a diversas especies y los deslizamientos al remover grandes volúmenes de barro, tierra, rocas, limo, arena u otros elementos saturados de agua; pueden arrastrar árboles, rocas, viviendas, basura, escombros, vehículos, destruyendo todo a su paso, por lo cual en un periodo de 45 años entre 1970 a 2015 se tienen reportados 41 deslizamientos en la provincia del Guavio (La calera - Cundinamarca).

*Tabla 27 Territorio afectado por las amenazas presentes en la zona. Elaboración propia.*

AMENAZA	Territorio Afectado	Calificación
Inundaciones	3	8
Remoción en Masa	3	8
Incendios Forestales	3	9
Incendios (Estructurales y Forestales)	3	9

Para los eventos mostrados en la tabla, se tiene el común denominador de tener una puntuación alta debido a la frecuencia en la ocurrencia y al nivel de los daños presentados en el territorio de estudio.

- Evaluación y categorización de la Vulnerabilidad.

La vulnerabilidad se entiende como una debilidad que exhibe una sociedad frente a amenazas y su capacidad para recuperarse después del impacto se denominan vulnerabilidad. La falta de desarrollo que exhibe una sociedad es un problema social importante que está relacionado con la vulnerabilidad.

Para este proyecto se retoman los factores de vulnerabilidad definidos en la Guía Municipal para la Gestión del Riesgo (SNPD, 2010):

- **Factores físicos:** Se refiere a la ubicación y tenacidad del material de los bienes en correlación al evento amenazante.
- **Factores económicos:** Corresponde a los recursos económicos en una comunidad, tanto, así como la utilización de estos recursos.
- **Factores ambientales:** Hacen referencia a los recursos del entorno en los ecosistemas que extrae la comunidad y su capacidad para sustraer sin traumatismos los diferentes eventos amenazantes.
- **Factores Sociales:** Pertenecen a los aspectos organizacionales, políticos, educativos y culturales de la zona del desarrollo histórico en el presente y futuro.

A continuación, se presenta la descripción de los factores utilizados en la evaluación de la vulnerabilidad.

Tabla 28 [Factores de vulnerabilidad]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 28."

FACTORES AMBIENTALES	FACTORES SOCIALES
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ecosistemas</li> <li>· Fuentes hídricas</li> <li>· Superficies de cultivo</li> <li>· Deterioro de los recursos naturales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Educación</li> <li>· Participación de la comunidad</li> <li>· Percepción del riesgo</li> <li>· Organizaciones comunitarias</li> </ul>
FACTORES FÍSICOS	FACTORES ECONÓMICOS
<p>Corresponde a los materiales de construcción tales como:</p> <p>Vías Puentes Túneles Acueductos Hospitales Institucionales y educativas Estaciones Policiales Alcaldías</p>	<p>Estratos socioeconómicos Pobreza Ingresos en la sociedad Acceso a servicios públicos Acceso al ámbito laboral</p>

Esta definición de variables permite la descripción de los factores que originan la vulnerabilidad en los factores ambientales, físicos, económicos y sociales que se expresan en términos cuantitativos, es decir, el alcance de los daños se puede expresar utilizando categorías definidas por términos que representan varios niveles, como: bajo, medio y alto. A continuación, se presentan las tablas que ayudan a la determinación de las variables de vulnerabilidad física, social, ambiental y económica por medio de las siguientes tablas.

Tabla 29 [Criterios para determinar la vulnerabilidad física]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 33."

VULNERABILIDAD FÍSICA			
Variable	Valor de vulnerabilidad		
		Baja	Media

	1	2	3
Antigüedad de la edificación.	Menos de 5 años.	Entre 6 y 20 años.	Mayor de 20 años.
Materiales de construcción y estado de conservación.	Estructura con materiales de muy buena calidad, adecuada técnica constructiva y buen estado de conservación	Estructura de madera, concreto, adobe, bloque o acero, sin adecuada técnica constructiva y con un estado de deterioro moderado.	Estructuras de adobe, madera u otros materiales, en estado precario de conservación.
Cumplimiento de la normatividad vigente.	Se cumple de forma estricta con las leyes.	Se cumple medianamente con las leyes.	No se cumple con las leyes.
Características geológicas y tipo de suelo.	Zonas que no presentan problemas de estabilidad, con buena cobertura vegetal.	Zonas con indicios de inestabilidad y con poca cobertura vegetal.	Zonas con problemas de estabilidad evidentes, llenos antrópicos y sin cobertura vegetal.
Localización de las edificaciones con respecto a zonas de retiro a fuentes de agua y zonas de riesgo identificadas.	Muy alejada.	Medianamente cerca.	Muy cercana.

Tabla 30 [Criterios para determinar la vulnerabilidad económica]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 34.".

Variable	Valor de vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
	1	2	3
Situación de pobreza y seguridad alimentaria.	Población sin pobreza y con seguridad alimentaria.	Población por debajo de la línea de pobreza.	Población en situación pobreza extrema.
Nivel de ingresos.	Alto nivel de ingresos.	El nivel de ingresos cubre las necesidades básicas.	Ingresos inferiores para suplir las necesidades básicas.

Acceso a los servicios públicos.	Total, cobertura de servicios públicos básicos.	Regular la cobertura de los servicios públicos básicos.	Muy escasa cobertura de los servicios públicos básicos.
Acceso al mercado laboral.	La oferta laboral es mayor que la demanda.	La oferta laboral es igual a la demanda.	La oferta laboral es mucho menor que la demanda.

Tabla 31 [Criterios para determinar la vulnerabilidad Ambiental]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 34."

Variable	Valor de vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
	1	2	3
Condiciones atmosféricas.	Niveles de temperatura y/o precipitaciones normales.	Niveles de temperatura y/o precipitaciones ligeramente superiores al promedio normal.	Niveles de temperatura y/o precipitación muy superiores al promedio normal.
Composición y calidad del aire.	Sin ningún grado de contaminación.	Con un nivel moderado de contaminación.	Alto grado de contaminación, niveles perjudiciales para la salud.
Composición y calidad del agua.	Sin ningún grado de contaminación.	Con un nivel moderado de contaminación.	Alto grado de contaminación, niveles perjudiciales para la salud.
Condiciones de los recursos ambientales.	Nivel moderado de explotación de los recursos naturales, nivel de contaminación leve, no se practica la deforestación.	Alto nivel de explotación de los recursos naturales, niveles moderados de deforestación y de contaminación.	Explotación indiscriminada de los recursos naturales incremento acelerado de la deforestación y de la contaminación.

Tabla 32 [Criterios para determinar la vulnerabilidad Social]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 35."

Variable	Valor de vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
	1	2	3
Nivel de Organización.	Población organizada.	Población medianamente organizada.	Población sin ningún tipo de organización.
Participación.	Participación total de la población.	Escasa participación de la población.	Nula participación de la población.
Grado de relación entre las organizaciones comunitarias y las instituciones.	Fuerte relación entre las organizaciones comunitarias y las instituciones.	Relaciones débiles entre las organizaciones comunitarias y las instituciones.	No existen relaciones entre las organizaciones comunitarias y las instituciones.
Conocimiento comunitario del riesgo.	La población tiene total conocimiento de los riesgos presentes en el territorio y asume su compromiso frente al tema.	La población tiene poco conocimiento de los riesgos presentes y no tiene un compromiso directo frente al tema.	Sin ningún tipo de interés por el tema.

Para la calificación de la vulnerabilidad se pueden presentar la amenaza en ciertas situaciones de sensibilidad, en un entorno y en un plazo específico. Existir sin una amenaza que lo acompañe, y viceversa. De hecho, las amenazas y las vulnerabilidades dependen mutuamente; como resultado, al fortalecer la resiliencia de una comunidad, nivel de riesgo y condiciones de vulnerabilidad.

Esta se realiza de la siguiente forma:

$$V_t = V_f + V_a + V_e + V_s$$

**V<sub>t</sub>: vulnerabilidad Total**

**Vf: Vulnerabilidad Física****Va: Vulnerabilidad Ambiental****Vs: Vulnerabilidad Social**

Por lo cual, con estos valores obtenidos, nos guiamos de la siguiente tabla para su respectiva calificación:

*Tabla 33 [Calificación de la vulnerabilidad]. Tomada de [Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo] ([2012]). En [UNGRD], p. 36."*

Calificación	Descripción/Características	Intervalo
VB Vulnerabilidad Baja	Viviendas asentadas en terrenos seguros, con materiales sismorresistentes, en buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso medio y alto, con estudios y cultura de prevención, con cobertura de servicios públicos básicos, con un buen nivel de organización, participación y articulación entre las instituciones y organizaciones existentes.	16-26
VM Vulnerabilidad Media	Sectores que presentan inundaciones muy esporádicas, construcciones con materiales de buena calidad, en regular y buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso económico medio, cultura de prevención, con cobertura parcial de servicios básicos, con facilidades de acceso para atención de emergencia. Población organizada, con participación de la mayoría, medianamente relacionados e integración parcial entre las instituciones y organizaciones existentes.	27-37
VA Vulnerabilidad Alta	Edificaciones en materiales precarios, en mal y regular estado de construcción, con procesos de hacinamiento y tugurización. Población de escasos recursos económicos, sin conocimientos y cultura de prevención, cobertura parcial a inexistente de servicios públicos básicos, accesibilidad limitada para atención de emergencias; así como escasa a nula organización, participación y relación entre las instituciones y organizaciones existentes.	38-48

- Paso 5: Identificación, caracterización de los escenarios de riesgo y priorización de las zonas para la acción.

El "riesgo" se refiere a pérdidas anticipadas resultantes de una amenaza específica a un elemento expuesto. Durante un periodo particular del futuro. Sin embargo, debido a la complejidad de los fenómenos amenazantes y a la dinámica de los elementos expuestos, existe variación de oportunidades en términos de amenaza y vulnerabilidad que es necesario ampliar el análisis para que sirva como herramienta tanto para la planificación territorial como para mitigación de desastres.

