



**PASTO**  
LA GRAN CAPITAL  
ALCALDÍA MUNICIPAL

SECRETARÍA  
DE PLANEACIÓN

---

# PLAN PARCIAL POLICIA METROPOLITANA

---

Equipamiento en Suelo de Expansión de Pasto.



Doctor German Chamorro de la Rosa

Alcalde Municipal

Arquitecto German Ortega Gómez

Secretario de Planeación Municipal

Arquitecto Enrique Riascos Villarreal

Subsecretario de Ordenamiento territorial

Equipo Técnico

Abogada Diana Cristina Martínez Villacres.

Arquitecto Mauricio Ortiz C.

Ing. Sanitario y Ambiental Diego Fernando Galindo González

Ing. Sanitario Francisco Ricardo Mafla Chamorro

Geógrafo Cristhian Javier Pinza

Topógrafo Frederman Galindo Lopera

Geóloga Dania Sofía Varona Bravo

Ing. Ambiental Jorge Andrés Rosero Legarda

Ing. Sanitario y Ambiental Jesús Felipe Torres Granja.

Geógrafo Oscar Brian Bolaños Guerrero



## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>9</b>
1.1. Determinantes urbanísticas.....	10
1.2. Delimitación del Plan Parcial Policía Metropolitana .....	12
1.3. Uso de suelo del plan parcial .....	14
<b>2. ASPECTOS URBANISTICOS .....</b>	<b>21</b>
2.1. Iniciativa del Plan parcial y pertinencia.....	21
2.1.1. Predios involucrados. ....	22
2.2. Memoria justificativa del Plan Parcial, condiciones de partida y criterios de diseño. ....	24
2.2.1. Diagnóstico urbanístico .....	24
2.2.2. Objetivos y criterios que orientaron las determinaciones de planificación adoptadas por el plan. ....	30
2.3. Planteamiento Urbanístico-definición y propuesta de los sistemas estructurantes de espacio público, vías y equipamientos .....	31
2.3.1. Cargas y beneficios .....	33
2.3.2. Estrategia de gestión y financiación. ....	45
2.3.3. Instrumentos legales aplicables para la financiación del plan.....	45
2.4. Servicios Públicos .....	46



2.4.1.	Lineamientos de los instrumentos de planificación.....	49
2.4.2.	Factibilidad de extensión de cobertura y optimización de los servicios públicos.....	50
<b>3.</b>	<b>ASPECTOS AMBIENTALES .....</b>	<b>60</b>
3.1.	Determinantes ambientales.....	60
3.2.	Base cartográfica .....	65
3.2.1.	Metodología.....	65
3.2.2.	Resultados.....	79
3.3.	Geología local .....	96
3.3.1.	Unidades Geológicas.....	96
3.3.2.	Geología Estructural .....	97
3.3.3.	Unidades de Geología para Ingeniería (UGI) .....	99
3.4.	Geomorfología a nivel de elementos geomorfológicos.....	107
3.5.	Sistema hídrico.....	109
3.5.1.	Oferta y demanda hídrica. ....	110
3.5.2.	Calidad del recurso hídrico para abastecimiento .....	111
3.5.3.	Hidrogeología .....	113
3.6.	Uso y cobertura del suelo.....	116
3.6.1.	Área de influencia .....	118
	Documento técnico de soporte Plan Parcial Policía Metropolitana	4



3.6.2.	Ocupación.....	119
3.6.3.	Estructura predial.....	120
3.7.	Exploración del subsuelo .....	122
3.8.	Caracterización de Flora y Fauna .....	123
3.8.1.	Diversidad y composición de fauna .....	125
3.8.2.	Diversidad y composición florística.....	128
3.9.	Estructura ecológica principal .....	132
3.9.1.	Franjas de protección hídrica.....	133
3.9.2.	Reserva Natural Janacatú .....	137
<b>4.</b>	<b>GESTION DEL RIESGO.....</b>	<b>139</b>
4.1.	Análisis de Amenaza y Riesgo .....	139
4.1.1.	Preliminares.....	143
4.1.2.	Localización General .....	143
4.1.3.	Amenaza ante movimientos en masa.....	145
4.1.4.	Amenaza por inundaciones. ....	176
4.1.5.	Amenaza por flujos torrenciales.....	273
4.1.6.	Amenaza sísmica .....	328
4.1.7.	Amenaza volcánica.....	334



4.1.8.	Amenaza por subsidencia antrópica-extracción de arena .....	340
4.2.	Elementos expuestos. ....	343
4.3.	Vulnerabilidad. ....	344
4.4.	Riesgo por avenidas torrenciales e inundaciones. ....	348
4.4.1.	Medidas de mitigación del riesgo.....	351
4.4.2.	Medidas estructurales.....	357
4.4.3.	Presupuesto de obras.....	364
<b>5.</b>	<b>PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.....</b>	<b>371</b>
5.1.	Actividades requeridas en el momento de ejecución de obra. ....	378
5.2.	Programas del Plan de Manejo Ambiental. ....	378
5.3.	Medidas de manejo ambiental, determinantes en el desarrollo de la propuesta urbanística.....	379
<b>6.</b>	<b>PROGRAMA DE EJECUCION.....</b>	<b>382</b>
6.1.	Consideraciones Generales .....	382
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>385</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>390</b>



## **INTRODUCCION**

Uno de los aspectos del planeamiento urbanístico es la correcta implantación de equipamientos urbanos, entendidos como los inmuebles que prestan servicios básicos y servicios sociales a la población.

La formulación del Plan Parcial Metropolitana es un proyecto que pretende habilitar suelo de expansión para uso institucional urbano en una zona identificada en el POT desde el año 2000 que aún no ha surtido el proceso de urbanización. Se trata de un área a conectar con la ciudad y con la vía Paso Nacional por Pasto.

El Municipio de Pasto encuentra con esto una oportunidad para fortalecer el modelo de ordenamiento establecido por el POT, en cuanto a la consolidación de un territorio reestructurado en su organización físico espacial, consolidado, equilibrado, dinámico, habitable y poli céntrico.

Si bien desde su clasificación como área de expansión urbana estos suelos presentaban limitaciones de la cobertura de servicios públicos, con la culminación de la variante Paso nacional por Pasto y la puesta en funcionamiento del proyecto Las Piedras, nuevo acueducto para la ciudad de Pasto, se garantiza la cobertura del servicio de agua potable por parte del operador EMPOPASTO S.A.E.S.P. y la conectividad hacia el norte y sur del municipio.

Con estas nuevas condiciones el área de Aranda cuenta con todos los requisitos para su desarrollo urbanístico, es así como en 2015 se firma el convenio con el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio para desarrollar los estudios del plan Parcial, que incluye lo relacionado con amenazas y riesgos a nivel básico. De acuerdo a las determinantes ambientales de Aranda quedan faltando elementos para lograr la concertación de los asuntos estrictamente ambientales con la Corporación autónoma regional, tal como lo exige la normatividad.



En esta coyuntura, surge la necesidad de desarrollar el Plan parcial Policía Metropolitana ante la necesidad imperante de ampliar la cobertura institucional del servicio de seguridad y las demás funciones de la institución en el territorio.





## 1. GENERALIDADES.

Los Planes Parciales como instrumentos de planificación y gestión del suelo permiten planificar áreas determinadas de terreno localizadas en suelo urbano y de expansión urbana con el fin de desarrollar y complementar el Plan de Ordenamiento Territorial.<sup>1</sup> Los planes parciales son instrumentos para materializar el principio constitucional de reparto equitativo de cargas y beneficios<sup>2</sup> del urbanismo: *“Mediante el plan parcial se establece el aprovechamiento de los espacios privados mediante la asignación de sus usos específicos, intensidades de uso y edificabilidad así como las obligaciones de cesión y construcción y dotación de equipamientos, espacios y servicios públicos, que permitirán la ejecución asociada de los proyectos específicos de urbanización y construcción de los terrenos incluidos en su ámbito de planificación”*<sup>3</sup>.

Los equipamientos urbanos son las instalaciones ubicadas en suelo urbano con el objeto de proveer a los ciudadanos servicios sociales, colectivos y básicos. La localización de los equipamientos se fundamenta en el sentido social de la prestación de los servicios que asegura las condiciones de cobertura, calidad y accesibilidad.<sup>4</sup>

El suelo de expansión urbana, de acuerdo al artículo 32 de la ley 388 de 1997, *“está constituido por la porción del territorio municipal destinada a la expansión urbana,*

---

<sup>1</sup> Decreto 1077 de 2015, Único reglamentario del sector Vivienda Ciudad y Territorio.artículo 2.2.1.1. Definiciones, del Título I de la parte 2 del Decreto 1077 de 2015.

<sup>2</sup> CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA articulo 338 (...) *“el método para definir tales costos y beneficios, y la forma de hacer su reparto, deben ser fijados por la ley, las ordenanzas o los acuerdos.”*

<sup>3</sup> Op.cit.

<sup>4</sup> Ver Acuerdo 04 de 2015, Plan de Ordenamiento Territorial Pasto Territorio con sentido, artículo 178 Sistema de equipamientos.



que se habilitará para el uso urbano durante la vigencia del plan de ordenamiento, según lo determine el programa de ejecución del Plan.

*La determinación de este suelo se ajustará a las previsiones de crecimiento de la ciudad y a la posibilidad de dotación con infraestructura para el sistema vial, de transporte, de servicios públicos domiciliarios, áreas libres, y parques y equipamiento colectivo de interés público o social.(...)*

### 1.1. Determinantes urbanísticas

En este aparte es importante precisar las determinantes urbanísticas que provienen del plan de Ordenamiento Territorial para los planes parciales, pero sobre todo aquellos específicos en el tema de equipamiento urbano.

El artículo 185 del acuerdo 04 de 2015, propone unas “*Determinantes urbanísticas para los equipamientos*” y las resume de la siguiente forma:

*“La implantación de nuevos equipamientos debe cumplir con la norma urbanística de usos de suelo, tratamientos urbanísticos, edificabilidades, normas volumétricas, movilidad, gestión del riesgo y de accesibilidad establecidas en el presente acuerdo, así como a las normas técnicas para cada equipamiento.”*

*Las determinantes en el tema de edificabilidades están regladas por el artículo 188*

Edificabilidad para equipamientos, que dice:

*“La edificabilidad específica para los equipamientos será:*

Tabla 1 Norma de equipamientos del Acuerdo 04 de 2015

TIPO DE EQUIPAMIENTO	LOCALIZACION E INDICE DE OCUPACION
Equipamientos con área superior a 1.000 m <sup>2</sup>	Edificabilidad tipo 1, para optar edificabilidad adicional (edificabilidad 2) se



TIPO DE EQUIPAMIENTO	LOCALIZACION E INDICE DE OCUPACION
	tendrá en cuenta los retrocesos establecidos en las normas volumétricas.
	Los nuevos equipamientos con estas características se deben localizar sobre vías arterias A3, A2 o A1.
	Índice de ocupación máximo del 60%
	Altura de acuerdo al plano EE6 Modelo morfológico de alturas
Equipamientos con área inferior a 1.000 m2	Edificabilidad tipo 1.
	Índice de ocupación máximo del 75%
	Altura de acuerdo al plano EE6 Modelo morfológico de alturas

Por su parte el artículo 191 Localización de nuevos equipamientos, complementa:

*“La localización de los nuevos equipamientos debe desarrollar, apoyar y soportar la estrategia espacial definida en el modelo de ordenamiento, con el fin de garantizar cobertura integral, accesibilidad adecuada y distribución equitativa de acuerdo con las demandas poblacionales.*

*Esta localización deberá tener en cuenta la capacidad vial del sector de implantación, la articulación de la oferta ya instalada de equipamientos y la red municipal de parques. En el sector rural los equipamientos se localizarán en las centralidades rurales.*

De acuerdo a estos lineamientos las determinantes urbanísticas del plan parcial Policía Metropolitana tienen las siguientes condiciones:

El equipamiento de la Policía Metropolitana deberá estar conectado con las principales vías arterias de la red arterial, las cuales conectan el área de planificación con la estructura urbana actual.

Los criterios de diseño responderán a las condiciones aquí descritas y por lo tanto deben satisfacer los mínimos de un urbanismo sostenible que genere una trama funcional integrada a la estructura ambiental.



La ocupación de las construcciones debe permitir el drenaje natural del terreno, integrado a los sistemas naturales preexistentes.

Los accesos vehiculares del proyecto no deben interferir con el sistema de espacio público el cual debe asegurar la máxima continuidad de la estructura ambiental.

Los recorridos peatonales integraran transversalmente el predio a las manzanas de vivienda y a las áreas de comercio y servicios que se localicen en los demás planes parciales que tengan como objetivo el desarrollo del suelo de expansión, armando trazados urbanos que conecten los bloques de vivienda, el espacio público y el equipamiento propuesto en el plan parcial Policía metropolitana.

## 1.2. Delimitación del Plan Parcial Policía Metropolitana

El área de Planificación del presente Plan Parcial se localiza en la zona de expansión denominada Plan Parcial Aranda sobre un solo predio limitado por el norte por vía carretable, sus linderos son como se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2 Predios colindantes con el plan parcial Policía Metropolitana

Lindero	No	Código predial	Propietario	Área (ha)
<b>OCCIDENTE</b>	1	520010002000000030754000000000	CHAMORRO PIMIENTO ALICIA MARIA	7,23
	<b>SUR</b>	2	520010002000000030005000000000	TROYA JESUS EUDORO
3		520010002000000030540000000000	AGREDA ROSAS JUAN CARLOS	1,52
<b>ORIENTE</b>	4	520010002000000030417000000000	RENGIFO DORADO LEYLA CRISTINA – GUILLERMO ACOSTA	18,75
	5	520010002000000030599000000000	CHAVEZ ROSERO JOSE ANTONIO	6,42
	6	520010002000000030597000000000	TUMAL, CLARA DEL ROSARIO	0,63



Lindero	No	Código predial	Propietario	Área (ha)
	7	520010002000000030743000000000	INSUASTY OCANA RUTH AMPARO	0,4
<b>NORTE</b>	8	520010002000000030598000000000	TUMAL AURELIO FAUSTO	3,09
	9	520010002000000030600000000000	CHAVEZ ROSERO JOSE ANTONIO	1,47
<b>OCCIDENTE</b>	10	520010002000000030602000000000	NUPAN GUACAS ALFREDO	3,57

Como se describe es un Plan Parcial de un solo predio, el cual por estar enmarcado dentro de la Zona del Plan Parcial Aranda se puede desarrollar independientemente, y debe articularse además a un planteamiento de mayor alcance que aquí se esboza, pero debe generar las cesiones propias en conveniencia con lo planeado a nivel macro dentro del Plan parcial Aranda.