El escenario de riesgo está representado por las características de los factores de riesgo, sus causas, la relación entre las causas, los actores causales y el tipo y nivel de riesgo de daños que puedan manifestarse, el reconocimiento de los principales elementos que demandan intervención, además de las acciones que pueden ser implementadas, los actores públicos y partes que deben intervenir. Los escenarios son herramientas que ayudan a comprender lo que podría suceder en el futuro teniendo en cuenta las incertidumbres. gama de futuros potenciales contra mediante el cual podrían desarrollar estrategias y mitigación.

### **Análisis de la vulnerabilidad**

El valor de la exhibición de los elementos expuestos, sus medios de subsistencia, los servicios ambientales, los recursos económicos y sociales, los bienes culturales y la infraestructura que pueden verse afectados por la manifestación de una amenaza se consideran al determinar el alcance de estos elementos nombrados. La zona de estudio se encuentra expuesta a riesgos significativos de inundaciones debido a diversos factores, como la topografía del terreno, la proximidad a cuerpos de agua y las condiciones climáticas adversas. Este análisis de vulnerabilidad tiene como objetivo evaluar la susceptibilidad de la zona a inundaciones y proponer medidas para mitigar los posibles impactos.

Considerando los elementos susceptibles expuestos, como el grupo etario y los servicios educativos y de salud, se llevó a cabo un análisis de los escenarios expuestos a la amenaza de inundación. Este análisis se basó en asignar puntajes a los descriptores identificados en los hogares y predios mediante encuestas. Cada descriptor recibió un valor de riesgo, calculado como el producto del puntaje asignado por cada componente de la vulnerabilidad (dimensión, factores, parámetros y descriptores).

Los valores obtenidos permitieron establecer un umbral de vulnerabilidad, identificando los predios con mayor susceptibilidad ante eventos de inundación por desborde. La metodología utilizada para este análisis se describe detalladamente en el anexo de la matriz de vulnerabilidad.

La evaluación se centró en la asignación de puntajes a los descriptores clave, permitiendo una clasificación efectiva de los predios según su vulnerabilidad. Esta metodología proporciona una herramienta integral para la toma de decisiones y la implementación de medidas de mitigación en áreas propensas a inundaciones.

- Factores físicos.

*Tabla 34 Vulnerabilidad de factores Físicos. Elaboración propia*

FACTORES FÍSICOS	
Antigüedad y calidad de los materiales de construcción.	Los edificios y estructuras más antiguos suelen estar contruidos con materiales menos resistentes a las inundaciones, como ladrillos, adobe o madera. Además, la calidad de los materiales de construcción puede variar, lo que puede afectar su resistencia a las inundaciones.
Cumplimiento de la NSR-10 de la infraestructura.	El cumplimiento de la NSR-10 a nivel constructivo en el barrio San Luis Altos del Cabo, KM 5 Vía a La Calera, es variable. Las viviendas formales suelen cumplir con la norma, ya que están contruidas por profesionales y con materiales de calidad. Sin embargo, las viviendas informales suelen no cumplir con la norma, ya que están contruidas sin los permisos necesarios y con materiales de baja calidad.
Vías, puentes y túneles.	Las vías, puentes y túneles en este barrio son vulnerables a las inundaciones, ya que se encuentran en zonas bajas y cercanas a los cauces de las quebradas. En caso de una inundación, estas infraestructuras

	podrían sufrir daños o quedar inutilizadas, lo que podría interrumpir el tránsito y el acceso a servicios básicos.
Acueductos y alcantarillado.	La vulnerabilidad ante inundaciones del acueducto y alcantarillado comunitario en el barrio San Luis Altos del Cabo, se ve agravada por los problemas en su diseño y funcionamiento. Estos problemas pueden aumentar el riesgo de daños en caso de una inundación, lo que podría afectar el suministro de agua potable y el saneamiento.
Infraestructura Vital Hospitales, Bomberos, Centros Educativos, estaciones de policía, entre otros.	Al igual que las demás infraestructuras se encuentran en zonas bajas y cercanas a los cauces de las quebradas, lo que las hace más vulnerables a las inundaciones, los Los materiales utilizados en estas infraestructuras pueden ser de baja calidad, lo que los hace más susceptibles a los daños por inundaciones y posiblemente no reciben el mantenimiento adecuado, lo que puede aumentar el riesgo de daños por inundaciones.

La antigüedad de estas estructuras y la diversidad en la calidad de los materiales de construcción contribuyen a una susceptibilidad mayor ante eventos de inundación, comprometiendo su resistencia y elevando el riesgo de daños y teniendo otro factor importante el cual influye en este factor físico se tiene el de La vulnerabilidad del acueducto y alcantarillado comunitario en la zona de estudio se ve agravada por deficiencias en su diseño y funcionamiento. Estos problemas potenciales incrementan el riesgo de daños durante venidas, derrumbes y crecientes, comprometiendo tanto el suministro de agua potable como el sistema de Saneamiento en la comunidad.

- Factores Económicos

*Tabla 35 Vulnerabilidad de factores económicos. Elaboración propia*

FACTORES ECONÓMICOS	
Pobreza y seguridad alimentaria.	El barrio tiene un alto nivel de pobreza, lo que significa que muchas personas tienen ingresos bajos o insuficientes para satisfacer sus necesidades básicas. Esto puede dificultar a las personas recuperarse de una inundación, ya que pueden no tener los recursos necesarios para reparar sus hogares o negocios.

Estratos socioeconómicos.	Según el PNGRD que proporciona datos sobre la distribución de los estratos socioeconómicos en las diferentes zonas del país. Los estratos socioeconómicos en el barrio San Luis Altos del Cabo, KM 5 Vía a La Calera, son los siguientes: Estrato 1: El 40% de la población vive en este estrato, que es el estrato más bajo. Estrato 2: El 30% de la población vive en este estrato. Las personas de este estrato suelen tener ingresos medios. Estrato 3: El 30% de la población vive en este estrato. Las personas de este estrato suelen tener ingresos altos. Las personas de los estratos socioeconómicos más bajos suelen ser más vulnerables a las inundaciones, ya que suelen vivir en viviendas informales y en zonas de riesgo.
Acceso a servicios públicos.	El barrio tiene un acceso limitado a servicios públicos básicos, como agua, saneamiento, energía y gas. Esto se debe a que el barrio es un asentamiento informal que aún no ha sido legalizado y este limitado acceso a servicios públicos puede aumentar la vulnerabilidad de las personas en el barrio ante inundaciones. En caso de una inundación, las personas pueden perder el acceso a estos servicios esenciales, lo que puede dificultar su recuperación.
Acceso al mercado laboral.	El barrio tiene como uso predominantemente residencial, con un pequeño porcentaje de usos dotacionales, comerciales y de servicios. Esto significa que la mayoría de las personas que viven en el barrio deben desplazarse para trabajar, ya sea a Bogotá o a otras zonas cercanas. Este factor puede aumentar la vulnerabilidad de las personas en el mercado laboral de la zona. Esto se debe a que: Los desplazamientos pueden ser costosos y consumir mucho tiempo. Las personas pueden estar expuestas a riesgos de seguridad en el camino al trabajo. Las personas pueden tener dificultades para encontrar trabajo en su zona residencial.
Cubrimiento de las necesidades básicas.	La vulnerabilidad de las personas en temas de cubrimiento de las necesidades básicas. Esto se debe a que pueden provocar la pérdida de viviendas, medios de vida y vidas, lo que puede dificultar el acceso a bienes y servicios. Dando pie a temas como: Pobreza: Las personas pueden no tener los recursos necesarios para satisfacer sus necesidades básicas. Desnutrición: Las personas pueden no tener acceso a una alimentación adecuada. Enfermedades: Las personas pueden estar expuestas a enfermedades debido a la falta de acceso a servicios de salud. Violencia: Las personas pueden estar expuestas a la violencia debido a la desigualdad social y la falta de oportunidades.

Estos factores son muy influyentes para la vulnerabilidad en la zona de estudio, ya que la escasez de recursos financieros limita la mejora de la población impidiendo el acceso a viviendas seguras y adecuadas, aumentando la vulnerabilidad ante condiciones climáticas adversas y

enfermedades, uno de los componentes principales que ha afectado esta población se enfoca en la falta de acceso a servicios básicos de agua y Saneamiento, a falta de recursos en una área afecta directamente la capacidad de cubrir las necesidades básicas, creando un ciclo perpetuo de pobreza.

- Factores Ambientales

*Tabla 36 Vulnerabilidad de factores Ambientales. Elaboración propia*

FACTORES AMBIENTALES	
Fuentes de Agua.	<p>El barrio se encuentra ubicado en una zona de alta precipitación, lo que aumenta el riesgo de inundaciones. La alta precipitación puede provocar inundaciones repentinas y de gran magnitud, que pueden ser especialmente peligrosas en zonas donde las viviendas se encuentran ubicadas en áreas bajas o cercanas a ríos y quebradas.</p> <p>En el caso del barrio San Luis Altos del Cabo, las fuentes de agua son un factor de riesgo particular. El barrio se encuentra ubicado en la zona de cabecera del páramo Cruz Verde, donde nacen diferentes quebradas que alimentan el río Bogotá. La pérdida de bosques y humedales en el páramo puede aumentar la escorrentía, lo que puede provocar venidas, derrumbes y crecientes en el barrio.</p>
Superficies cultivables.	<p>Las inundaciones pueden dañar los cultivos, lo que puede provocar pérdidas económicas y alimentarias. En el barrio San Luis Altos del Cabo, la agricultura es una actividad importante para la economía local. Las inundaciones pueden tener un impacto negativo en la producción agrícola, lo que puede afectar a los ingresos de las familias y a la seguridad alimentaria de la población.</p>
Biodiversidad.	<p>Las inundaciones pueden afectar a la biodiversidad, lo que puede tener un impacto negativo en los ecosistemas. El barrio San Luis Altos del Cabo se encuentra ubicado en una zona con biodiversidad, que incluye especies de flora y fauna únicas. Las inundaciones pueden dañar estos ecosistemas, lo que puede tener un impacto negativo en el medio ambiente y en la calidad de vida de la población.</p>
Deterioro de los recursos naturales.	<p>El deterioro de los recursos naturales, como la deforestación y la contaminación, puede aumentar el riesgo de venidas, derrumbes y crecientes. En el barrio San Luis Altos del Cabo, el deterioro de los recursos naturales es un problema importante. La deforestación y la contaminación pueden aumentar la escorrentía, lo que puede provocar inundaciones.</p>

San Luis Altos del Cabo enfrenta una vulnerabilidad ambiental significativa debido a su ubicación en una zona de alta precipitación. El riesgo de inundaciones, especialmente en áreas bajas o cercanas a ríos y quebradas, se ve acentuado por la particularidad de estar en la cabecera del páramo Cruz Verde. La pérdida de bosques y humedales en esta área puede incrementar la escorrentía, agravando la amenaza de venidas, derrumbes y crecientes repentinas y destacando la necesidad de medidas de conservación para mitigar el riesgo ambiental en el barrio.

- Factores Sociales

*Tabla 37. Vulnerabilidad de factores Sociales. Elaboración propia.*

FACTORES SOCIALES	
Educación y formación.	La falta de educación y formación puede dificultar la comprensión de los riesgos de inundaciones y la adopción de medidas de mitigación.
Pérdida de empleo.	La pérdida de empleo puede dificultar la recuperación económica tras una inundación.
Organizaciones comunitarias.	La falta de organizaciones comunitarias fuertes puede dificultar la coordinación de la respuesta a inundaciones.
Equidad de género.	La desigualdad de género puede aumentar la vulnerabilidad de las mujeres y las niñas ante inundaciones. Las mujeres y las niñas pueden tener menos acceso a recursos y oportunidades, lo que puede dificultar su recuperación tras una inundación.

La falta de educación y formación en San Luis Altos del Cabo dificulta la comprensión de los riesgos de inundaciones y la adopción de medidas de mitigación. La pérdida de empleo complica la recuperación económica después de una inundación. La debilidad de las organizaciones comunitarias dificulta la coordinación de respuestas efectivas. La desigualdad de género aumenta la vulnerabilidad de mujeres y niñas, limitando su acceso a recursos y

oportunidades y complicando su recuperación tras inundaciones. Estos factores sociales resaltan la necesidad de enfoques integrales para abordar la vulnerabilidad en la comunidad.

- Medidas preventivas.

La implementación de medidas preventivas ante inundaciones es crucial para reducir el riesgo de daños y proteger a las comunidades vulnerables. Aquí se presentan algunas medidas clave:

- **Sistemas de Alerta Temprana:** Establecer sistemas de alerta temprana que permitan a la comunidad recibir información oportuna sobre condiciones climáticas adversas y posibles inundaciones. Esto brinda tiempo para tomar medidas preventivas.
- **Ordenamiento Territorial:** Desarrollar planes de ordenamiento territorial que identifique áreas propensas a inundaciones y restrinjan la construcción en estas zonas. Esto reduce la exposición de las comunidades a riesgos innecesarios.
- **Infraestructura de drenaje:** Construir y mantener sistemas de drenaje eficientes que ayuden a dirigir el agua lejos de las áreas urbanas y comunidades. Esto incluye canales, desagües pluviales y sistemas de alcantarillado.
- **Refugios de Emergencia:** Establecer refugios de emergencia bien equipados y ubicados estratégicamente para proporcionar refugio a las personas afectadas durante inundaciones. Deben estar diseñados para resistir las inundaciones y contar con suministros esenciales.
- **Educación y Concientización:** Desarrollar programas educativos que informen a la comunidad sobre los riesgos de inundaciones, las señales de alerta y las acciones preventivas. Promover la conciencia pública es clave para una respuesta efectiva.

- **Prácticas Agrícolas Sostenibles:** Promover prácticas agrícolas que reduzcan la erosión del suelo y minimicen la escorrentía. La retención de agua en el suelo ayuda a prevenir inundaciones y protege las áreas circundantes.
- **Restauración de Ecosistemas:** Rehabilitar y conservar los ecosistemas naturales, como bosques y humedales, que actúan como reguladores naturales del agua. Estos ecosistemas pueden absorber agua, reducir la escorrentía y mitigar los impactos de las inundaciones.
- **Planificación de Evacuación:** Desarrollar planes de evacuación claros y eficientes que incluyan rutas seguras y puntos de encuentro. La población debe estar familiarizada con estos planes y practicar simulacros periódicos.
- **Monitoreo Meteorológico Continuo:** Mantener sistemas de monitoreo meteorológico continuo para anticipar eventos climáticos extremos y emitir alertas tempranas. La información en tiempo real es esencial para una respuesta efectiva.
- **Infraestructura de Protección Costera:** En áreas costeras, construir infraestructuras de protección, como diques y rompeolas, para reducir el riesgo de inundaciones causadas por mareas altas o tormentas.

La implementación de estas medidas preventivas requiere colaboración entre gobiernos, comunidades locales y organizaciones no gubernamentales para abordar integralmente la vulnerabilidad ante inundaciones.

#### Medidas de mitigación

- **Intervenciones Integradas:** Abordar la vulnerabilidad económica requiere estrategias integrales que se centren en mejorar el acceso a servicios básicos, promover la seguridad alimentaria y facilitar la inserción laboral.

- **Desarrollo de Habilidades:** Invertir en programas de formación y desarrollo de habilidades para mejorar las oportunidades de empleo y reducir la dependencia del empleo precario.
- **Fortalecimiento de la Infraestructura:** Mejorar la infraestructura básica, como viviendas y servicios públicos, para reducir la vulnerabilidad ante desastres y mejorar la calidad de vida.
- **Acceso a Recursos Financieros:** Proporcionar el acceso a servicios financieros y programas de apoyo para ayudar a las comunidades a acumular activos y enfrentar situaciones de emergencia.

## Capítulo VI: Evaluación del Modelo Propuesto

### Modelo Iber

Con la finalidad de evaluar el impacto de distintos escenarios hidrológicos, como las variaciones de caudal que se puedan presentar en la zona, cambios en la topografía del terreno, con esto facilitamos el proceso de identificar los puntos de riesgo frente a los fenómenos extremos y cambios climáticos.

1. Simulación del Modelo: Se realiza la ejecución de la simulación en Iber con el fin de calcular los flujos hidráulicos y observar la evolución del sistema fluvial a lo largo del tiempo.

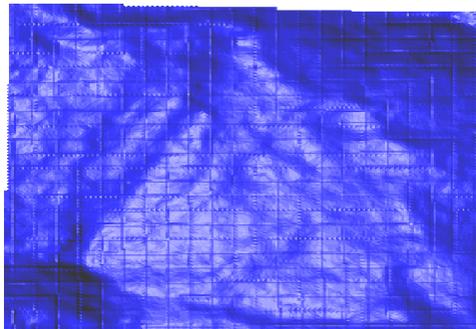


Figura 32 [Modelo de Superficie]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).

### Resultados de Modelo Iber

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la configuración del modelo en Iber la cual se realizó para las tres quebradas (Morací, Puente Piedra y Sureña) presentes en el polígono de estudio. Los resultados se presentan en base a los contornos de línea, en base al modelamiento hidráulico la cual nos arroja resultados como:

- **Depth** que se refiere a visualización de la profundidad de datos en el mapa elaborado, como la variación de altitudes o profundidad en el terreno.

- Los valores de **Froude**, que en hidráulica se utiliza para caracterizar el flujo de un fluido, relacionando la velocidad de este fluido y la velocidad en determinada superficie.
- **Descarga específica** que realiza el análisis de los resultados hidráulicos en cuanto a cantidad de fluido que fluye a través de una sección transversal, que para este caso se hizo para una quebrada.
- **Velocity** que se encarga de analizar los resultados hidráulicos sobre la velocidad del flujo en un sistema hidráulico, que tiene la finalidad de analizar el comportamiento dinámico de los sistemas fluviales.

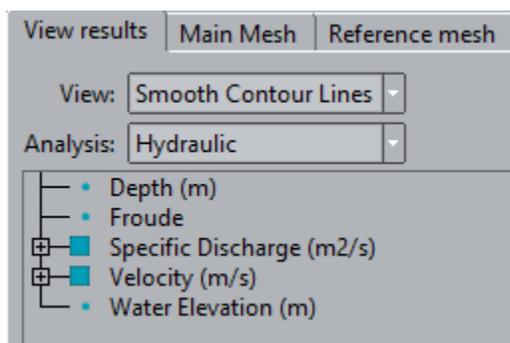


Figura 33 Menú [Tabla de resultados]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).

### ***Quebrada Morací.***

La modelación hidráulica de la quebrada Morací proporciona información crucial para la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos, por medio de las siguientes imágenes, se pueden evidenciar los resultados obtenidos, (así mismo se presentan los resultados de las quebradas Puente Piedra y Sureña).

- Resultados Depth.

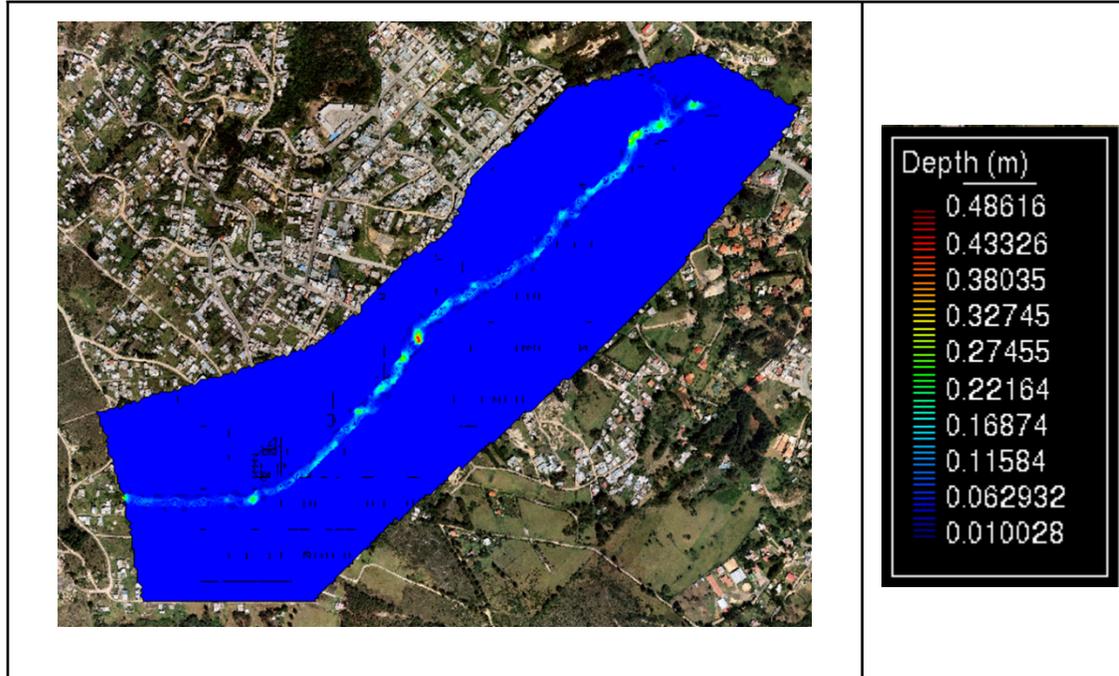


Figura 34 [Resultados Depth – Quebrada Moraci]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).