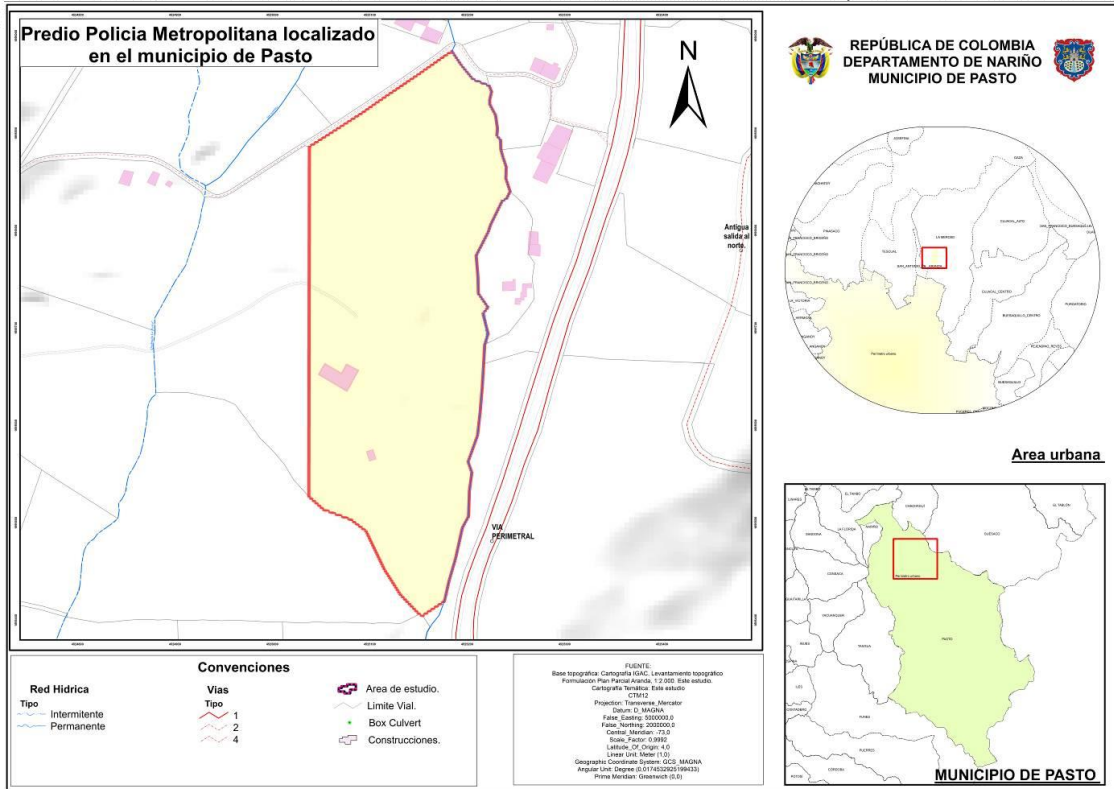


Figura 1. Plano BC01 Localización Área de estudio Plan Parcial Policía Metropolitana.

### 1.3. Uso de suelo del plan parcial

El predio objeto de la formulación del Plan Parcial Policía Metropolitana se encuentra en el polígono denominado zona de expansión Aranda según el Plan de Ordenamiento Territorial vigente. El área de expansión Aranda no ha sido incorporada aun al suelo urbano razón por la cual aún continúa teniendo características de suelo rural.

La mayor área sigue teniendo destinación agrícola, y de protección ambiental (el 23% del área total de los lotes corresponde a la Reserva Natural Janacatú).

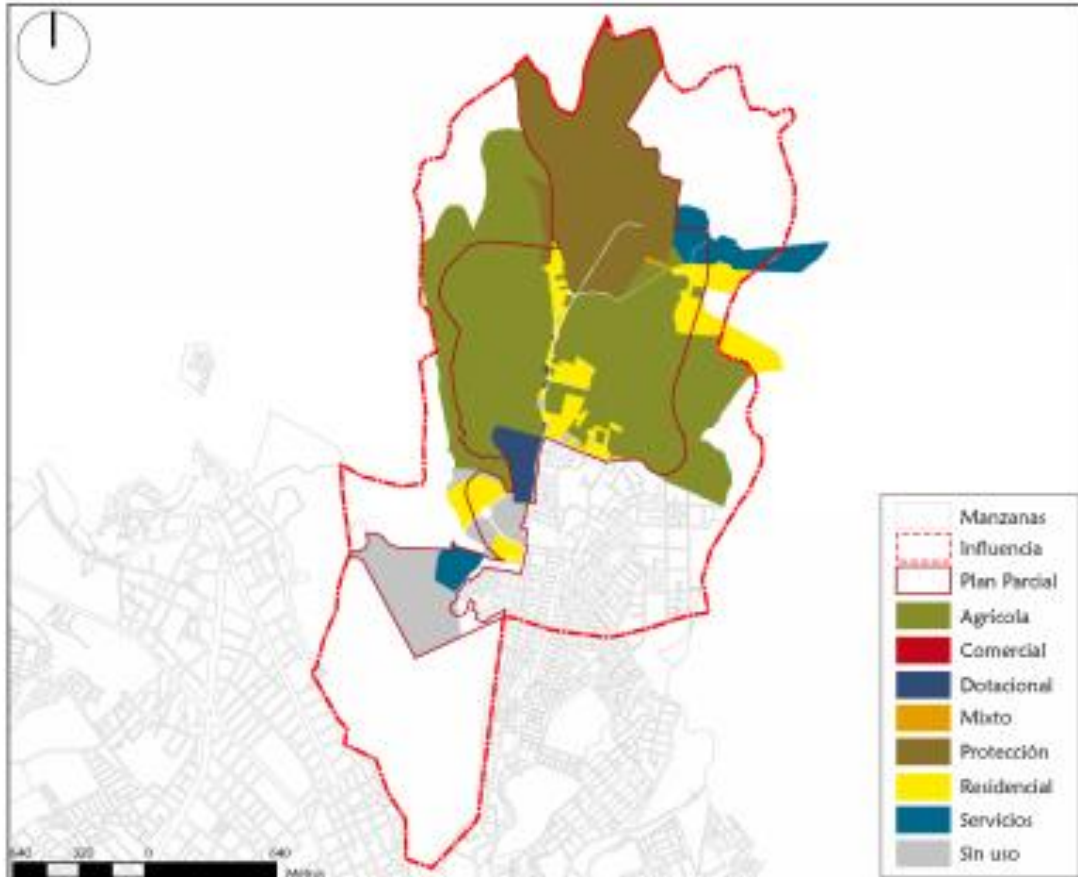


Figura 2. Usos de suelo actuales en la zona de expansión Aranda.

fuelle: Plan parcial Aranda

Otros usos predominantes son el de servicios y el dotacional, pues en el polígono se encuentran lotes donde se localizan un IEM, un jardín social y un punto de transmisión radial.

El 9% del área del total de los lotes tiene destinación habitacional, pues se han construido viviendas de carácter informal en los predios de menor tamaño.

Así los porcentajes de área de los usos del suelo en la zona de expansión Aranda son los siguientes:

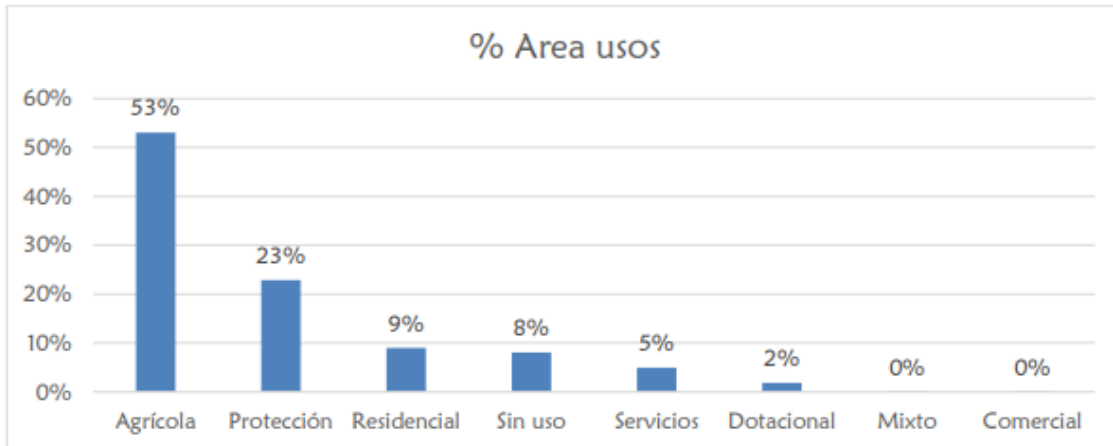


Figura 3. Porcentaje de área usos de suelo actuales en la zona de expansión Aranda.



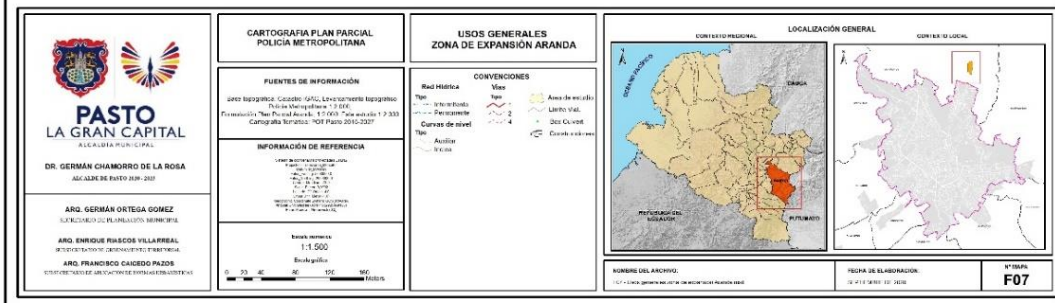
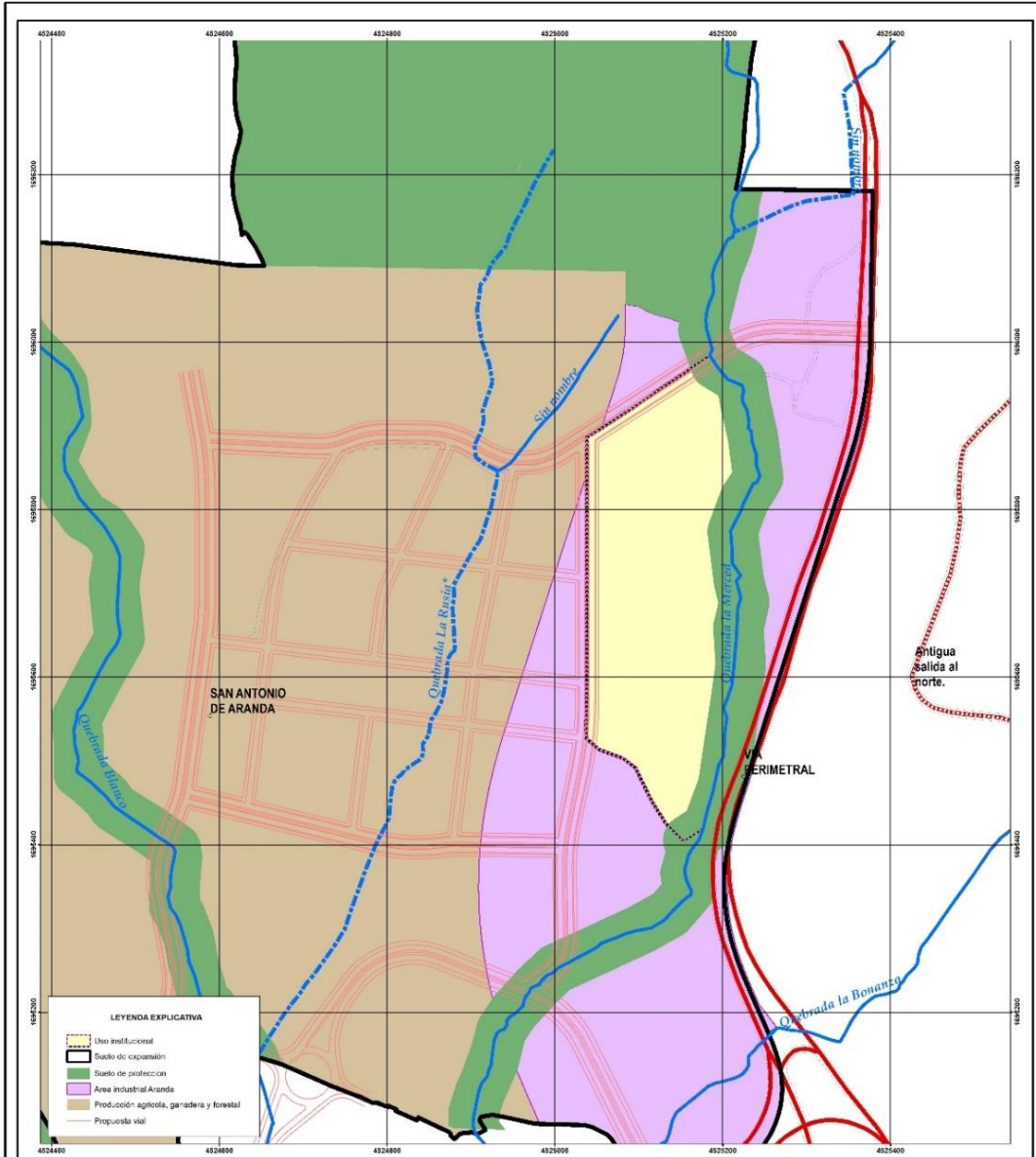


Figura 4. Usos generales de la zona de expansión de Aranda.



## Usos Propyectados para el Plan Parcial Policía Metropolitana

El Acuerdo No. 004 de 2020 “Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pasto 2015 – 2027 Pasto Territorio Con – Sentido” establece en su artículo 298 sobre la asignación de usos de suelo en suelo urbano:

*“En el suelo urbano, la asignación de usos se fundamenta en el principio de “Mezcla de Usos”, como elemento de la ciudad compacta y compleja que busca relaciones de proximidad entre los usos residenciales y funcionales.”*

Esto es, la mezcla de usos en suelo urbano propicia una proximidad entre los usos residenciales y aquellos que complementan el uso residencial.

Es así como en los planes parciales, en tanto instrumentos de planificación complementaria del Plan de Ordenamiento Territorial se deberá desarrollar el modelo adoptado para el suelo urbano.

Específicamente en relación con el área de expansión Aranda, el Plan de Ordenamiento Territorial estableció en el artículo 351:

***“Artículo 351. Lineamientos generales para la formulación de los planes parciales de expansión.***

Los procesos de formulación y adopción de Planes Parciales para las zonas identificadas de expansión, deberán incluir además de las determinantes establecidas en la normatividad nacional, el desarrollo de los siguientes lineamientos:

***1. Plan Parcial de Expansión Aranda: Incorporación de Vivienda, Espacio Público y Suelo Industrial.***



**Objetivo:** *Integrar al desarrollo urbano suelo para vivienda, espacio público y usos industriales en un área conectada con la ciudad y la vía Paso Nacional por Pasto.*

*El área de expansión identificada puede ser desarrollada mediante uno o varios planes parciales, dando cumplimiento a los lineamientos generales del presente Acuerdo.*

### **Lineamientos Básicos.**

- **Espacio Público.** *Generación del parque urbano de borde definido en el sistema de espacio público y espacializado en el plano No. EFS17.*

*Generación de los parques locales de conformidad con las cargas urbanísticas previstas en el presente acuerdo.*

- **Movilidad.** *Proyección de la infraestructura vial de conformidad con lo establecido en el plano No. EFS14 y en concordancia con el modelo de ordenamiento de la malla vial adoptada por el presente Plan, la cual se fundamenta en el esquema de supermanzana.*

- **Tipos edificatorios:** *Proyección de diferentes tipos edificatorios.*

- **Edificabilidad:** *Definición de las áreas objeto de reparto y de las cargas adicionales para el alcance de las expectativas del plan. La edificabilidad adoptada por el Plan deberá desarrollarse en cumplimiento de lo establecido en el capítulo.*

- **Infraestructura:** *La formulación del Plan Parcial deberá incluir el análisis de los sistemas de recolección y transporte existentes y el diseño adecuado de los sistemas proyectados para la inclusión de elementos que permitan el*



*manejo sostenible de las aguas servidas y garanticen la no contaminación del río Pasto, por medio de la evaluación.*

*El uso residencial se ajustará a las previsiones del proyecto Piedras Fase II, para la zona de expansión Aranda.”*

Esto es, el objetivo general de la incorporación de la zona de expansión Aranda es integrar al desarrollo urbano suelo para vivienda, espacio público y usos industriales y en ese contexto, la asignación de usos de suelo en el Plan Parcial Policía Metropolitana se enfoca en el uso institucional, el cual es compatible plenamente con la vivienda, el espacio público y el uso industrial.

Según el artículo 299 del Plan de Ordenamiento Territorial corresponde a la siguiente definición:

***d. Uso institucional.*** *Es la destinación del suelo para el desarrollo de las actividades institucionales y de prestación de servicios públicos y sociales, de naturaleza pública y/o privada.”*

En suma, el uso a asignar en el Plan Parcial Policía Metropolitana es el uso Institucional, entendido como las actividades institucionales y de prestación de servicios públicos y sociales, de naturaleza pública y/o privada, el cual encuentra plena compatibilidad con los usos de vivienda, espacio público e industrial a desarrollarse en el Área restante del Plan Parcial Aranda.



## 2. ASPECTOS URBANISTICOS

El proyecto del plan parcial Policía metropolitana es una oportunidad para la ciudad de ser detonante y a la vez hacer parte de un desarrollo urbanístico planificado de nueva ciudad en el suelo de expansión de Pasto.

### 2.1. Iniciativa del Plan parcial y pertinencia.

El plan parcial Policía metropolitana es una iniciativa institucional pública, liderada por el gobierno nacional y municipal como actores del desarrollo urbanístico y regional de la ciudad de Pasto. La propuesta parte de la necesidad de generar suelo para apto para la localización del equipamiento Sede del comando de la Policía Metropolitana de Pasto, que ofrezca las condiciones de accesibilidad, seguridad y localización de su área de cobertura.

El Municipio de Pasto acomete la formulación y diseño urbano del plan Parcial como un aporte al desarrollo y el respaldo a la institucionalidad que necesita de un nuevo equipamiento urbano ante el crecimiento de la ciudad.

El proyecto debe consolidarse sobre un predio conectado a vía regional de primer orden, es decir una vía nacional como lo es la variante Paso nacional por Pasto y a la malla arterial urbana de Aranda que es uno de los objetivos en desarrollo, del Plan de ordenamiento territorial.

Debe permitir el desplazamiento motorizado hacia los puntos cardinales del municipio y el suelo urbano

Por otra parte, debe ofrecer áreas importantes para las diferentes dependencias y áreas de servicio, propias de la institución.

Una vez gestionado y adquirido el predio por la institución con el apoyo de la alcaldía de Pasto, el municipio realiza el proceso de formulación del Plan con el objeto de



potenciar la localización del equipamiento y a la vez proponer una articulación del predio con el área de expansión de la ciudad, bajo la óptica de ciudad planificada.

#### 2.1.1. Predios involucrados.

El Plan parcial metropolitana se desarrolla en un solo predio de 84.943 metros cuadrados y de propiedad de la Policía Metropolitana el cual cuenta con matrícula inmobiliaria 240-258370.

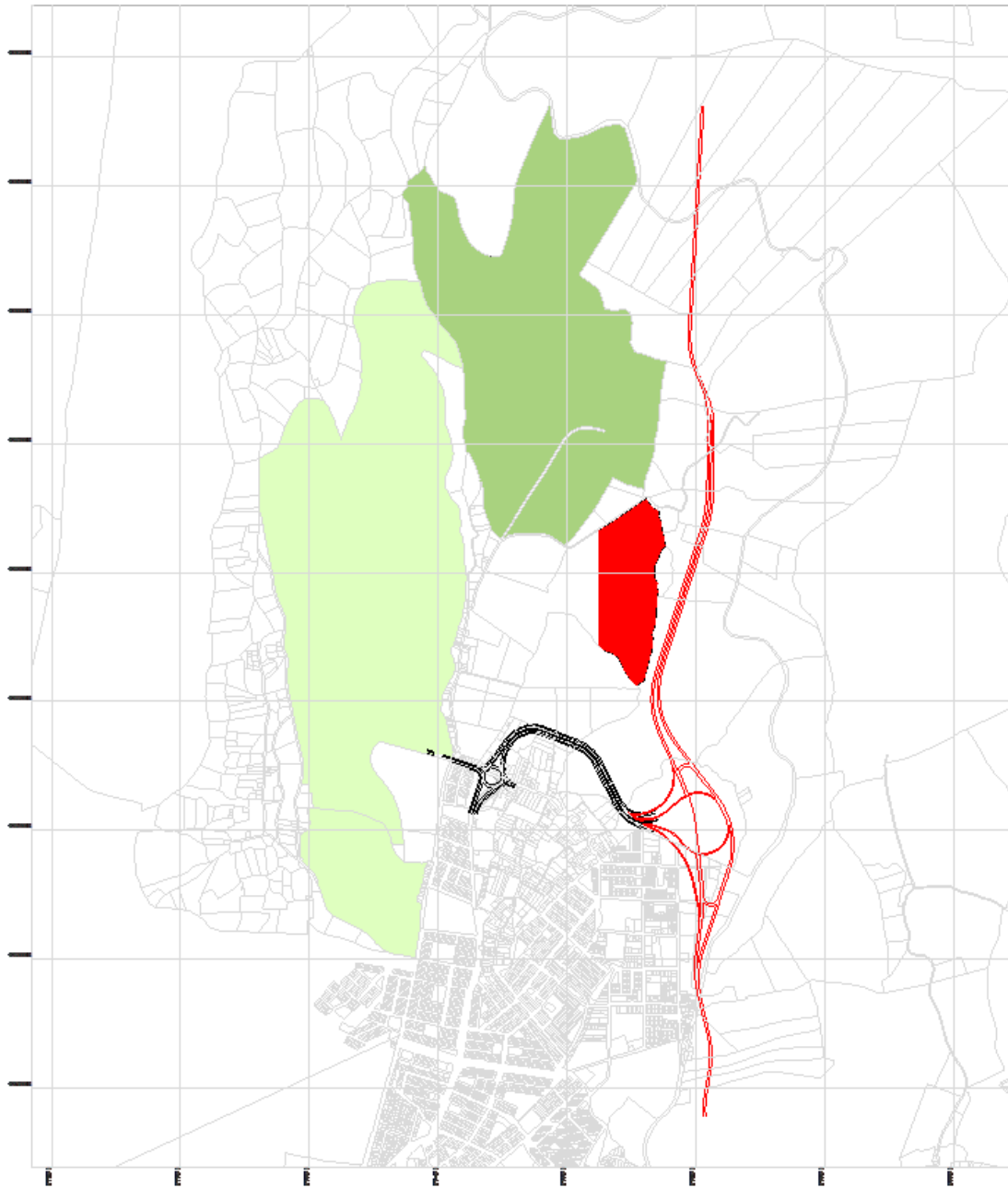


Figura 5. Ubicación predio Plan Parcial Policía metropolitana



## 2.2. Memoria justificativa del Plan Parcial, condiciones de partida y criterios de diseño.

De acuerdo a las nociones normativas expresadas en el aparte Generalidades y que fundamentan la formulación del plan parcial policía metropolitana teniendo presente que la ciudad de Pasto ha tenido un crecimiento importante en los últimos años y ha programado su expansión requiere de la localización de un equipamiento de escala regional en el área de seguridad, lo cual tiene toda coherencia con el nivel de crecimiento de la población y el tamaño de la ciudad.

### 2.2.1. Diagnóstico urbanístico

El área de expansión de Aranda prevista desde el Plan de Ordenamiento territorial del año 2000 contaba con limitaciones de la cobertura de servicios públicos. Más adelante con la culminación de la variante Paso nacional por Pasto y la puesta en funcionamiento del proyecto Las Piedras, -nuevo acueducto para la ciudad de Pasto-, se garantiza la cobertura del servicio de agua potable por parte del operador EMPOPASTO S.A.E.S.P. E.S.P. hasta la cota topográfica 2700 m.s.n.m.

Estas condiciones permiten que el suelo de expansión de Aranda cuente con todos los requisitos para su desarrollo urbanístico, sin embargo, para el correcto desarrollo de la planificación urbana hacen falta estudios de riesgo al tenor de la ley 1537 de 2012. Es así como en 2015 se firma el convenio con el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio para desarrollar los estudios del plan Parcial Aranda, que incluye lo relacionado con amenazas y riesgos a nivel básico.

El área del Plan parcial Policía Metropolitana inmerso en el contexto del plan Aranda ante la necesidad imperante de ubicación del equipamiento, se inserta en un área de planificación más amplia.





El diagnóstico arroja que la conectividad del predio se limita actualmente a un carreteable, que da línea para plantear un sistema vial de malla arterial que se conecte a la vía propuesta por el municipio para conectar el intercambiador Aranda. – sobre la Variante paso nacional por Pasto-, con el área urbana a través de la Avenida Aranda y la calle 40.

#### 2.2.1.1. Afectaciones

El predio del Plan Parcial Policía Metropolitana tiene una afectación por Ronda Hídrica, esto debido a que en el costado oriental del lugar pasa la quebrada La Merced este genera una zona de protección de 60 metros, 30 de cada lado del río, esta afectación tiene un área de 18.360 m<sup>2</sup>, equivalente al 21,61% del área bruta del lote, dejando un total de 66.583 m<sup>2</sup> de área neta urbanizable del lote equivalente al 78,29% del área bruta del lugar.

Tabla 3. Afectaciones en el Plan Parcial Policía Metropolitana.

Área bruta m <sup>2</sup>	AFECTACIONES	Área Neta m <sup>2</sup>
	RONDA HÍDRICA m <sup>2</sup>	
84.943	18.360	66.583

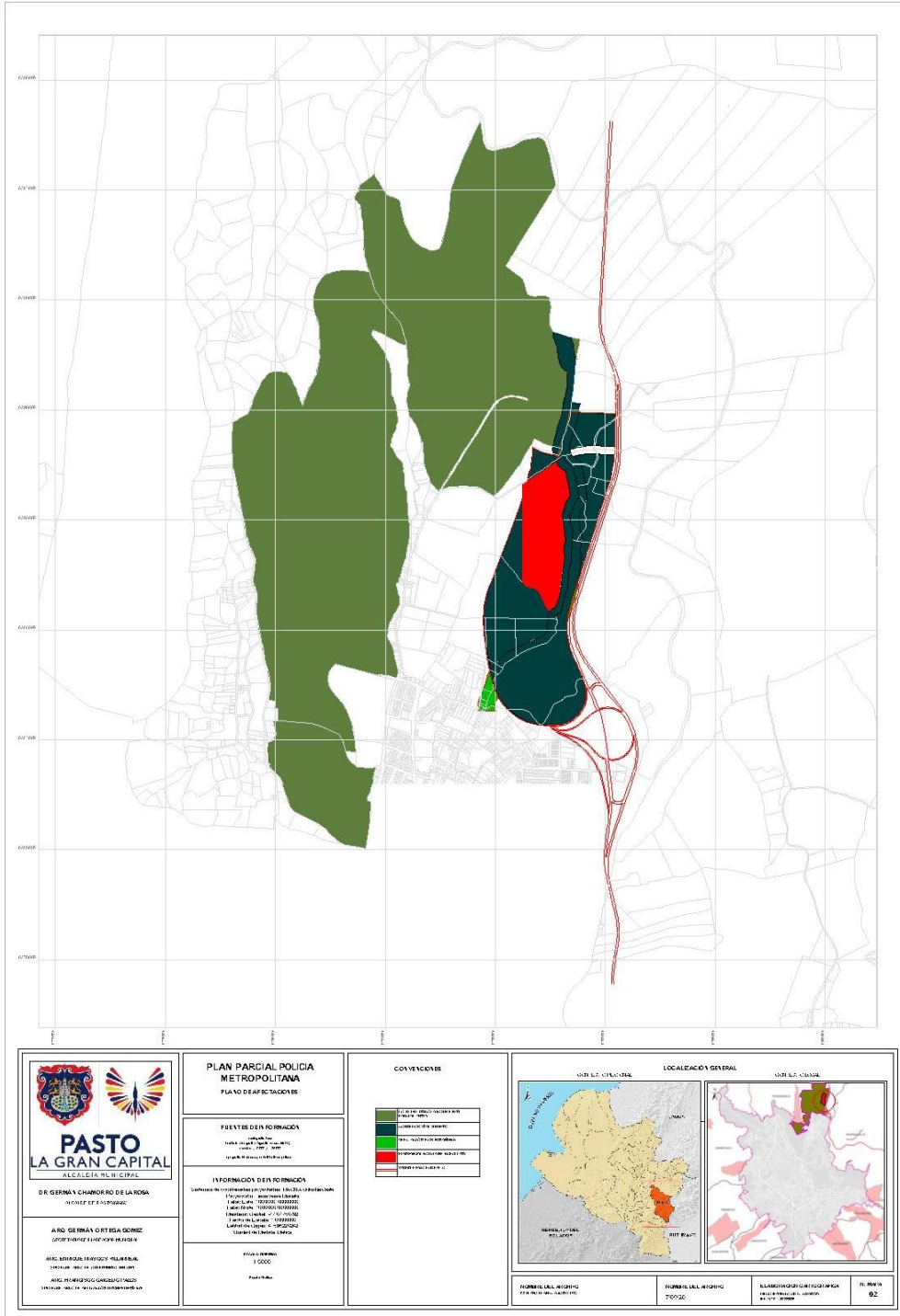


Figura 6. Afectaciones en el área del plan parcial



### 2.2.1.2. Forma y Topografía

El lugar donde se emplaza el Plan Parcial Policía Metropolitana, está situado al nor oriente de la Ciudad de Pasto sobre las faldas de los cerros orientales del Valle de Atriz con una altitud de 2700 metros sobre el nivel del mar.

La topografía es levemente inclinada, tiene una pendiente promedio de 10% en el sentido longitudinal, por lo tanto, es apropiado para las características de uso institucional destinado a de la policía metropolitana.