- Resultados Froude.

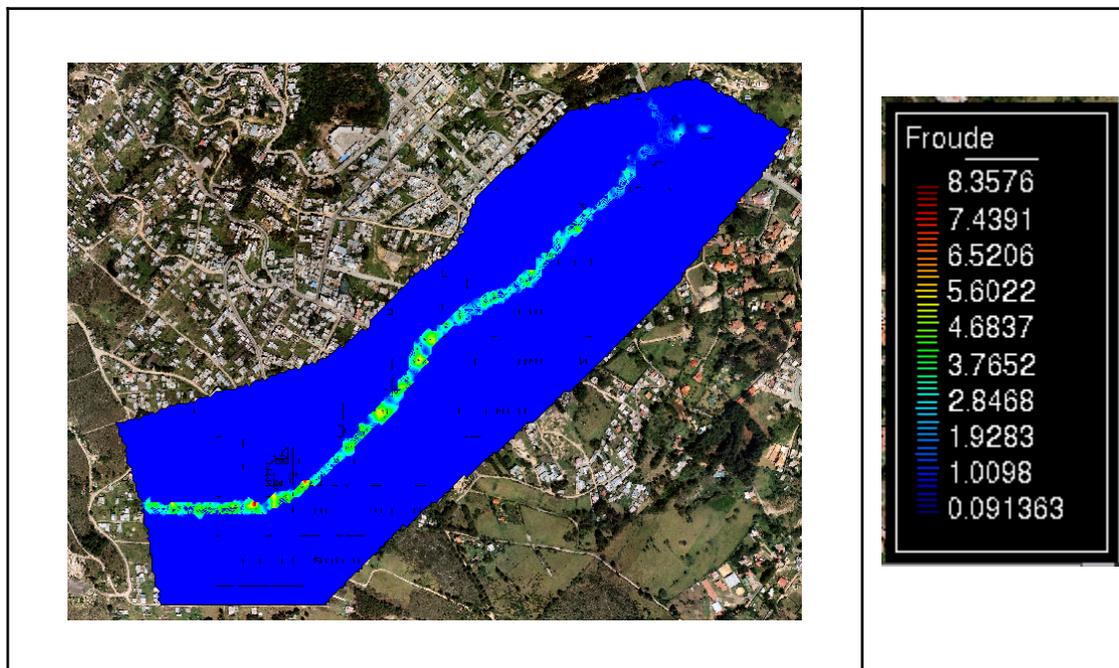


Figura 35 Figura [Resultados Froude – Quebrada Moraci]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).

- Resultados de Descarga Específica.

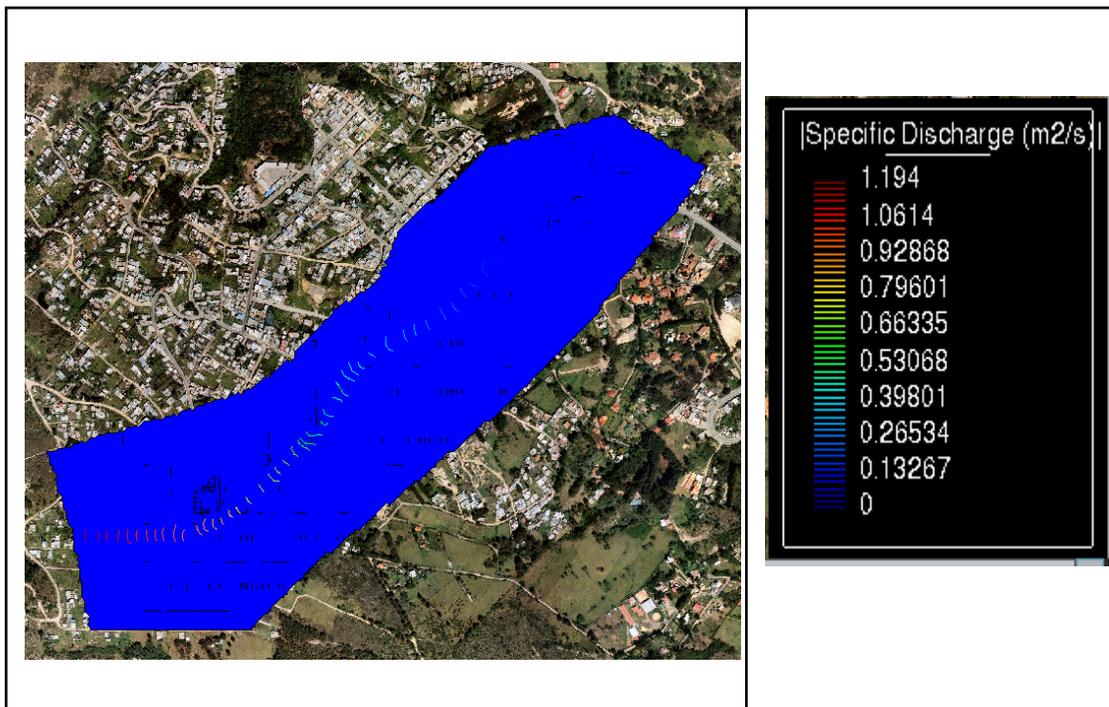


Figura 36 [Resultados Descarga Específica – Quebrada Moraci]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).

- Resultados de Velocidad.

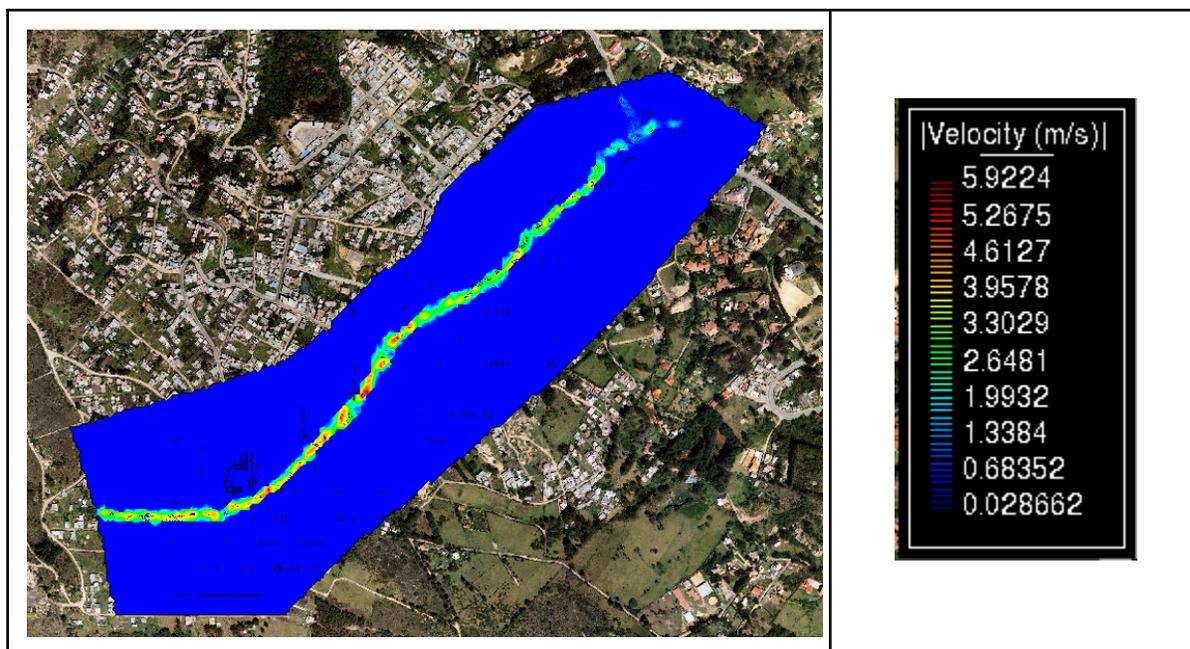


Figura 37 [Resultados velocidad – Quebrada Moraci]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).

### Quebrada Puente Piedra.

- Resultados Depth.