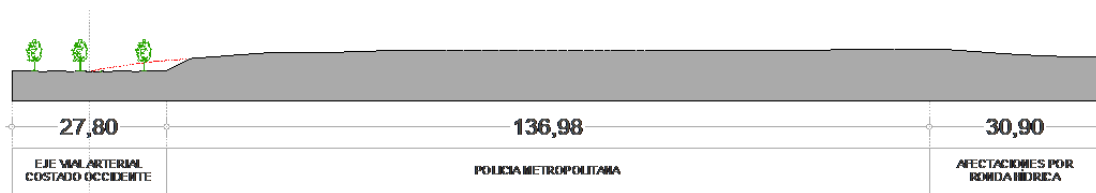


Figura 7. Corte transversal del Plan Parcial

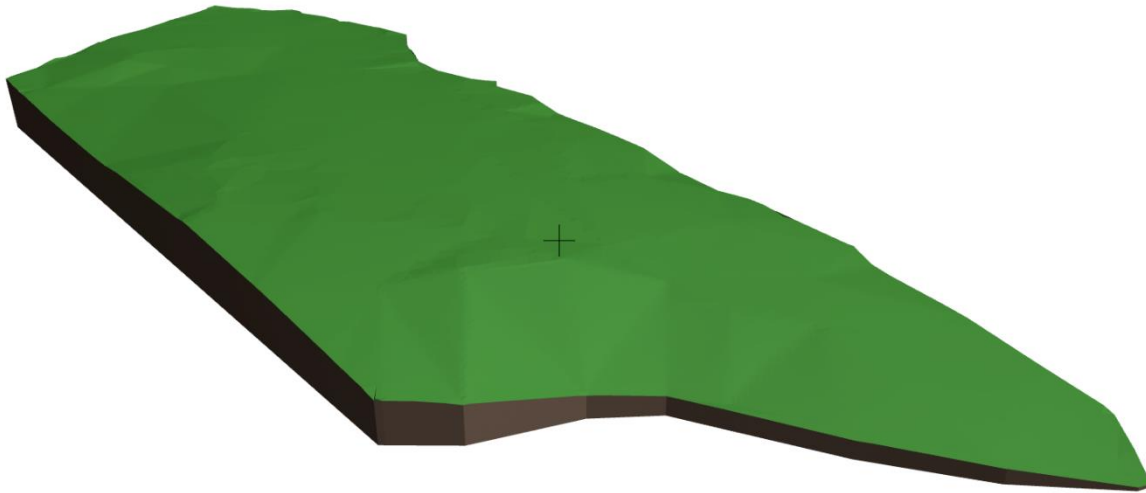


Figura 8. Topografía Plan Parcial Policía Metropolitana.

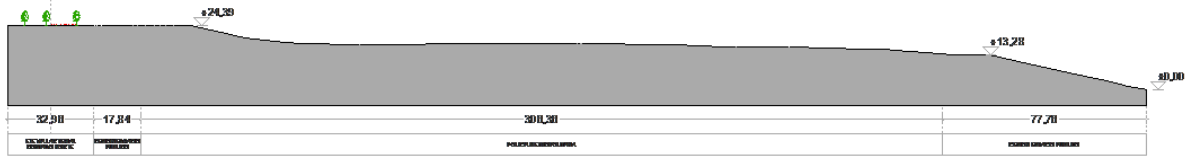


Figura 9. Corte transversal del Plan Parcial

### 2.2.1.3. Conectividad

La conectividad Actual depende únicamente de un acceso por carretera que es la continuación de la Avenida Aranda y que comunica a los barrios existentes de la zona de Aranda con San Antonio de Aranda y luego remata en la vía Paso por Pasto.

No existe ninguna otra conexión en este momento, pero la Alcaldía de Pasto tiene proyectado una vía que tiene como origen la intersección de la Calle 40 con la Carrera 29 a manera de glorieta y que tiene como fin crear un acceso de todo el sector consolidado y por consolidarse hacía la vía paso por Pasto en un intercambiador vial que está en este momento ya construido, de esta forma la conectividad oriente occidente de la ciudad con proyectos como la ampliación de la Carrera 27 en el centro de la ciudad tendrán más lógica vinculando la ciudad a la Variante.

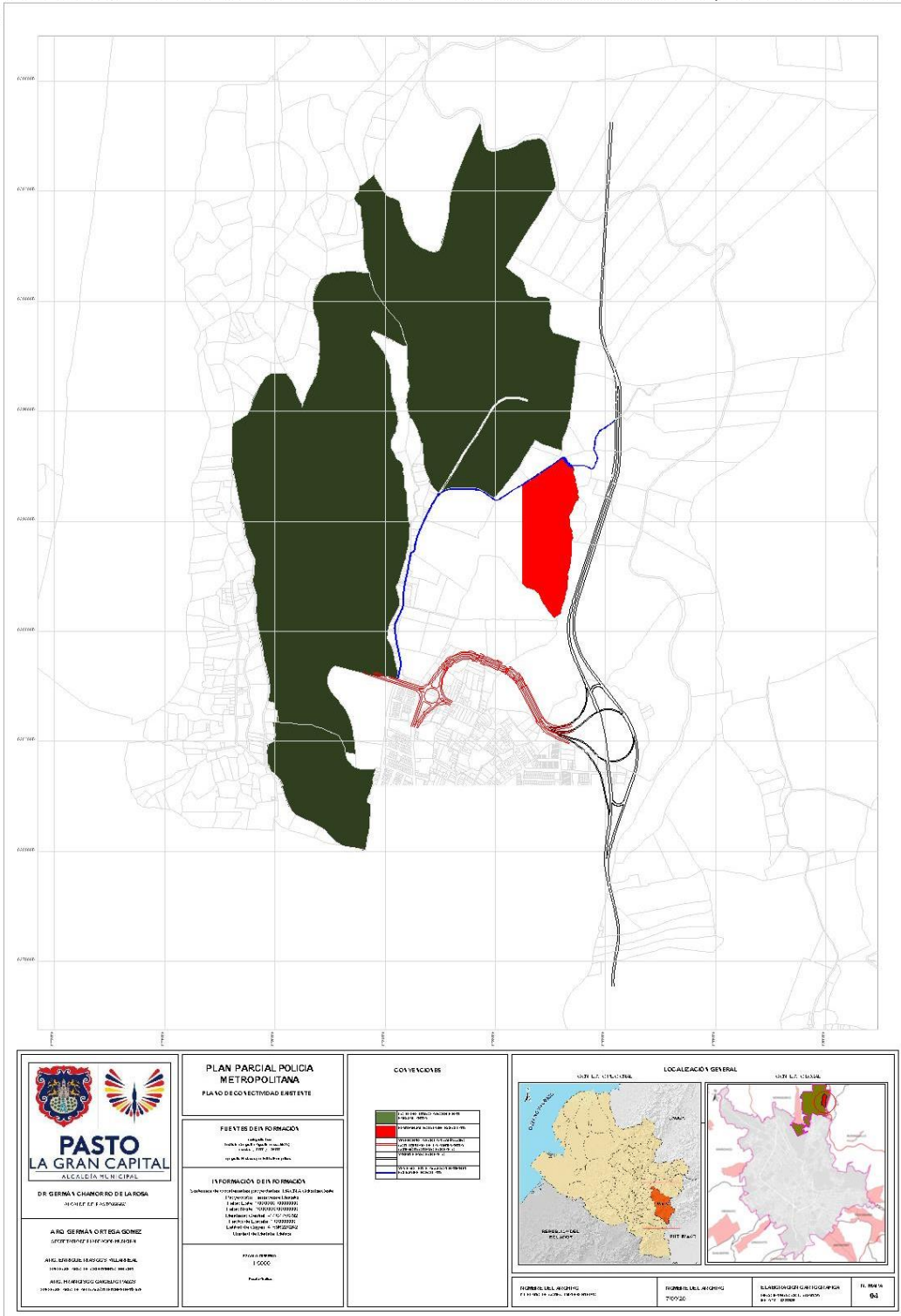


Figura 10. Conectividad actual del lote del plan parcial



Es necesario, por lo tanto, hacer uso de ese proyecto vial para generar las conectividades de todo los Planes parciales del sector, de tal manera que el acceso a la vía paso por Pasto se haga de una forma adecuada y segura. Mientras no se desarrolle la construcción de dicho proyecto vial el Plan Parcial Policía metropolitana seguirá teniendo el único acceso desde la vía existente, esto es una determinante clara para el diseño y para que todas las partes en que se divida el Plan Parcial tengan acceso directo sin importar la construcción de los proyectos planteados por la administración. Las vías de conexión del plan parcial se encuentran identificadas en el Plano F 04 denominado "RED VIAL Y PERFILES VIALES.

#### 2.2.2. Objetivos y criterios que orientaron las determinaciones de planificación adoptadas por el plan.

Los objetivos generales que se adoptaron a manera de determinantes de planificación fueron los siguientes:

##### 2.2.2.1. Criterio 1

El plan parcial Policía metropolitana debe estar inserto en el planeamiento general del suelo de expansión de la ciudad en todos sus aspectos dentro de la política de sostenibilidad ambiental y la política de acceso a los servicios, propuestas en el Plan de ordenamiento territorial,<sup>5</sup> no puede ser independiente del desarrollo general del Plan parcial Aranda visto como un todo.

---

<sup>5</sup> Acuerdo 04 de 2015 artículo 15 y artículo 19



#### 2.2.2.1. Criterio 2

Teniendo que todo el sector debe desarrollarse bajo la figura de planes parciales, es necesario que el planteamiento urbano nazca de una lógica general de ordenamiento territorial que incluya la conectividad con todos los predios involucrados en el sector.

#### 2.2.2.2. Criterio 3.

El desarrollo del plan parcial debe concatenar las cesiones de Espacio público de los otros proyectos para no generar elementos aislados sino que por el contrario se sumen en un globo y puedan ser usados de mejor forma en el desarrollo urbano general.

#### 2.2.2.3. Criterio 4

Teniendo en cuenta que el lugar donde se emplaza el plan parcial Policía Metropolitana solo cuenta con un acceso vehicular por la parte norte y que otros accesos o conexiones dependen de proyectos viales a corto o mediano plazo, es necesario asegurar el acceso por el costado norte al proyecto y a cesión de equipamiento.

### 2.3. Planteamiento Urbanístico-definición y propuesta de los sistemas estructurantes de espacio público, vías y equipamientos

Planteamiento Urbanístico-definición y propuesta de los sistemas de espacio público.

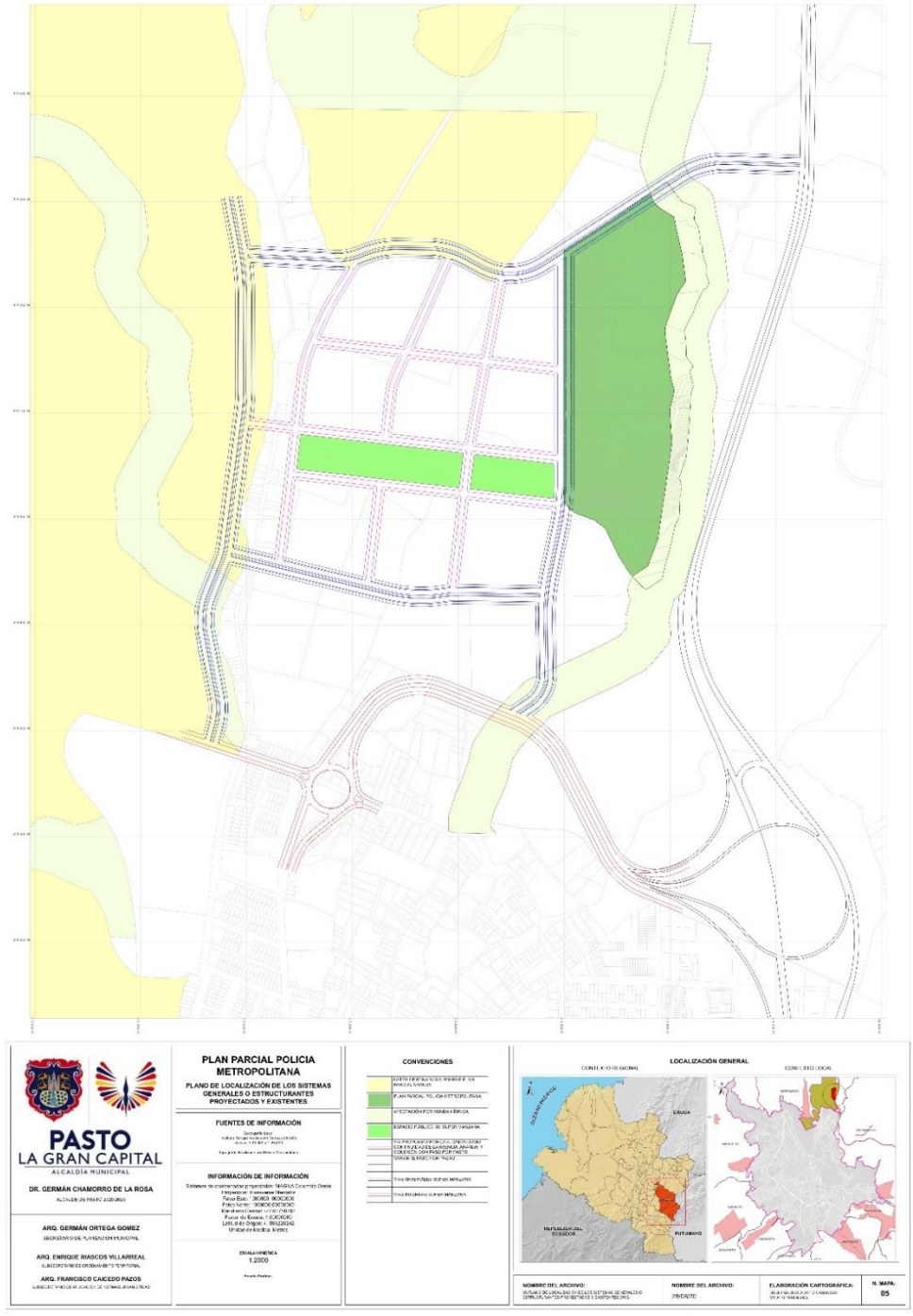


Figura 11. Sistemas estructurantes en el área del Plan Parcial Policía Metropolitana.





El proyecto del plan parcial Policía Metropolitana se define teniendo en cuenta el desarrollo general de una propuesta integral sobre todo el sector de Aranda, las determinantes de diseño apuntan a que no se puede identificar el predio como un elemento aislado y que debe ser consecuente con toda la zona de desarrollo de Aranda. En virtud de lo anterior, las cargas urbanísticas aplicables a la urbanización de Plan Parcial Metropolitana hacen parte de lo que representa la urbanización del suelo de expansión y a su vez el plan parcial metropolitana se beneficiará de las cargas y beneficios del desarrollo de dicho suelo. En ese orden de ideas es importante diferenciar las cargas locales de la urbanización y las cargas generales presentes en su desarrollo y en el de todo el suelo de expansión.

### 2.3.1. Cargas y beneficios

El reparto equitativo de cargas y beneficios es uno de los objetivos de la actuación urbanística para lograr financiar el desarrollo de un predio sin infraestructura urbana procede la aplicación de las cargas propias de la urbanización para obtener como producto suelo urbanizado que registra un mayor valor en el mercado inmobiliario.

El valor de los inmuebles urbanos este compuesto por diferentes valores generados por las actuaciones para finalmente por sustracción de los mismos obtener un valor residual correspondiente a suelo urbano, es decir suelo con un valor agregado, con una plusvalía que se ha generado por haber sido objeto de tales actuaciones.

Este es el supuesto que sirve de base para el avalúo un inmueble mediante el método llamado residual, este mecanismo permite revisar los costos de la urbanización frente a los beneficios que se obtienen como suelo urbanizado donde es posible efectuar la actuación de edificación con todos los servicios urbanos disponibles.



### 2.3.1.1. Cargas locales de la urbanización

Las cargas de la urbanización están definidas en el decreto 1077 de 2015 de la siguiente forma:

*“Artículo 2.2.4.1.5.1 Cargas locales de la urbanización. Las cargas locales de la urbanización que serán objeto de reparto entre los propietarios de inmuebles de las unidades de actuación urbanística del plan parcial, incluye entre otros componentes las cesiones y la realización de obras públicas correspondientes a redes secundarias y de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, energía y teléfonos, así como las cesiones para parques y zonas verdes, vías vehiculares y peatonales y para la dotación de los equipamientos comunitarios.(...) subrayas fuera del texto original.*

De acuerdo a lo anterior para optar la licencia de construcción en el plan parcial debe haberse surtido la etapa de urbanización donde deben haberse financiado las obras necesarias para que ella determine predios urbanizados, listos para la actuación de edificación, dichas cargas se definen en el plan parcial.

### 2.3.1.2. Cargas Generales

Las cargas correspondientes a la estructura de la ciudad se denominan cargas generales y se han definido en el decreto 1077 de 2015 de la siguiente forma:

*“Artículo 2.2.4.1.5.2 Las cargas correspondientes al costo de la infraestructura vial principal y redes matrices de servicios públicos se distribuirán entre los propietarios de toda el área beneficiaria de las mismas y deberán ser recuperados mediante tarifas, contribución de valorización, participación en plusvalía, impuesto predial, o cualquier otro sistema que garantice el reparto equitativo de las cargas y beneficios de las actuaciones y que cumpla con lo dispuesto en el artículo 338 de la*



*Constitución Política. En todo caso, serán a cargo de sus propietarios las cesiones gratuitas y los gastos de urbanización previstos en el artículo anterior.*

*Cuando se trate de la adecuación y habilitación urbanística de predios a cargo de sus propietarios en áreas de desarrollo concertado en suelo de expansión urbana, la distribución de las cargas generales sobre los que se apoye cada plan parcial, se podrá realizar mediante la asignación de edificabilidad adicional en proporción a la participación de los propietarios en dichas cargas. Para ello, los planes de ordenamiento territorial podrán determinar la asignación de aprovechamientos urbanísticos adicionales, que definan para cada uso la superficie máxima construible por encima del aprovechamiento urbanístico básico que se establezca para el suelo de expansión. Los índices de edificabilidad básica y adicional y su equivalencia con las cargas generales serán establecidos por los municipios y distritos en el componente urbano del plan de ordenamiento territorial.*

*Parágrafo. La construcción de las redes matrices de servicios públicos domiciliarios se regirá por lo dispuesto en la Ley 142 de 1994 y su reglamento o las normas que los adicionen, modifiquen o sustituyan.”*

Y en cuanto a los beneficios que en el plan parcial se pueden obtener si se participa de la ejecución de las cargas generales, El artículo 2.2.1.1 del Decreto 1077 de 2015, establece: *“Aprovechamiento urbanístico adicional. Es la superficie máxima construible por encima del aprovechamiento básico, según los usos establecidos, a que tienen derecho los propietarios cuando participen en las cargas generales.”*



Las cargas generales del plan parcial Policía Metropolitana se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4 cantidades de obra de las cargas generales

OBRAS PLAN PARCIAL	LONGITUD	ANCHO	AREA
	M	M	M2
CALZADA + REDES DE SERVICIOS PÚBLICOS	145,5	13	1.891,50
CICLO RUTA	145,5	2,4	2.515,20
ANDEN ORIENTAL DE LA VIA ARTERIA	145,5	3,4	3.563,20
CONEXIÓN RED MATRIZ ACUEDUCTO	145,5		
CONEXIÓN RED MATRIZALCANTARILLADO	442		

Las cargas generales correspondientes a la construcción de la conexión a la red de alcantarillado serán asumidas por el municipio de Pasto, para el desarrollo de la conexión del plan parcial a la malla urbana de la ciudad, la cual corresponde a la malla vial arterial del área de expansión y la conexión a las redes matrices de acueducto

#### 2.3.1.1. Definición de cargas y cesiones urbanísticas.

A continuación se definen las cargas locales de la urbanización en el plan parcial Policía Metropolitana, teniendo en cuenta los criterios 1 a 4 que responden a las determinantes de accesibilidad al predio que será objeto de urbanización para la edificación del comando de la Policía Metropolitana de Pasto y el equipamiento del municipio que se localice en la cesión de suelo para equipamiento y posteriormente se analiza la participación del proyecto en las cargas generales del suelo de expansión urbana de Aranda

#### 2.3.1.2. Movilidad y Cesión de vías

Para establecer los accesos y la movilidad del Plan Parcial, fue necesario hacer un desarrollo de la movilidad de los predios que se establecen entre el plan parcial Aranda y el lote de desarrollo del Plan Parcial policía Metropolitana, este lugar como



todo el sector también debe desarrollarse bajo la figura de plan parcial, por lo tanto se buscó la forma de conexión vial con una estructura de súper manzana que haga un marco de vías de la red arterial que limiten y conecten los planes parciales a desarrollar y que involucren todos los predios servidos para que en un futuro desarrollo sea todo integrado en un mismo objetivo de ordenamiento. Dicha malla vial arterial se constituye en cargas generales del área de planificación.

Dadas las características del plan parcial Policía metropolitana la cesión de vías se superpone en un tramo con la malla vial arterial resultando el suelo de cesión en área útil para el paso de la vía de la red arterial.

La cesión destinada a vías tiene un área de 7.044 m<sup>2</sup> y corresponde al 10,58 % del área neta del Plan Parcial.

En este orden de ideas y de acuerdo a lo expresado por el *Artículo 2.2.4.1.5.1* del decreto 1077 de 2015 una parte de la vía conlleva la realización de una obra pública de vía de urbanización más por tratarse de la superposición del suelo con la vía de la red arterial, el plan parcial puede optar por tomar cargas generales de construcción de otra parte de dicha vía arterial, que permita incrementar su edificabilidad. En el aparte de estrategia de gestión e instrumentos de financiación del plan parcial se verá otras herramientas de gestión como las cesiones anticipadas en otros predios que permitan la implementación de la malla vial arterial.

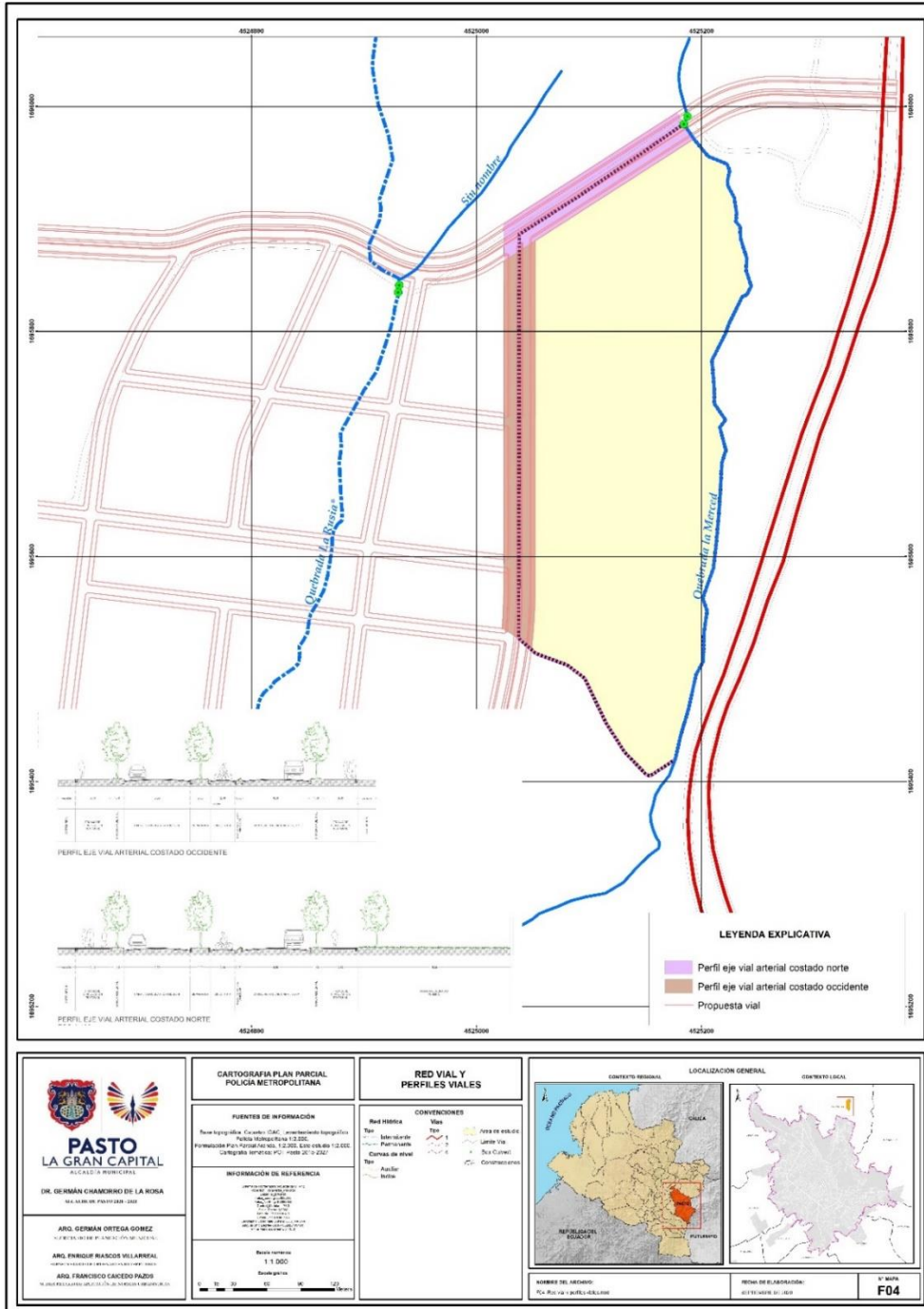


Figura 12 plano F04 Movilidad y cesión de vías en el Plan Parcial Policía Metropolitana



### 2.3.1.3. Perfiles viales

Los perfiles previstos para la red vial arterial son los siguientes:

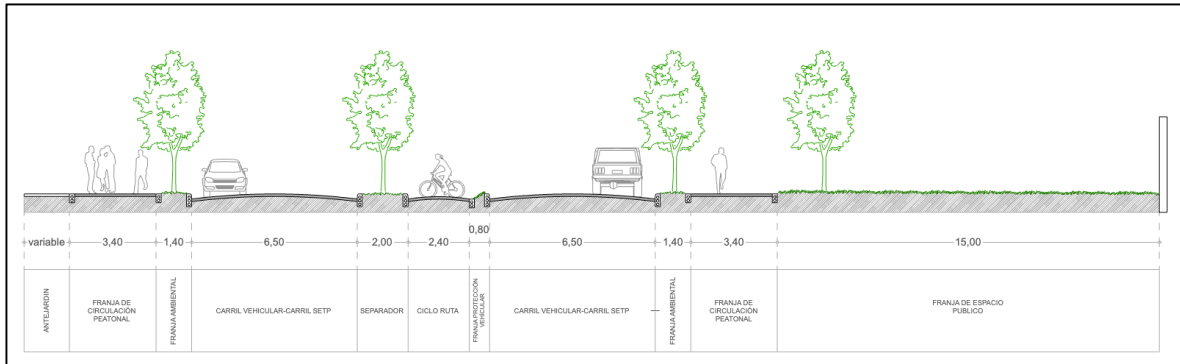


Figura 13. Perfil eje Vial Arterial costado norte

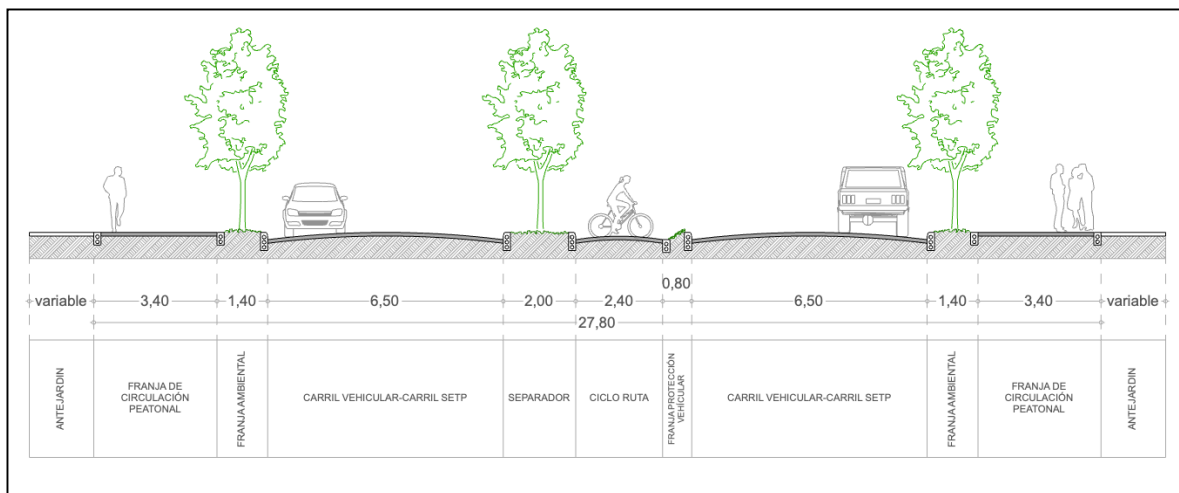


Figura 14. Perfil eje Vial Arterial costado occidental

Al interior de la malla vial arterial, el desarrollo de las vías secundarias estará sujeto a actuaciones de urbanización que pueden ser viables mediante unidades de actuación urbanística<sup>6</sup>, el área periférica a la malla vial arterial corresponde a

<sup>6</sup> UNIDAD DE ACTUACIÓN URBANÍSTICA: ARTICULO 2241611 Unidad de actuación urbanística. Es el área conformada por uno o varios inmuebles explícitamente delimitada en las normas que desarrolla el plan de



desarrollos que se detallarán en otros planes parciales, en el alcance del presente Plan Parcial está el desarrollo ordenado e interconectado del predio Policía Metropolitana, y el perfil vial adyacente al predio y que le brinda acceso, cuyo suelo se obtiene mediante cesión obligatoria al municipio de Pasto.

#### 2.3.1.1. Cesión de Equipamientos

La Cesión de equipamientos se emplazó en la parte norte del Plan Parcial, obedece básicamente a los accesos actuales, por lo tanto, una ubicación diferente dejaría sin conexión al área de equipamientos por lo menos mientras se realicen los proyectos viales que brinden esa posibilidad en un futuro.

El área destinada para Cesión de equipamientos en el plan parcial es de 5.557 m<sup>2</sup> la cual corresponde al 8.35% del área neta.

#### 2.3.1.2. Cesión de Espacio Público

El área destinada para Cesión de Espacio público del plan parcial se definió teniendo en cuenta la posibilidad de vincularla y sumarla a las demás áreas de espacio público de los otros planes parciales, por lo tanto, se establece la zona sur del plan parcial como espacio público.