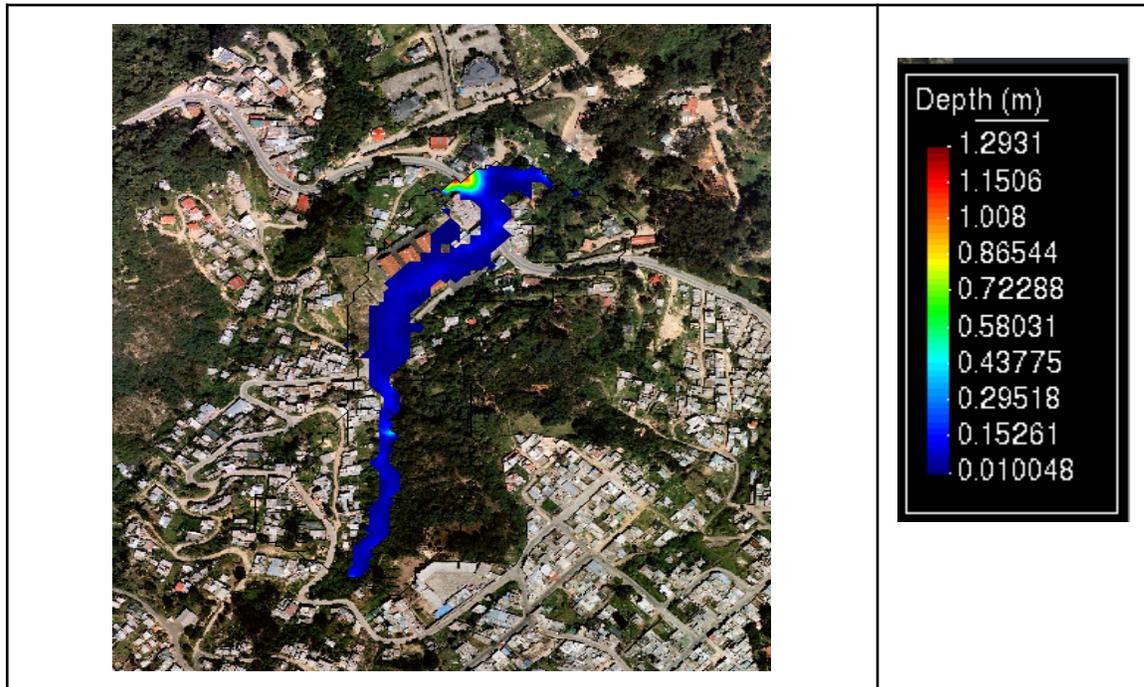


Figura 38 [Resultados Depth – Quebrada Puente Piedra]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).

- Resultados Froude.

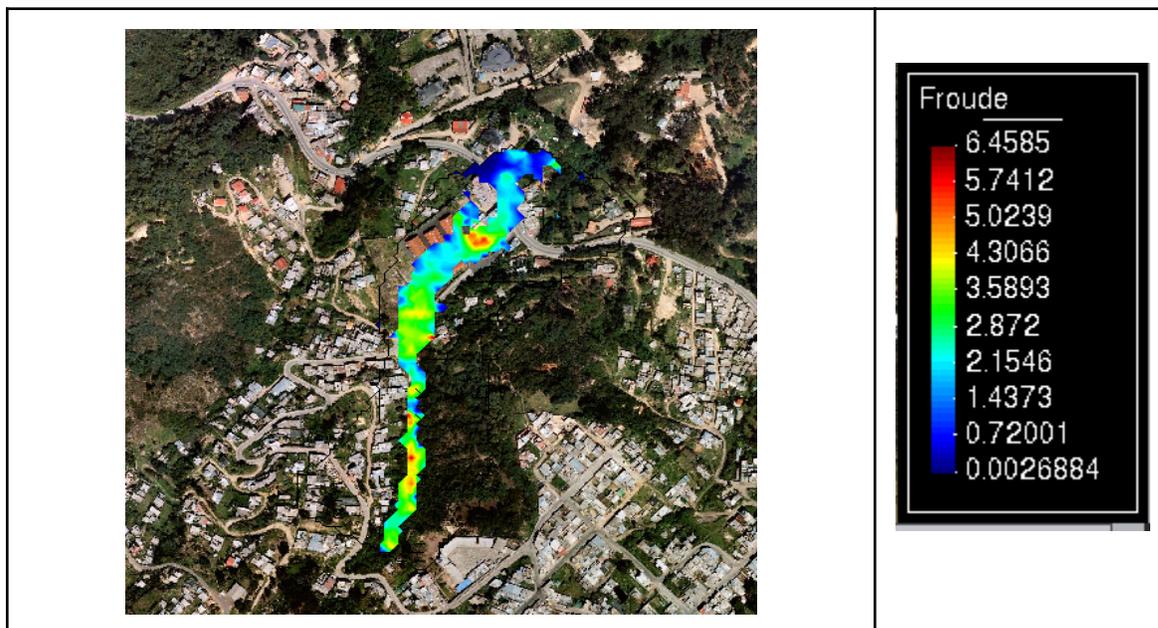


Figura 39 [Resultados Froude – Quebrada Puente Piedra]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).

## Resultados de descarga específica.

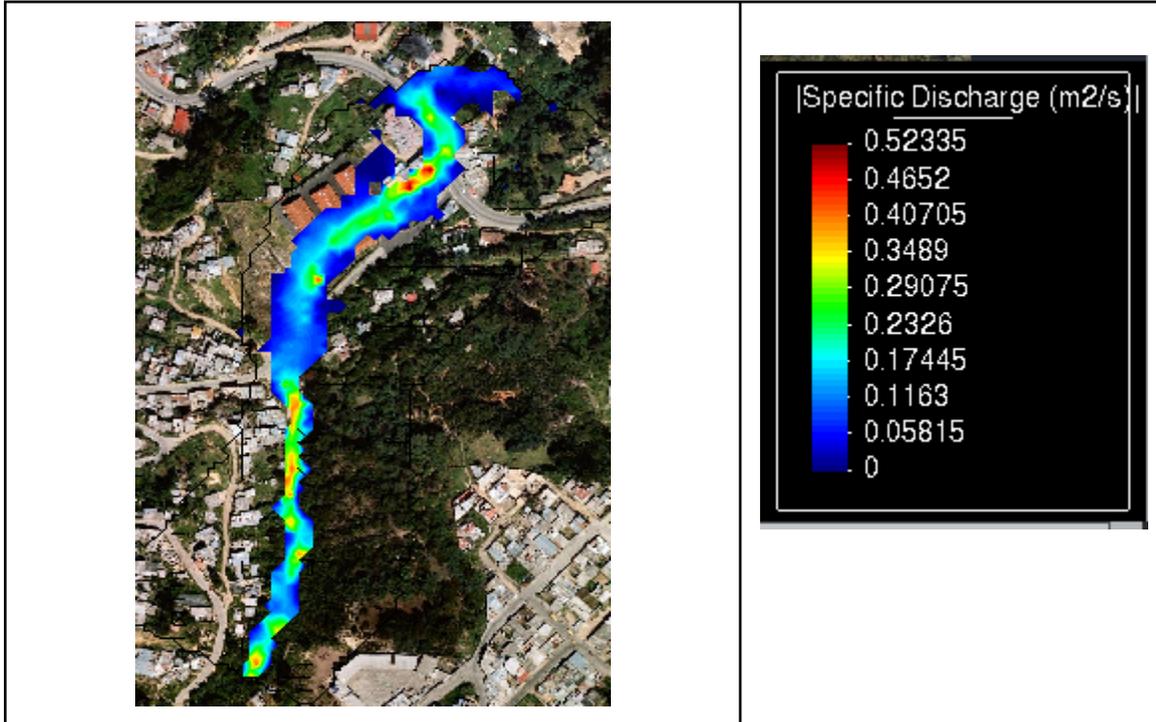


Figura 40 [Resultados Descarga Específica – Quebrada Puente Piedra]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] (2024).

- Resultados de Velocidad.

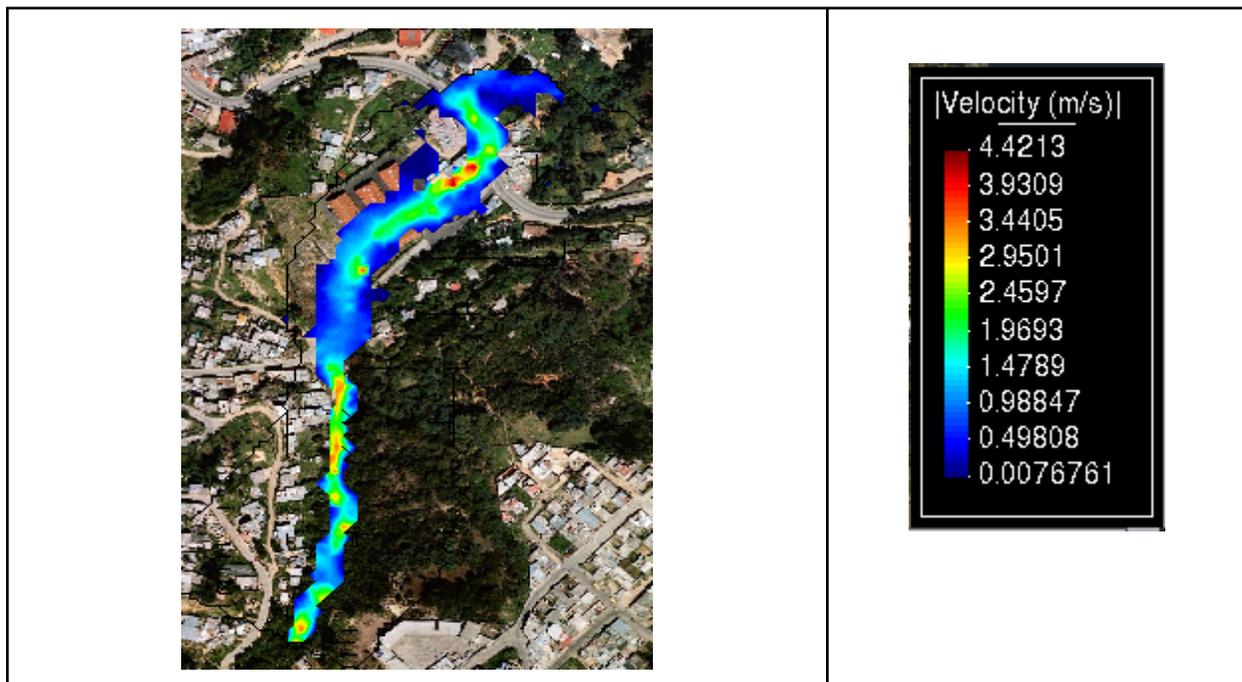


Figura 41 [Resultados Velocidad – Quebrada Puente Piedra]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] (2024).

### Quebrada Sureña.

- Resultados Depth.