El área destinada para Cesión de Espacio público en el plan parcial es de 14,032 m<sup>2</sup> la cual corresponde al 21.07% del área neta.

#### 2.3.1.3. Cesiones en suelo y costo de las obras obligatorias de urbanización del Plan Parcial Policía Metropolitana

---

ordenamiento territorial que debe ser urbanizada o construida como una unidad de planeamiento con el objeto de promover el uso racional del suelo, garantizar el cumplimiento de las normas urbanísticas y facilitar la dotación con cargo a sus propietarios de la infraestructura de transporte. los servicios públicos domiciliarios y equipamientos (...)





El resumen del proceso de urbanización es el siguiente:

Tabla 5. Áreas de Cesiones y costo de las obras obligatorias de urbanización del Plan Parcial Policía Metropolitana.

**CESIONES OBLIGATORIAS**

Area Neta	CESIONES M2				AREAS UTILES M2	
	Cesion total	Vías	Espacio publico	Equipamiento	Policia Metropolitana	Equipamiento
<b>66.583</b>	26.633	7.044	14.032	5.557	<b>39.950</b>	<b>5.557</b>
	40,00%	10,58%	21,07%	8,35%		

**OBRAS DE LAS CESIONES OBLIGATORIAS**

OBRAS OBLIGATORIAS EN LAS CESIONES DEL PLAN PARCIAL	AREA	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR OBRAS OBLIGATORIAS DE CESION
				COP \$
ANDEN ORIENTAL DE LA VIA ARTERIAL	890,00	MT2	120.000,00	106.800.000
areas DURAS PARQUE	1.780,65	MT2	370.000,00	658.840.500
Areas VERDES PARQUE	10.090,35	MT2	48.000,00	484.336.800
EP NORTE	2.160,00	MT2	100.000,00	216.000.000,00
Valor total				\$ 1.465.977.300

Aun su carácter de obras obligatorias para el proceso de urbanización, el valor de las obras de urbanización aquí presentadas, no garantiza la urbanización completa del predio entendida esta como la conexión de vías pavimentadas del predio hasta la vía Paso por Pasto y hasta la Avenida Aranda que son los puntos de contacto del proyecto con la conectividad urbana y regional. Por lo anterior se plantea más adelante el mecanismo de participación en cargas generales que permita el desarrollo de este alcance.



#### 2.3.1.4. Beneficios

Los beneficios de la actuación urbanística se traducen en el potencial de edificación que tiene el plan parcial.

El objetivo del Plan Parcial Policía Metropolitana es ubicar el equipamiento del Comando de la Policía Metropolitana de Pasto y un área para equipamiento urbano, el área a construir del proyecto del Comando de la policía es la siguiente:

Tabla 6 Síntesis del programa arquitectónico

	Área total	Fase 1	Fase 2
TOTAL AREA CONSTRUIDA CUBIERTA	14.269,1 m2	10971,59	3297,51

TOTAL AREA CONSTRUIDA DESCUBIERTA (ZONAS DURAS) 6.148 m2

TOTAL, AREA CONSTRUIDA CUBIERTA Y DESCUBIERTA 20.417,1m2

De acuerdo a lo anterior, el proyecto objeto de Plan Parcial es un equipamiento correspondiente al uso institucional y de alojamiento, en el predio que se ubica en el suelo de expansión de Aranda, su índice de construcción sería 0,36 de un área UTIL de 39.950 m2. Se debe considerar la proyección de estos datos en el tiempo, teniendo en cuenta un incremento del área construida hasta un índice de construcción de 1.0, es decir con aprovechamiento 0.64 de índice adicional que el plan otorga si el desarrollador participa de la construcción de las cargas generales, para beneficio del proyecto y mediante este mecanismo, obtener el mayor uso del predio.

Así las cosas, la propuesta normativa es la siguiente:



Tabla 7 Cuantificación de la edificabilidad del plan parcial Policía metropolitana

Aprovechamiento Proyectado en un piso			
PREDIO	AREA UTIL	INDICE DE OCUPACIÓN 0,4	INDICE DE CONSTRUCCION 0,4
<b>Policia</b>	39.950	15.980	15.980
<b>Metropolitana</b>			
<b>Equipamiento</b>	5.557	2.222,80	2.222,80
<b>Areas totales</b>		18.202,80	18.202,80

Sin perjuicio de lo anterior, de acuerdo a los tipos edificatorios previstos en el Plan de Ordenamiento Territorial, se permite una mayor altura con una menor ocupación en primer piso, esto es, conservando la edificabilidad dentro del parámetro del índice de construcción permitido.

2.3.1.5. Cuantificación financiera de las cargas locales más la participación en cargas generales necesarias para el desarrollo del plan parcial y los beneficios surgidos de la adopción del Mismo.

De acuerdo a lo previsto en el artículo 2.2.1.1. y el artículo 2.2.4.1.5.2 del decreto 1077 de 2015, citados anteriormente, el Plan parcial Policía metropolitana para obtener el beneficio de la urbanización que requiere un equipamiento de esta escala en términos de accesibilidad, seguridad y logística entra a participar de las cargas generales del suelo de expansión urbana de acuerdo a los mostrado en la siguiente tabla, -donde las obras de urbanismo completas incluyen las obligatorias del proceso de urbanización mostradas en el numeral 2.3.1.3, más las correspondientes a una participación en las calzadas de la vía de red arterial hasta su conexión completa con la Vía Nacional Paso por Pasto y la vía a financiar por parte del Municipio con proyecto presentado al Sistema Nacional de Regalías, que conectaría con la Avenida Aranda en la calle 40, área urbana de la ciudad.



Tabla 8 Costos de obras en las que el plan parcial puede optar por participación contra mayores beneficios, para completar el proceso de urbanización del plan parcial Policía Metropolitana.

OBRAS CARGAS GENERALES ARANDA	CARGA GENERAL	Recursos adicionales a Gestionar a cargo de la Policía Metropolitana	%
<b>CALZADA VIA ARTERIAL</b>	14.168.960.000,00	3.520.259.513	<b>24,84</b>
<b>CICLO RUTA</b>	1.634.880.000,00	406.183.789,98	<b>24,84</b>
<b>ANDEN OCCIDENTAL</b>	427.584.000,00	106.232.683,53	24.84
<b>SEPARADOR</b>	209.600.000,00	52.074.844,87	25%
<b>FRANJA AMBIENTAL</b>	137.916.800,00	34.265.247,92	25%
<b>RED MATRIZ DE ACUEDUCTO</b>	240.000.000,00	59.627.684,96	25%
<b>RED MATRIZ DE ALCANTARILLADO</b>	284.673.348,00		0%
	<b>17.103.614.148,00</b>	<b>4.178.643.764,39</b>	

### 2.3.1.1. Valor total del proyecto

En el siguiente cuadro, se pretende una estimación del costo total del proyecto adicionando al costo total de los edificios a construir, el valor de las obras obligatorias y por otra parte un valor de obras adicionales de acuerdo al acápite anterior, correspondiente a la participación del Plan parcial en las cargas generales de urbanización del suelo de expansión de Aranda.

Tabla 9 Costos del proyecto: edificio y urbanización

	INDICES DE CONSTRUCCION	AREA UTIL	AREA CONSTRUIDA	VALOR M2 COSTO FINAL	VALOR OBRAS
<b>EDIFICIOS</b>	0,4- (proyectado)	39.950	14269	2.940.000	41.950.860.000
<b>URBANIZACION</b>					
<b>OBRAS</b>					1.465.977.300
<b>OBLIGATORIAS</b>					
<b>CARGAS</b>	1-				4.178.643.764,39
<b>GENERALES DE URBANIZACION</b>	(aprovechamiento adicional)				



### 2.3.2. Estrategia de gestión y financiación.

Con el propósito de garantizar el desarrollo eficiente del espacio público y la construcción de equipamiento público, el plan parcial., deberá realizar el pago de las obligaciones que le corresponden de acuerdo con lo que se establezca en la estrategia de gestión y financiación que finalmente se trasladará al decreto que adopta el plan parcial.

El Gestor del plan parcial Policía Metropolitana podrá ser definido en cabeza de la Agencia Nacional Inmobiliaria Virgilio Barco Vargas que fue creada en el año 2011 (Decreto Ley 4184 de 2011) y empezó sus operaciones en el año 2012., está entidad nació con el fin de diseñar y ejecutar un proyecto de desarrollo y renovación urbana en el área conocida como el Centro Administrativo Nacional – CAN en Bogotá, y será la encargada del proyecto de la Construcción de la sede de la Policía Metropolitana mediante convenio o acuerdo con la Policía Nacional. Se debe definir un cronograma de ejecución del plan parcial y la forma de pago de las cargas urbanísticas.

El Municipio de Pasto quien aportó la formulación del Plan parcial, acompañara la estrategia de financiación del plan convocando a los interesados en la etapa de concertación y consulta con el fin de lograr mediante cesiones anticipadas el suelo necesario para la conformación de la malla de la red arterial.

### 2.3.3. Instrumentos legales aplicables para la financiación del plan.

Los instrumentos de Gestión aplicables a este tipo de Plan parcial tienen que ver con los previstos en la reglamentación del plan parcial y los instrumentos de gestión urbana de la que pueden hacer uso los municipios. De esta forma son instrumentos para la materialización del plan parcial los siguientes;

1-El impuesto predial



2-Las obras a cargo de la Policía Nacional con aprovechamiento adicional otorgado al predio por el plan dentro de la propuesta normativa que adopte el Plan parcial.

3- Cesión anticipada de suelo de los propietarios aledaños al plan parcial más la cesión prevista por el Plan parcial Policía metropolitana permiten la rápida gestión del suelo para la ejecución de la vía, principal carga de la malla arterial que dará acceso al proyecto.

4- Una vez desarrollado el plan las obras de construcción no incluidas en el presente plan se pueden cofinanciar a través de la contribución de valorización.

#### 2.4. Servicios Públicos

Servicios públicos son todas aquellas actividades llevadas a cabo por los organismos del Estado o bajo el control y la regulación de este, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de una colectividad.

Los servicios públicos son una función de Estado, puesto que el Estado no es sino una corporación de servicios públicos administrados por los gobernantes sobre quienes recae, a su vez, la función y la obligación de crear, organizar y garantizar el adecuado funcionamiento de los servicios públicos.

En este sentido, los servicios públicos son exigidos o contemplados por la propia legislación de cada Estado, en la cual se contemplan las actividades y prestaciones permitidas u obligatorias en un país.

Los servicios públicos son administrados por el Estado a través de instituciones públicas creadas para tales fines, aunque también pueden recaer en las empresas privadas, siempre y cuando estas se sujeten al control, vigilancia y fiscalización del Estado, y cumplan con las normas y leyes vigentes, la Empresa que cumple esta función en el municipio de Pasto es la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A.E.S.P. S.A. E.S.P.



Esta entidad pública es la encargada de llevar agua potable a más de 350.000 habitantes. Se destaca por su moderna infraestructura, la calidad de su servicio y sus labores en responsabilidad social.

Después de la inauguración de la planta Centenario, a principios de los años cuarenta, se creó en 1959 Acuanariño, la primera empresa de acueducto del departamento. Años después, el nombre de la compañía cambió pero su función seguía siendo la misma: hacer un manejo integral del agua y del territorio, para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, con calidez, sostenibilidad y equidad socioambiental y financiera.

Años más tarde, Acuanariño se llamó Acuapasto. Y finalmente, en 1977, la compañía adoptó el nombre con el que los pastusos la identifican hoy por hoy: Empresa de Obras Sanitarias de Pasto, EMPOPASTO S.A.E.S.P.. Mantenerse 40 años como una entidad pública no ha sido un asunto sencillo, pero con esfuerzo y voluntad política han conservado el lema “agua para toda la vida”, que no solo significa permanencia del servicio, sino garantía de que toda la comunidad debe tener acceso al recurso hídrico.

En la actualidad, EMPOPASTO S.A.E.S.P. opera cuatro plantas de tratamiento de agua potable. La planta Centenario abastece al 80 por ciento de los usuarios. Con Mijitayo y San Felipe, producen mensualmente cerca de 1,5 millones de metros cúbicos de agua para proveer con suficiencia a cerca de 400.000 habitantes de la ciudad.

De la misma forma, la planta de Guadalupe presta el servicio en las zonas de expansión de Aranda y Jamondino, priorizadas por el Plan de Ordenamiento Territorial para el desarrollo urbanístico de Pasto. Esto constituye un sistema de respaldo que garantiza seguridad hídrica a toda el área de prestación de servicio de la empresa.



Igualmente, para la distribución del líquido vital, EMPOPASTO S.A.E.S.P. cuenta con una red de más de 500 kilómetros en acueducto y una extensión similar en alcantarillado, el cual es objeto de mejoramiento permanente, con proyectos como Vive tu barrio, en el que la empresa lleva toda su oferta institucional a barrios y comunas.

Con este proyecto se da a conocer el plan integral de reposición de redes, que mejora la capacidad hidráulica en acueducto e incluye obras de alcantarillado separado, es decir, de aguas lluvias y residuales de manera independiente, con el fin de prevenir inundaciones y mantener el bienestar de la comunidad.

Por otra parte la empresa Centrales Eléctricas De Nariño es la electrificadora Nariñense, que fue constituida el 9 de agosto de 1955, mediante escritura pública número 2059 de la Notaria Cinco del Circuito de Bogotá y aprobada por la Superintendencia de Sociedades, mediante la Resolución 1055 del 24 de octubre de 1955.

El suministro de energía antes de la creación de CENTRALES ELECTRICAS DE NARIÑO, se realizaba mediante pequeñas plantas hidráulicas, cuyas capacidades estaban entre 20 y 50 Kw año; de esta manera los municipios que disponían del servicio de energía eran; Cumbal, El Tambo, Consaca, San José, Buesaco, Linares, Contadero, Potosi y Ricaurte.

Estas plantas fueron construidas con la participación de los municipios respectivos y el Departamento.

El suministro de energía eléctrica para la ciudad capital se efectuó mediante la empresa eléctrica de Pasto, creada por don Julio Bravo, con una planta construida sobre el Río Pasto, que fue puesta en operación en 1948, con una capacidad de 2000 Kw amperios.





La Empresa se constituye en una Sociedad Anónima con la participación de varios accionistas y se da impulso a partir de ese momento a varios proyectos de gran envergadura que han permitido el suministro de energía eléctrica no solo a la capital del Departamento de Nariño, sino a los demás municipios.

#### 2.4.1. Lineamientos de los instrumentos de planificación

##### 2.4.1.1. Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua PUEAA

La ley 373 de 1997 reglamenta el “Programa para el uso eficiente y ahorro del agua” -PUEAA- como el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico.

Esta norma se articula de manera directa con los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, reglamentados mediante las Resoluciones 1433 de 2004 y 2145 de 2005, que a su vez tienen relación directa con el Plan Departamental de Agua.

El Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA), es el Conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico (Artículo 1 Ley 373 de 1997).

##### 2.4.1.2. Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos.

Mediante la resolución 1433 del 27 Diciembre de 2004, el MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL - MAVDT reglamentó el artículo 12 del decreto 3100 de 2003 sobre PSMV, en el que se establece que: los prestadores del servicio público de alcantarillado que están sujetos al pago de la tasa retributiva, deberán presentar ante la Autoridad Ambiental competente su Plan



de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, a partir del establecimiento de los Objetivos de Calidad de la Cuenca correspondiente.