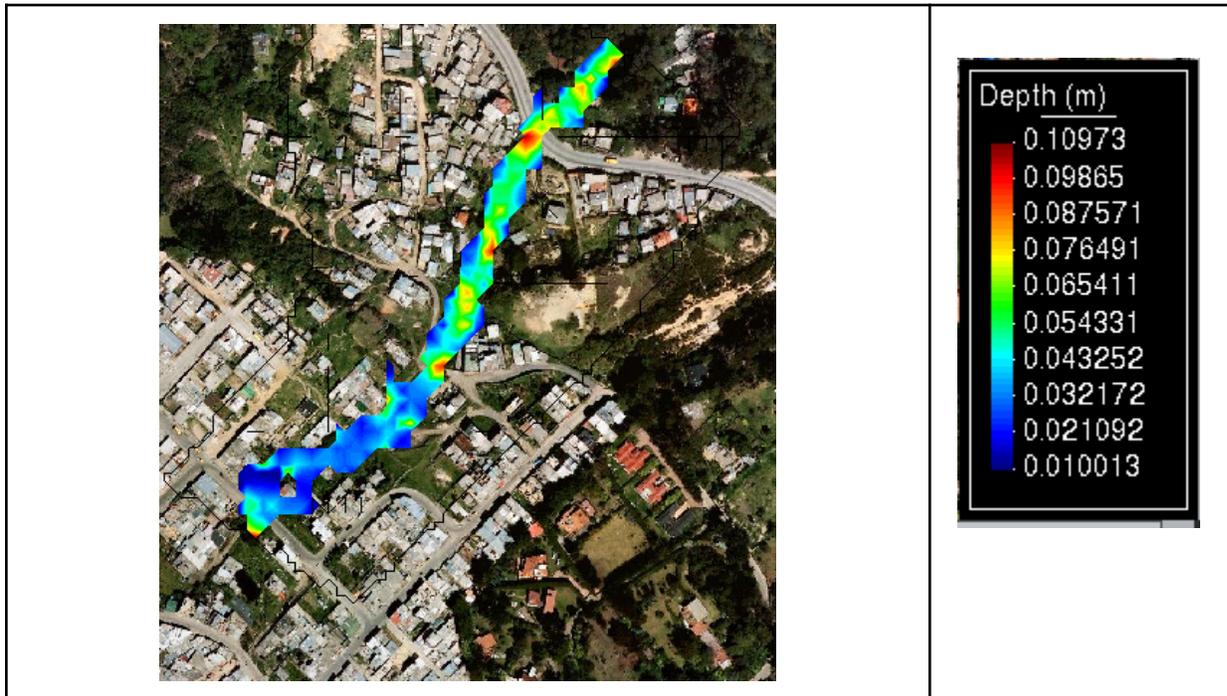


Figura 42 [Resultados Depth – Quebrada Sureña]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).

- Resultados Froude.

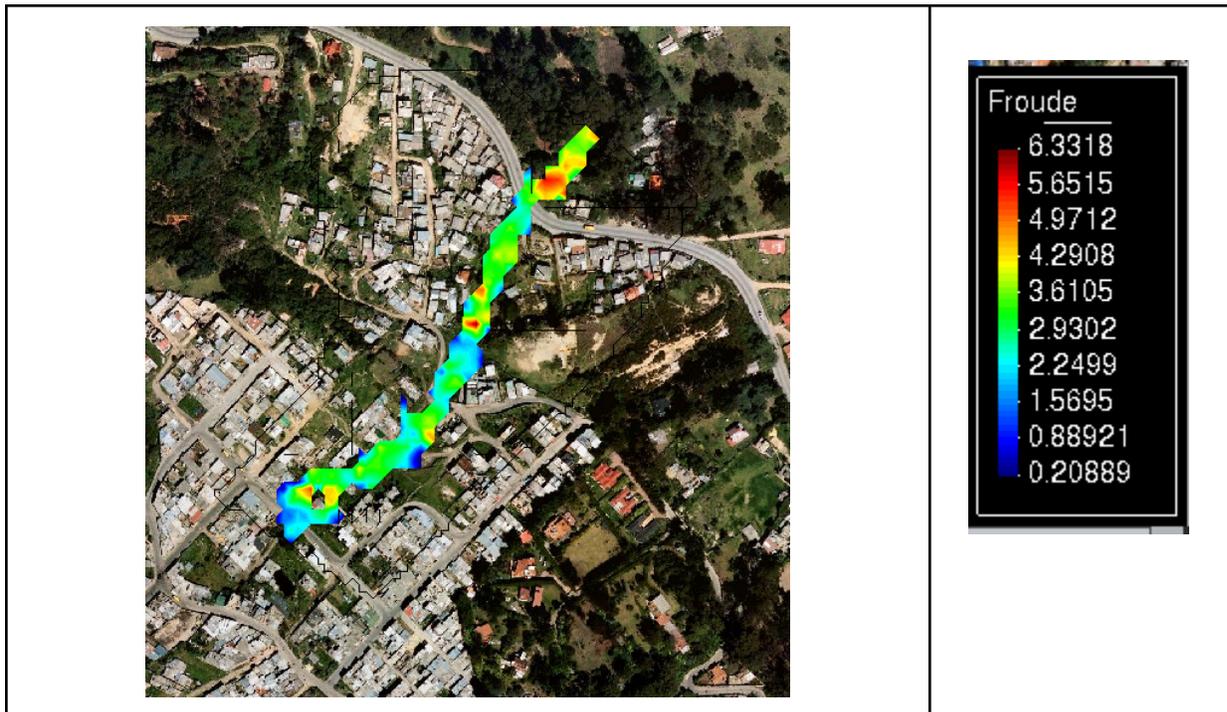


Figura 43 [Resultados Froude – Quebrada Sureña]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).

- Resultados de descarga específica.

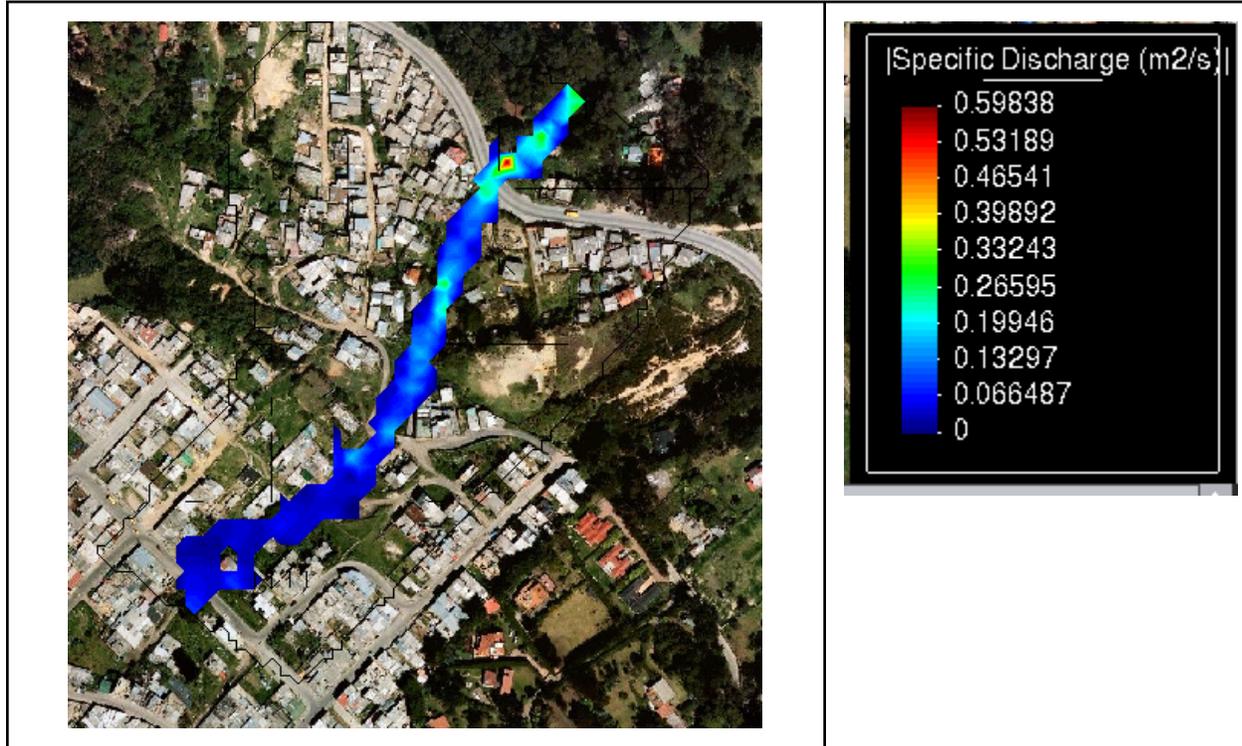


Figura 44 [Resultados Descarga Específica – Quebrada Sureña]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).

- Resultados de Velocidad.

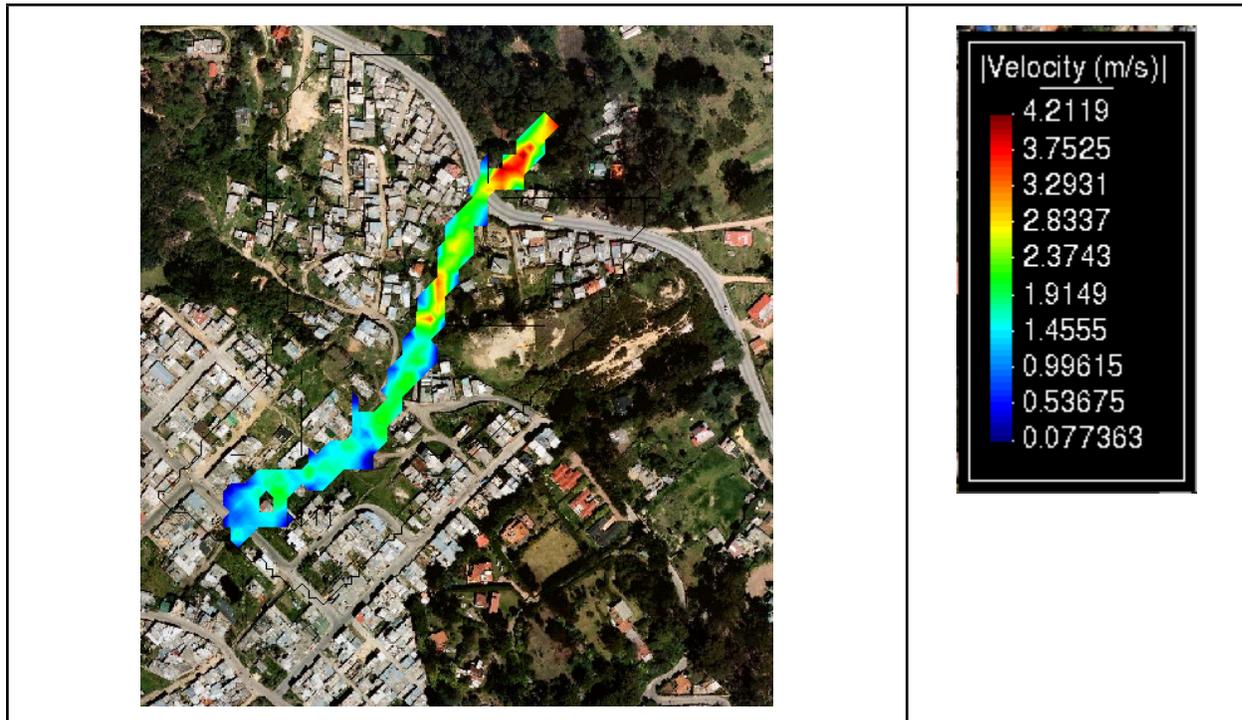


Figura 45 [Resultados Velocidad – Quebrada Sureña]. Tomada del modelo Iber [Fuente Propia] ([2024]).

## **Análisis y Discusión de Resultados**

### *Análisis Hidrológico*

- La primera parte del análisis de los resultados obtenidos se da a partir de la hidrología para las tres quebradas que atraviesan la zona: Morací Sureña y Puente Piedra. Se utilizaron datos de precipitaciones del IDEAM, el método de Thiessen y el coeficiente de escorrentía de la tabla de la Ven Te Chow. El método racional se empleó para calcular el caudal máximo, utilizando la fórmula  $Q = C * I * A / 360$ . La intensidad se determinó a partir del Manual de Drenaje de Carreteras del INVIAS y la curva IDF.
- La precipitación media anual es de 100.16 mm, utilizando el método de Thiessen para un área total de 0.275 hectáreas.
- Este valor se encuentra dentro del rango esperado para la región Andina de Colombia.
- Se determinó un coeficiente de escorrentía de 0.57, considerando la composición del área (10% asfalto, 40% zonas verdes, 20% zonas rurales y 30% zonas comerciales).
- Este valor indica una escorrentía media, lo que es consistente con la cobertura vegetal y la impermeabilización del área.
- Se calculó un caudal máximo de 3.95 m<sup>3</sup>/s para un tiempo de retorno de 5 años y una intensidad de 90.64 mm/h.
- Según la revisión realizada, ninguna de las quebradas estaba desbordando en el momento del análisis. Esto indica que las quebradas operan dentro del límite de su capacidad de transportar agua, lo que indica que el principal problema no radica en la capacidad natural de drenaje de las quebradas, sino en otros factores que contribuyen a las inundaciones. Los cauces naturales de las quebradas Morací Sureña y Puente Piedra rodean la zona urbana de San Luis y se encuentran al nororiente desembocando en el mismo lugar cerca a la vía

principal Bogotá-calera por ello se tiene una capacidad limitada para transportar agua. Un caudal de 3.95 m<sup>3</sup>/s podría superar la capacidad de los cauces y generar desbordamientos.

- Los resultados obtenidos en el modelo iber, se puede identificar que, para las 3 quebradas analizadas, muestran una zona de inundabilidad media por los valores de velocidad de flujo obtenidos, lo que significa que el sistema hidráulico en ocasiones excede la capacidad de almacenamiento para la evacuación de agua, esto puede dar lugar a inundaciones, especialmente durante los eventos donde la precipitación prolongada e intensa.

### *Análisis Geotécnico.*

- Después de realizar un análisis geotécnico basado en datos cercanos y conjeturas respecto a la información conocida, se identificaron valores de factor de seguridad. Sin embargo, diversos factores geológicos indican una susceptibilidad medio-alta a la remoción en masa en la zona estudiada. Además, considerando la hidrología, caracterizada por fuertes lluvias y deslizamientos, especialmente en un área de páramo, se incrementa la preocupación por la seguridad.
- El asentamiento humano en esta área agrega complejidad a la situación, evidenciando un alto riesgo social. Por consiguiente, se recomienda realizar un estudio adicional que incluya análisis de suelos específicos y actuales de la zona. Esto permitirá obtener una comprensión más precisa de la situación en San Luis Altos del Cabo, kilómetro 5, vía La Calera.

La zona presenta pendientes pronunciadas en algunos sectores, lo que aumenta la velocidad del agua y la fuerza erosiva. pudiendo generar daños en la infraestructura y en las zonas aledañas. Parte de la zona urbanizada presenta baja capacidad de drenaje debido a la

impermeabilización del suelo y la falta de infraestructura adecuada. Esto podría generar venidas, derrumbes y crecientes en zonas bajas y en puntos críticos de la red de drenaje.

- La combinación de información geotécnica de la zona ha aumentado significativamente la preocupación por la seguridad, especialmente teniendo en cuenta el asentamiento humano en la zona, que agrega complejidad y muestra un alto riesgo social, de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis hidráulico vemos que cuando hay una alta velocidad de flujo puede, esta puede causar erosión en los lechos de los ríos, arroyos o quebradas, lo que puede aumentar la profundidad del canal y disminuir la capacidad de almacenamiento. Además, la sedimentación puede obstaculizar el flujo de agua convencional y contribuir a la acumulación de agua en las áreas cercanas.
- La distribución y la velocidad del flujo de agua pueden verse afectadas por la topografía del terreno y la geomorfología del área. Los flujos de alta velocidad pueden ocurrir en áreas con pendientes pronunciadas o canales estrechos, lo que aumenta el riesgo de inundaciones aguas abajo, especialmente si el terreno se vuelve más plano o las secciones transversales se ensanchan.

#### ***Análisis de riesgo de Amenaza y Vulnerabilidad.***

- El análisis de amenaza y vulnerabilidad identificó elementos expuestos a riesgos, como infraestructuras críticas, zonas residenciales y recursos naturales, así como características que los hacen más susceptibles a los impactos de las inundaciones, como la falta de infraestructura de drenaje adecuada y la urbanización no planificada. Utilizando estos resultados, se creó un mapa de riesgo detallado que resalta las áreas de alta vulnerabilidad y riesgo. Esto ayuda a establecer prioridades para las medidas de adaptación y mitigación.

- En cuanto al riesgo de remoción en masa, las matrices de riesgo geotécnico indicaron un nivel medio de riesgo. Este resultado se basa en la geología del área, que muestra la presencia de fallas y pliegues geológicos que pueden desencadenar movimientos de tierra. Si bien el nivel de riesgo no es tan elevado como para incendios, aún representa una preocupación significativa para la seguridad de la comunidad y la estabilidad del terreno.
- La existencia de vegetación densa, compuesta principalmente por matorrales y arbustos, proporciona material combustible abundante para los incendios. Además, la presencia de áreas susceptibles a la sequía, donde la vegetación está seca, incrementa la vulnerabilidad del sector. La alta amenaza indica la probabilidad significativa de ocurrencia de incendios, mientras que la vulnerabilidad alta señala la exposición de la población y los recursos a los efectos adversos de tales eventos.

## Capítulo VII: Recomendaciones Finales

- Como recomendación se pueden implementar medidas de control de escorrentía, tales como la construcción de pozos, canales y un adecuado sistema de alcantarillado como parte de una estrategia para mitigar los riesgos de venidas, derrumbes y crecientes en la zona. Además, es fundamental realizar campañas de sensibilización a la comunidad sobre la importancia del manejo adecuado de residuos sólidos y aguas residuales, promoviendo prácticas responsables que contribuyan a la preservación del medio ambiente. Asimismo, la adopción de estas medidas y acciones contribuirá significativamente a la mitigación de los riesgos hidrológicos en la zona, promoviendo la seguridad y el bienestar de la comunidad.
- Dentro de las recomendación se sugiere que la mejor alternativa de construcción para un alcantarillado, debe cumplir con asegurar la eficacia y durabilidad del sistema de alcantarillado, se recomienda diseñar el sistema de modo que facilite el acceso para mantenimiento y reparaciones, garantizar un suministro continuo de accesorios y piezas, y considerar las condiciones topográficas del terreno. Es importante evaluar el peso de las tuberías en suelos inclinados para evitar desplazamientos, seleccionar tuberías adecuadas según el rango de presiones y espesores disponibles, y prever efectos como la cavitación y golpes de ariete. Además, se debe minimizar el número y tamaño de anclajes utilizando soldadura por tramos en redes con cambios pronunciados, y optar por tuberías con un bajo índice de daños por metro lineal para asegurar la operatividad y reducir riesgos de daños no imputables a la operación.
- Los resultados del análisis hidrológico e hidráulico indican que el sector San Luis Altos del Cabo Kilómetro 9 presenta una amenaza de desbordamientos moderada a alta.

- Es necesario implementar medidas de control de venidas, derrumbes y crecientes, como la construcción de canales de drenaje, la revegetalización de áreas y la implementación de sistemas de alerta temprana.
- Se recomienda realizar estudios más detallados para determinar la capacidad de la red de drenaje actual y proponer soluciones específicas para mitigar el riesgo de venidas, derrumbes y crecientes.
- Los resultados indican que el caudal de salida es nulo en todos los intervalos de tiempo, lo que sugiere que el agua no logra llegar al final del sistema fluvial en el lapso de 300 segundos. Por lo tanto, es necesario contar con datos de precipitación a largo plazo con el fin de entender el comportamiento hidrológico de la zona en el punto de estudio, para reflejar con mayor precisión las condiciones hidrológicas reales. Se pueden considerar cambios en la topografía, la rugosidad del lecho, la velocidad del flujo o la distribución de sedimentos para obtener resultados más precisos. También se puede extender el tiempo de estudio o ajustar los intervalos de tiempo para capturar adecuadamente la propagación del caudal a lo largo del sistema fluvial.
- El análisis de la información proporcionada sobre el talud en San Luis Altos del Cabo, Bogotá, Colombia, indica que el talud es estable con un factor de seguridad de 1.5, considerando un nivel freático a 2 metros de profundidad. No obstante, la evaluación también revela que el área presenta características geológicas y geotécnicas que la hacen susceptible a la remoción en masa.
- El talud en San Luis Altos del Cabo, Bogotá, Colombia, es estable bajo las condiciones actuales. Sin embargo, la presencia de diversos factores de riesgo lo hace susceptible a la remoción en masa en el futuro. Se recomienda realizar un monitoreo continuo del talud,

realizar estudios más detallados e implementar medidas de mitigación para reducir el riesgo de deslizamientos.