Por lo tanto, es el conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados con los objetivos y las metas de calidad y uso que defina la autoridad ambiental competente para la corriente tramo o cuerpo de agua. El PSMV será aprobado por la autoridad ambiental competente.

El Plan Parcial Policía Metropolitana se articula al Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos toda vez que establece que tanto las aguas residuales como pluviales deben evacuarse por medio de las redes de alcantarillado operadas por EMPOPASTO S.A.E.S.P..

#### 2.4.2. Factibilidad de extensión de cobertura y optimización de los servicios públicos

La factibilidad o disponibilidad de servicios públicos es un documento mediante el cual se establecen las condiciones técnicas, jurídicas y económicas que permitan ejecutar la infraestructura de servicios públicos dentro de procesos de urbanización que se adelanten mediante un plan parcial.

Es responsabilidad de la empresa prestadora del servicio emitir este certificado, previa solicitud del usuario o del urbanizador-constructor, toda vez que es el interesado en desarrollar los predios contemplados dentro de un plan parcial como área de expansión urbana.



Para el área del Plan Parcial Policía Metropolitana, el Desarrollador deberá solicitar este documento a EMPOPASTO S.A.E.S.P. y CEDENAR con la finalidad de tener certeza frente al punto de conexión o empalme al que se tenga que llegar, en este documento se dará una posibilidad de conexión, sin ser la definitiva, dado que, como se dijo anteriormente, es la empresa prestadora del servicio quien tiene el concepto técnico definitivo.

#### 2.4.2.1. Acueducto y Alcantarillado

De acuerdo a la Factibilidad De Servicios De Acueducto y Alcantarillado entregada a la Secretaría de Planeación Municipal, mediante oficio número 20157300191611 del día miércoles 11 de noviembre de 2015 emitido por la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A.E.S.P., se certifican los lineamientos técnicos referentes a la existencia y posibilidad de prestar el servicio de acueducto y alcantarillado en el área que comprende el Plan Parcial Aranda.

De acuerdo al oficio citado anteriormente, se establecen las alternativas de conexión de acueducto y alcantarillado pluvial y sanitario, alternativas dadas como respuesta al oficio de solicitud de factibilidad de servicios de acueducto y alcantarillado para el Plan Parcial Aranda solicitado por la Secretaría de Planeación Municipal a la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A.E.S.P., se aclara que el desarrollador deberá solicitar la disponibilidad de servicios y bases técnicas, quien entregará un documento técnico que defina los puntos definitivos de conexión al alcantarillado sanitario y pluvial y las especificaciones técnicas para las conexiones domiciliarias que se tengan que realizar, a su vez entregará también las especificaciones técnicas para la acometida de acueducto.

Actualmente la planta de Guadalupe presta el servicio en las zonas de expansión de Aranda y Jamondino y tiene como cota máxima para la prestación del servicio de acueducto los 2700 msnm.



## ALTERNATIVAS DE CONEXIÓN:

- **ACUEDUCTO:**

Sector hidráulico: Aranda Expansión

Cota máxima de servicio: 2700 msnm

Tubería proyectada: PVC Diámetro Nominal 350 mm (14 Pulgadas)

Punto: Caja de válvula de cierre, Aguas abajo Tanque Aranda

Coordenadas (Sistema Colombia West Zone - CWZ):

E = 979152.658 m    N = 628778.936 m

Presión estática máxima en el punto: 62.97 m H<sub>2</sub>O

- **ALCANTARILLADO SANITARIO:**

Colector sanitario proyectado en PVC Ø 452 mm, a continuación se presentan las diferentes alternativas para la conexión de alcantarillado sanitario.

Pozo de inspección alcantarillado sanitario proyectado

Localización: Calle 40

Coordenadas (Sistema CWZ): E= 978742,362 N= 628499,403

Profundidad: 1.48 m

Cota rasante: 2656,982 msnm

Pozo de inspección alcantarillado sanitario proyectado

Localización: Calle 40 con carrera 29

Coordenadas (Sistema CWZ): E=978520.973 N=628601.222

Profundidad: 2.96 m

Cota rasante (Tapa): 2656.500 msnm

Cota batea (Salida): 2653.540 msnm

Pozo de inspección alcantarillado sanitario proyectado

Localización: Calle 40 con carrera 32 (antes 22Bis)

Coordenadas (Sistema CWZ): E=978453.234 N=628623.348

Profundidad: 8.54 m

Cota rasante (Tapa): 2661.779 msnm

Cota batea (Salida): 2653.24 msnm



- **ALCANTARILLADO PLUVIAL**

Colector pluvial proyectado, en GRP Ø 1.20 m y Concreto reforzado Ø 1.40 mt a continuación se presentan las diferentes alternativas para la conexión de alcantarillado pluvial.

Localización: Calle 40  
Coordenadas (Sistema CWZ): E= 978773,838 N= 628495,502  
Profundidad: 2.35 m  
Cota rasante: 2656,275 msnm

Localización: Calle 40 con carrera 28  
Coordenadas (Sistema CWZ): E=978779.557 N=628506.082  
Profundidad: 2.09 m  
Cota rasante (Tapa): 2656.130 msnm  
Cota batea (Salida): 2654.040 msnm

Localización: Calle 40 con carrera 28  
Coordenadas (Sistema CWZ): E=978779.557 N=628506.082  
Profundidad: 2.09 m  
Cota rasante (Tapa): 2656.130 msnm  
Cota batea (Salida): 2654.040 msnm

Localización: Calle 40 con carrera 32 (Antes 22Bis)  
Coordenadas (Sistema CWZ): E=978454.654 N=628620.764  
Profundidad: 9.22 m  
Cota rasante (Tapa): 2661.591 msnm  
Cota batea (Salida): 2652.37 msnm

A continuación, se presenta un mapa con la proyección de las redes de acueducto, alcantarillado sanitario y pluvial hasta la conexión con la infraestructura operada por la empresa prestadora del servicio quien defina estos aspectos técnicos, toda vez que es la responsable de garantizar el servicio a los usuarios en las áreas consolidadas de la ciudad y en las áreas de expansión.

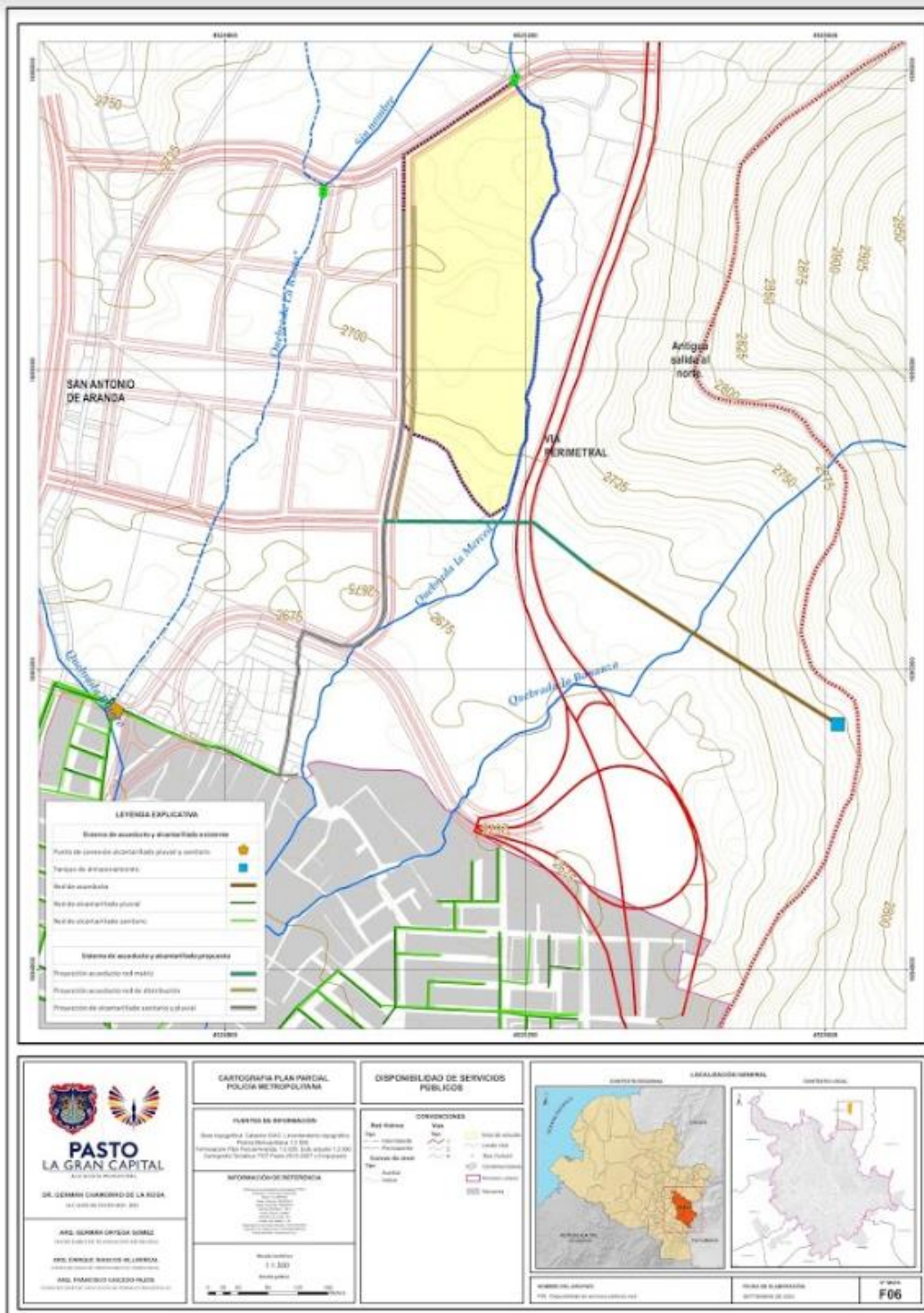


Figura 15. Proyección de obras para conexión de acueducto y Alcantarillado Sanitario y Pluvial. Fuente: Elaboración propia.



## **Lineamientos Técnicos y Legales**

Con el fin de garantizar el uso racional del recurso hídrico, la utilización del agua potable deberá proyectarse exclusivamente para las actividades relacionadas con el consumo humano. No se permitirá su uso para riego de tipo agrícola o pecuario, lavado de edificaciones o vehículos.

Los diseños de los sistemas de acueducto y alcantarillado del proyecto, deberán contemplar lo especificado en la Resolución 0330 del 8 de junio de 2017, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS.

Para la cuantificación de los consumos de agua potable del proyecto, se debe contemplar la instalación de un macromedidor para su lectura periódica, enseguida del punto de empalme al sistema de acueducto; cuya clase metrológica deberá ser mínimo R800.

Se deberá proyectar las estaciones hidráulicas necesarias para controlar las presiones de servicio y si fuera el caso el nivel de los tanques de almacenamiento de agua del Plan Parcial; las cuales deberán estar dotadas de una válvula principal de control, válvulas de cierre, válvulas ventosas, filtro en yee, salidas para instalación de manómetros, bypass con válvula de cierre y un piloto conectado a la válvula de flotador. Estos sistemas deberán protegerse mediante estructuras o cámaras de inspección de concreto reforzado, con tapa metálica y escalones de acceso.

Tanto en las instalaciones sanitarias internas como en las redes externas, se debe separar los sistemas de recolección y evacuación de las aguas residuales y pluviales. No se permite verter las aguas lluvias a los drenajes sanitarios o viceversa.



Los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial del Plan Parcial, deberán proyectarse bajo los criterios de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS).

### **Lineamientos generales para la implementación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS.**

La implementación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS, como sistemas alternativos de drenaje que hacen parte de la infraestructura urbana del plan parcial.

### **Objetivo implementación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS.**

Reducir los efectos de inundaciones por medio de la retención y/o detención del agua de escorrentía a través de estructuras y/o tipologías diseñadas para promover la infiltración, mejorar la calidad del agua que le llega a los cuerpos receptores, incentivar el reúso de agua, generar amenidad y paisajismo.

Beneficios de la implementación de los sistemas urbanos de drenaje sostenibles SUDS.

- Manejo de la escorrentía tan cerca de la fuente como sea posible, haciendo uso de prácticas a micro-escala (micro-manejo).
- Preservación de cuerpos de agua naturales y las funciones hidrológicas naturales creando paisajes multifuncionales
- Integración de estrategias para el manejo de la escorrentía desde etapas iniciales de planeación y diseño
- Reducción de costos de construcción y mantenimiento de la infraestructura de drenaje convencional de escorrentía.





## **Tipologías de los sistemas de drenaje sostenible SUDS aplicables al plan parcial.**

Para el caso específico del Plan Parcial Policía Metropolitana, se deberá contemplar en su desarrollo urbanístico la implementación de pavimentos permeables en las zonas de tráfico vehicular y parqueaderos y la preservación de las respectivas franjas de protección hídrica. Así mismo, de acuerdo a la concepción de distribución de los elementos de dicho equipamiento, se recomienda la inclusión de cunetas verdes con barrera de detención y de zonas de bio-retención con paredes verticales o con taludes laterales.

De igual manera se deberá contemplar dentro de los diseños arquitectónicos y de ingeniería, sistemas de captación de aguas lluvias provenientes de cubiertas y su disposición en reservorios para su posterior uso con fines no potables.

- **Pavimentos permeables.** Sistemas que permiten infiltrar y/o almacenar temporalmente la escorrentía de un área determinada. Estarán compuestos como mínimo de cuatro capas: (1) una capa superficial que permite el paso del agua, (2) una capa de nivelación, (3) un reservorio o sub – base y (4) una capa filtrante. La capa superficial puede conformarse por cinco tipos de superficies: adoquines de rejillas de concreto, adoquines entrelazados, concreto poroso, mezcla asfáltica permeable o grava porosa.

### **2.4.2.2. Redes Eléctricas:**

A la fecha de elaboración de este documento, el predio Policía Metropolitana cuenta con servicio de energía, por tal motivo el urbanizador – constructor deberá actualizar el uso y capacidad requerida en la acometida eléctrica y realizar los trámites que sean necesarios ante las Centrales Eléctricas De Nariño (CEDENAR).



En cuanto a interferencias para el desarrollo urbanístico que se tenga contemplado en el área de estudio, referente a la presencia de redes eléctricas, se evidencia en la siguiente imagen que no se tiene ningún tipo de interferencia que obligue al desarrollador a realizar trámites adicionales ante la empresa de energía y tampoco realizar modificaciones o consideraciones de importancia en el planteamiento del desarrollo urbanístico.