- Se recomienda la implementación de estrategias integrales que aborden tanto la reducción de la amenaza, a través de la gestión de cuencas hidrográficas y la construcción de infraestructuras de control de venidas, derrumbes y crecientes, como la mejora de la resiliencia de la comunidad, mediante la sensibilización pública, el fortalecimiento de las capacidades locales y la planificación del uso del suelo. Finalmente, este análisis sirve como base sólida para la toma de decisiones y la acción coordinada de los diversos actores involucrados en la gestión del riesgo de inundaciones en la zona.

## Capítulo VII: Conclusiones

Uno de los factores identificados es el asentamiento social de la zona, lo que sugiere que la ocupación humana de áreas propensas a venidas, derrumbes y crecientes puede estar relacionada con las inundaciones. Esto podría implicar la construcción de edificios y viviendas en áreas vulnerables, lo que aumenta el riesgo de inundaciones y expone a la población a peligros.

Después de realizar un análisis de amenazas y vulnerabilidades en la región afectada por venidas, derrumbes y crecientes, se han llegado a conclusiones importantes que servirán como guía para la gestión y reducción de los riesgos relacionados. La evaluación detallada de la amenaza dio a conocer la frecuencia y la magnitud de los eventos de inundación, lo que permitió una comprensión clara de la amenaza. Además, se indica que las obras hidráulicas creadas por humanos pueden no haber sido diseñadas para soportar el caudal entrante. Esto sugiere que la infraestructura hidráulica existente puede no ser adecuada para administrar de manera efectiva los flujos de agua durante situaciones extremas, lo que aumenta el riesgo de inundaciones. El evento de noviembre de 2022 en el sector de San Luis Altos del Cabo fue una tormenta inusualmente intensa. La tormenta produjo fuertes lluvias en un largo período de tiempo, lo que provocó inundaciones repentinas en algunas zonas. Siendo esto un recordatorio de que las inundaciones pueden ocurrir en cualquier época del año. Incluso en zonas con una precipitación anual relativamente baja, las tormentas intensas pueden provocar inundaciones repentinas.

El análisis resalta cómo los factores naturales y humanos interactúan entre sí para causar inundaciones en la región estudiada. Aunque las quebradas parecen tener la capacidad de transportar caudales, los problemas de asentamiento social y la infraestructura hidráulica inadecuada son desafíos importantes que deben abordarse para reducir el riesgo de inundaciones

y proteger a la población local. Para lograr una solución integral y sostenible al problema de las inundaciones en la zona, es fundamental implementar medidas de gestión del riesgo que aborden tanto los aspectos técnicos como sociales.

Analizando las encuestas realizadas y las múltiples opiniones se tiene evidencia que estos eventos ponen en peligro constantemente la seguridad, el bienestar de los residentes de la región. Es necesaria la intervención de los entes gubernamentales para implementar medidas de mitigación, prevención y respuesta apropiadas, así como para brindar el apoyo y los recursos necesarios para la reconstrucción y la adaptación frente a los riesgos naturales. Además, es responsabilidad de las autoridades garantizar la seguridad y el bienestar de todos los ciudadanos, especialmente aquellos que viven en áreas de alto riesgo como está, promoviendo así la resiliencia comunitaria y la protección ambiental, al involucrar a la comunidad en la identificación y evaluación de riesgos, se fomenta un sentido de conciencia compartida y responsabilidad, lo que puede impulsar la adopción de medidas de mitigación y preparación. En resumen, las encuestas sobre vulnerabilidad y amenazas de riesgos naturales son una herramienta crucial para mejorar la resiliencia de las comunidades y reducir los efectos de los desastres naturales.

### Capítulo VIII: Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Bogotá, Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (19 de diciembre de 2022). Documento Técnico de Soporte "Puentes Vehiculares Barrio San Luis en la Localidad de Chapinero: Inspección Visual" (Versión 1).
- Alcaldía de Bogotá. (2023). UPZ 89 - San Isidro Patios REVISIÓN GENERAL Plan de Ordenamiento Territorial. Recuperado el Instituto Geológico Colombiano (INGEOMINAS). (1999). Estudio de la geología y geomorfología de la zona de San Luis Altos del Cabo km 5 vía a La Calera, Bogotá-Colombia. Bogotá, Colombia: INGEOMINAS.
- Bello, Bustamante & Pizarro. Cepal (2020). Planificación para la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46001/1/S2000453\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46001/1/S2000453_es.pdf)
- Castro, C. M. (2017). Estudios hidrológicos y geotécnicos para la evaluación de riesgos. Revista Geológica de América Central, 56, 95-105.
- Castaño, J. A. (2009). Geología del cuadrángulo de Bogotá (No. 32). Servicio Geológico Colombiano.
- CEPREDENAC. (2019). Informe de amenazas naturales en Colombia.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2014). Hidrología aplicada. McGraw-Hill Education.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2023). Plan de Manejo Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá. Bogotá: CAR.
- DADGRR. (2020). Evaluación de amenazas por inundaciones en el Distrito de Cartagena. Cartagena, Colombia:

<https://www.cartagena.gov.co/noticias/gestion-del-riesgo-reporta-varias-emergencias-por-lluvias-las-ultimas-horas-850>.

- DADGRR. (2019). Plan Maestro de Drenaje Pluvial de Cartagena. Cartagena, Colombia: [https://portafolio.cartagena.gov.co/sites/portafolio\\_web/files/2021-12/13es.pdf](https://portafolio.cartagena.gov.co/sites/portafolio_web/files/2021-12/13es.pdf).
- Díaz & Ibarra. (2020) ESTUDIO DE AMENAZA DE INUNDACIÓN DEL RÍO CULAGÁ, SECTOR PUENTE PR2+500 EN LA VÍA TOLEDO – LABATECA, DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER, <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/9f2b263e-353e-4d56-a7c6-73cefbafe8bd/content>.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). (2023). Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá: EAAB.
- Estudio de suelos y análisis de cimentación para un edificio situado en la transversal 15 número 7116 barrio La Concepción de propiedad de los señores Germán García Heredia. (1991, enero). Bogotá: Servicio Geológico Nacional. Recuperado de <https://www.sgn.gob.do/> recurso 302 - 0004.
- Muñoz y Cia. Limitada. (1989, abril). Estudio de suelos y cimentaciones edificios San Julián calle 53 número 4 a 49. Bogotá: Servicio Geológico Nacional. Recuperado de <https://www.sgn.gob.do/> recurso 302 - 0004.
- García, J. C., & López, L. A. (2012). Geología de la cordillera Oriental. Boletín de Geología, 34(1), 21-36.
- Gobierno de Colombia. (2018). Plan de acción La Mojana 2018-2022. Bogotá, Colombia: Autor: Gómez, J., Echeverri, S., & Murcia, L. A. (2018). Origen y evolución geológica de la Cordillera Oriental de Colombia: Una revisión del Neoproterozoico al Cenozoico.

Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 42(163), 223-240.

- Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (2015). Análisis y diseño en ingeniería geotécnica. Pearson Educación.
- IDEAM. (2019). Caracterización de los eventos hidrometeorológicos más significativos en Colombia: Informe técnico La Mojana. Bogotá, Colombia: Autor.
- IDIGER. (2023). Caracterización General del Escenario de Riesgo por Inundación. IDIGER. <https://www.idiger.gov.co/rinundacio>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2019). Estudio Agrológico de Suelos de la Sabana de Bogotá. Bogotá: IGAC.
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2015). Manual de drenaje. Bogotá, Colombia. Capítulo 2. Hidrología de drenaje superficial vial. Sección 2.5. Metodologías para el cálculo de caudales y crecientes máximos instantáneos anuales de crecientes. Subsección 2.5.2. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). Páginas 64-73.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2020). Estudio del clima de la zona de San Luis Altos del Cabo km 5 vía a La Calera, Bogotá-Colombia. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Jardín Botánico de Bogotá. (2023). Catálogo de Flora de la Sabana de Bogotá. Bogotá.
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER). (2019). Mapa geotécnico de Bogotá D.C. [Figura 1]. En Estudio de suelos y análisis de estabilidad de taludes para la construcción del patio taller y el intercambiador vial de la primera línea del metro de Bogotá (pp. 3-4). Bogotá, Colombia: Autor.

[https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-geotecnico-de-Bogota-DC-con-el-tra-zado-de-la-primera-linea-del-metro\\_fig1\\_308962041](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-geotecnico-de-Bogota-DC-con-el-tra-zado-de-la-primera-linea-del-metro_fig1_308962041).

- Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS). (2008). Mapa Geológico de Colombia. Bogotá: INGEOMINAS.
- Rodríguez, J., & Gómez, M. (2016). Evolución tectono estratigráfica del Macizo de Bogotá: Aspectos geodinámicos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 381-394.
- UNGRD. (2017). Plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres: Eje Cafetero 2017-2020. Bogotá, Colombia: Primera Edición.
- UNGRD. (2020). Análisis de la situación de riesgo en la región Eje Cafetero. Bogotá, Colombia:  
<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Informes-de-Gestion/Informe-de-Gestion-U-GRD-2020.pdf>.
- Universidad de los Andes. (2022). Estudio de la vulnerabilidad de la población de la zona de San Luis Altos del Cabo km 5 vía a La Calera, Bogotá-Colombia. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes. 25 de agosto de 2023.
- Universidad Nacional de Colombia. (2015). Estudio de la geomorfología de la zona de San Luis Altos del Cabo km 5 vía a La Calera, Bogotá-Colombia. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Vargas Penagos, E., & Hernández Serrano, Ó. A. (2009). La función social y ecológica de la propiedad en los cerros orientales de Bogotá: el caso del barrio San Luis del Cabo (Tesis de maestría). Universidad de Los Andes.