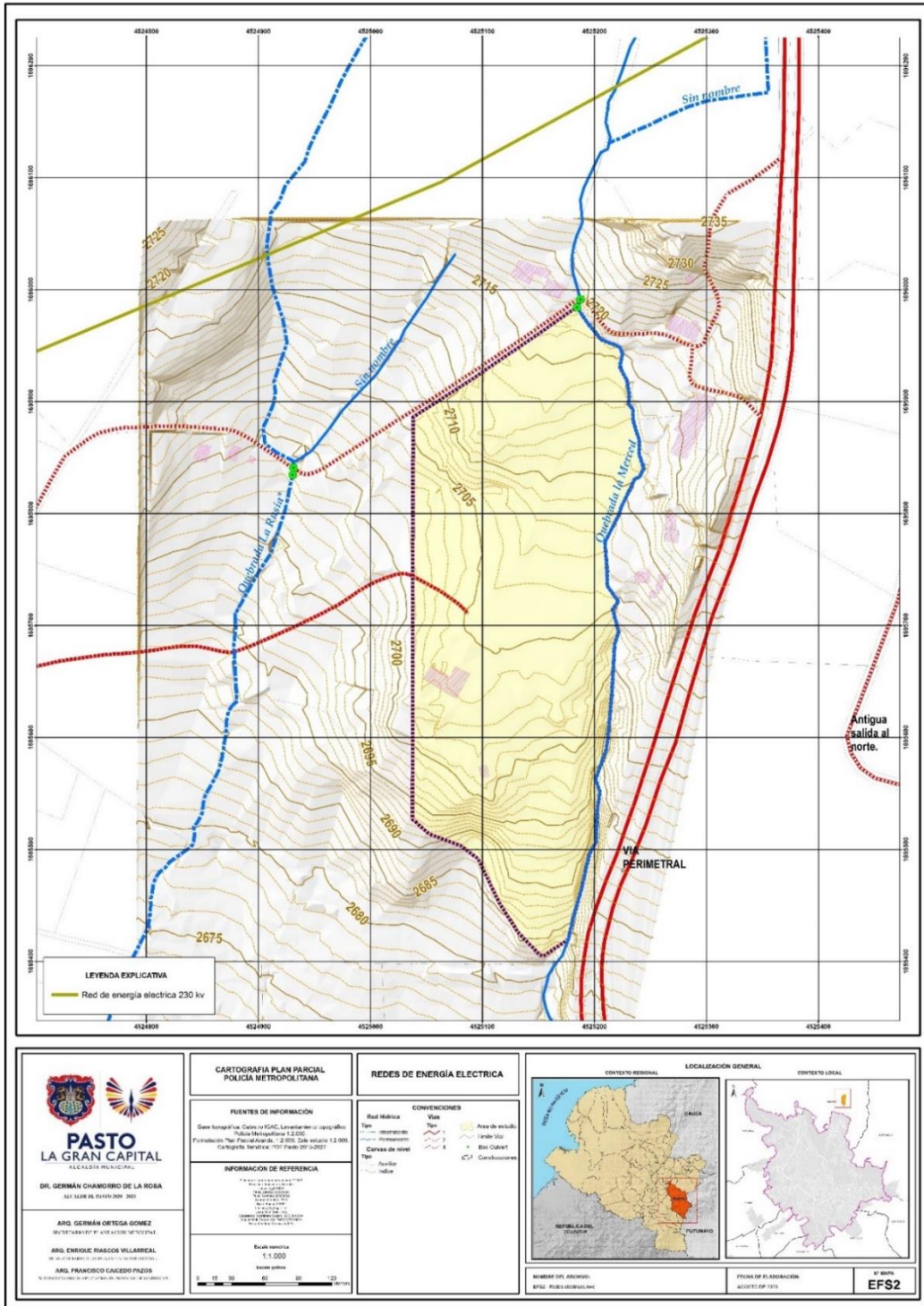


Figura 16. Redes de energía eléctrica. Fuente: Elaboración propia



### 3. ASPECTOS AMBIENTALES

#### 3.1. Determinantes ambientales

De acuerdo a los lineamientos establecidos por la Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO, mediante oficio 102, con fecha 02 de abril de 2019, en el cual se establecen las determinantes ambientales para la formulación del “Plan Parcial Metropolitana” se formula este documento técnico que atiende los requerimientos y aspectos relevantes establecidos por la Corporación, toda vez que es responsabilidad de la Alcaldía de Pasto y a su vez de la Secretaría de Planeación Municipal, realizar la evaluación de todos los componentes urbanísticos, ambientales, geotécnicos, servicios públicos y en general todos los componentes que garanticen un ambiente apto que permita el desarrollo de nuestra ciudad, generando ambientes sanos y agradables para una sana convivencia y un buen vivir en la ciudad de San Juan de Pasto. Las determinantes ambientales son las siguientes:

#### **“DETERMINANTES AMBIENTALES “PLAN PARCIAL METROPOLITANA”**

##### **1. Marco legal: la formulación de los planes parciales está amparada con la siguiente normatividad:**

*Ley 388 de 1997: Incorpora el Instrumento del Plan Parcial y determina su aplicación, así como las demás leyes que la modifican y/o complementan Decreto 019 de 2012: En lo referente al procedimiento para planes parciales Decreto compilatorio 1077 de 2015: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*

##### **2. Lineamientos generales adoptados en el Plan de Ordenamiento Territorial Pasto Territorio con sentido 2015-2027.**

*De conformidad con el mundo 004 de abril de 2015, mediante el cual se adoptó el Plan de Ordenamiento Territorial Pasto territorio con - Santa definió:*

*Con fundamento en lo anterior, deberá realizarse un análisis de la compatibilidad de usos del suelo permitidos en el artículo 351 del acuerdo 004 de 2015, considerando, además, lo establecido en el párrafo único del Artículo 2.2.4.1.1. del Decreto 1077*



de 2015. Así mismo, se deben validar las propuestas de uso contempladas en la cartografía oficial del POT, particularmente en el plano EE1 Áreas de actividad urbana y de expansión", entre otros.

### **3. Delimitación "Plan Parcial Metropolitana" y contenidos mínimos.**

3.1. De conformidad con la normatividad vigente, el proyecto de plan parcial debe delimitarse y desarrollarse a escala 1:2000. Presentar plano, considerando la delimitación y conformación del área de planificación.

3.2. Documento Técnico de Soporte que contendrá como mínimo:

3.2.1. Memoria justificativa del plan parcial y sus condiciones de partida y criterios de diseño, donde se expliquen las condiciones evaluadas en la fase de diagnóstico, la pertinencia y procedencia del plan parcial, así como los objetivos y criterios que orientan las determinaciones de planificación adoptadas en la formulación del mismo.

3.2.2. Presentación del planeamiento urbanístico proyectado con la definición de los sistemas del espacio público y los espacios privados.

3.2.3. Presentación de la estrategia de gestión y financiación y de los instrumentos legales aplicables para el efecto.

3.2.4. Cuantificación general de la edificabilidad total, según uso o destino y cuantificación financiera de la intervención.

3.3. Cartografía en escala 1:2000 que incluya como mínimo:

3.3.1. Planos del diagnóstico:

3.3.1.1. Planos detallados de las condiciones ambientales existentes en el área del plan parcial, incluyendo las condiciones de amenaza y riesgo; así mismo, incluir el área de influencia,

3.3.1.2. Plano topográfico del área de planificación, señalando los predios con sus folios de matrícula Inmobiliaria. Predios incluidos en la propuesta de delimitación y sus propietarios. Infraestructura existente.

3.3.2. Planos normativos de la formulación:

3.3.2.1. Plano de restricciones y manejo ambiental del predio, incluyendo manejo integral del riesgo.

3.3.2.2. Plano general de la propuesta urbanística



3.3.2.3 *Plano de la red vial, perfiles viales y peatonales.*

3.3.2.4. *Plano de espacio público, cuantificación y distribución,*

3.3.2.5. *Plano del trazado de las redes de servicios públicos*

3.3.2.6. *Plano de asignación de cargas urbanísticas*

3.3.2.7. *Plano de localización de las etapas de desarrollo previstas*

3.4. *Delimitación del área de planificación del plan parcial, Incluir la propuesta de integración y conectividad al perímetro urbano actual. Anexar la cartografía correspondiente.*

4. *Aspectos Ambientales.*

### **DIAGNOSTICO**

a) *Geología para ingeniería*

b) *Geomorfología a nivel de elementos geomorfológicos*

c) *Hidrogeología, con énfasis en comportamiento de los niveles freáticos*

d) *Evaluación del drenaje superficial.*

e) *Uso y cobertura del suelo: Desarrollar la caracterización de los suelos del área de estudio, así como su aptitud, destinación, aprovechamiento y los conflictos de uso del suelo que se presentan*

*Exploración del subsuelo*

*Como resultado y productos del análisis de cada item relacionado en este componente debe estar soportado con el respectivo mapa (escalas detalladas)*

*"Artículo 351. Lineamientos generales para la formulación de los planes parciales de expansión. Los procesos de formulación y adopción de Planes Parciales para las zonas identificadas de expansión, deberán incluir además de las determinantes establecidas en la normatividad nacional, el desarrollo de los siguientes lineamientos: Plan Parcial de Expansión Aranda: Incorporación de Vivienda, Espacio Público y Suelo Industrial.*

*Objetivo: Integrar al desarrollo urbano suelo para vivienda, espacio público y usos industriales en un área conectada con la ciudad y la vía Paso Nacional por Pasto.*



*El área de expansión identificada puede ser desarrollada mediante uno o varios planes parciales, dando cumplimiento a los lineamientos generales del presente Acuerdo.*

#### *Lineamientos Básicos.*

*- Espacio Público. Generación del parque urbano de borde definido en el sistema de espacio público y especializado en el plano No. EFS17. Generación de los parques locales de conformidad con las cargas urbanísticas previstas en el presente acuerdo.*

*- Movilidad. Proyección de la infraestructura vial de conformidad con lo establecido en el plano No. EFS14 y en concordancia con el modelo de ordenamiento de la malla vial adoptada por el presente Plan, la cual se fundamenta en el esquema de supermanzana.*

*- Tipos edificatorios: Proyección de diferentes tipos edificatorios.*

*Edificabilidad: Definición de las áreas objeto de reparto y de las cargas adicionales para el alcance de las expectativas del plan. (.....)*

#### **PROPUESTA**

*La propuesta de Plan Parcial debe contemplar entre otros aspectos:*

*a) Definición y justificación de la compatibilidad de la propuesta ambiental del "Plan Parcial Metropolitana" con el modelo de ocupación del Plan de Ordenamiento Territorial 2015-2027 en esta temática. Considerar la anotación final indicada en el numeral 2 "Lineamientos generales adoptados en el Plan de Ordenamiento Territorial Pasto Territorio con - sentido 20152027 del presente documento.*

*b) Estudio hidrológico e hidráulico del área de estudio, incluyendo cada uno de los drenajes y cuerpos de agua con influencia directa e indirecta sobre el área. Objetivos, metodología, desarrollo, productos, conclusiones y recomendaciones. Memorias, anexos y planos. Incluir en la evaluación, información topográfica y batimétrica para los cuerpos de agua. Lo anterior de tal forma que refleje las condiciones esperadas a futuro (uso de suelo, medidas de mitigación, entre otros), es decir, condiciones de escenario prospectivo (con proyecto). Debe incluirse la evaluación de SUDS entre las alternativas a considerar.*

*c) Definición de políticas, objetivos y estrategias ambientales y de gestión del riesgo para el diseño e implementación del plan parcial. Igualmente se deben establecer los lineamientos de planificación que garanticen la conservación y preservación de las áreas de importancia ambiental.*



*d) Propuesta de generación de espacio público*

*e) Normas generales de uso y ocupación que respondan al modelo propuesto del plan parcial, en especial para la protección y conservación de áreas de importancia ambiental.*

*f) Elaboración de estudios y diseños para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, energía, aseo y disposición final de residuos sólidos atendiendo la propuesta de servicios públicos domiciliarios contemplada en el POT, planes maestros de acueducto y alcantarillado, PGIRS, entre otros y la proyectada para el "Plan Parcial Metropolitana"*

*g) Plan de manejo ambiental asociado a la gestión de residuos generados en las actividades de construcción y demolición (RCD) durante el desarrollo del "Plan Parcial Metropolitana conforme a la resolución 472 de 2017"*

*h) Determinación de medidas de mitigación (prediseño), asociadas a las condiciones de riesgo identificadas en el área de estudio, conforme a lo dispuesto en el Decreto 1077 de 2015 para estudios detallados.*

*i) Identificación de estrategias para la consolidación y conservación de áreas de importancia ambiental, tales como las áreas forestales protectoras franjas de protección hídrica entre otras.*

*j) Reglamentación de las áreas que presentan algún tipo de restricción entre ellas. retiros por presencia de redes eléctricas (aplicación reglamento RETIE), áreas con presencia o presunción de subsidencia, áreas afectadas por flujos torrenciales, inundaciones y procesos de remoción en masa, entre otros, así como áreas con altas pendientes en caso de presentarse.*

*k) Es indispensable que dentro de las áreas a preservar, serán de prioridad aquellas donde hay presencia de relictos de bosque en áreas contiguas a cuerpos de agua y taludes.*

*l) Definición de proyectos ambientales estratégicos, para el área del plan parcial, incluyendo los asociados a la gestión integral del riesgo.*

*m) Definir la vigencia del plan parcial, las etapas de desarrollo y su alcance, involucrando lo concerniente a los responsables del manejo ambiental y su cronograma de actividades, así como el manejo financiero. Es importante reiterar que las medidas de manejo ambientales son determinantes para el desarrollo de la propuesta urbanística.*





*n) Surtir las etapas de concertación y consulta establecidas en el Decreto 1077 de 2015 para planes parciales.*

*o) Otras de consideración ambiental que se definan por parte del municipio durante el proceso de planificación, acorde con las características ambientales del área y en concordancia con el modelo de ocupación previsto en el Plan de Ordenamiento Territorial Pasto Territorio Con- Sentido 2015/2027.”*

### 3.2. Base cartográfica

#### 3.2.1. Metodología.

La cartografía es considerada como la ciencia aplicada que se encarga de reunir, realizar y analizar medidas y datos de regiones de la tierra, para representarlas gráficamente con diferentes dimensiones lineales (Raisz, 2005). Siguiendo esta concepción es indispensable incluir en todos los estudios técnicos y científicos esta ciencia, pues de ella depende la adecuada representación de los elementos del territorio de tal manera que se puedan definir en un contexto más amplio incluso si están fuera de nuestro campo visual, a través de ello se pueden generar conocimientos precisos de lo que se quiere estudiar además de establecer parámetros y medidas que permitan realizar estudios óptimos apoyados en las nuevas tecnologías.

La sistematización de la cartografía tradicional a través de programas especiales ofrecen un sinnúmero de herramientas para realizar procesos, así mismo la teledetección juega un papel fundamental pues de esta depende la representación gráfica de la superficie terrestre por medio de imágenes satelitales permitiendo realizar actuaciones adecuadas sobre el territorio, sin embargo como todo proceso requiere un orden que nos lleve a un resultado esperado es por ello que es necesario realizar un proceso metodológico adecuado.

Para llevar a cabo un proceso exitoso de generación de cartografía se requiere ser minucioso en la obtención y generación de insumos de los cuales dependerá el



resultado final, en este sentido es indispensable realizar actividades de reconocimiento a través de trabajo de campo, hacer contrastes de información con el fin de ejecutar análisis comparativos que lleven a determinar la veracidad y confiabilidad de la información a utilizar, el nivel de detalle para llegar a una escala 1:2.000 es riguroso por ende se requiere seguir unas fases las cuales para el presente estudio se han definido en tres y se presentan a través del siguiente esquema.

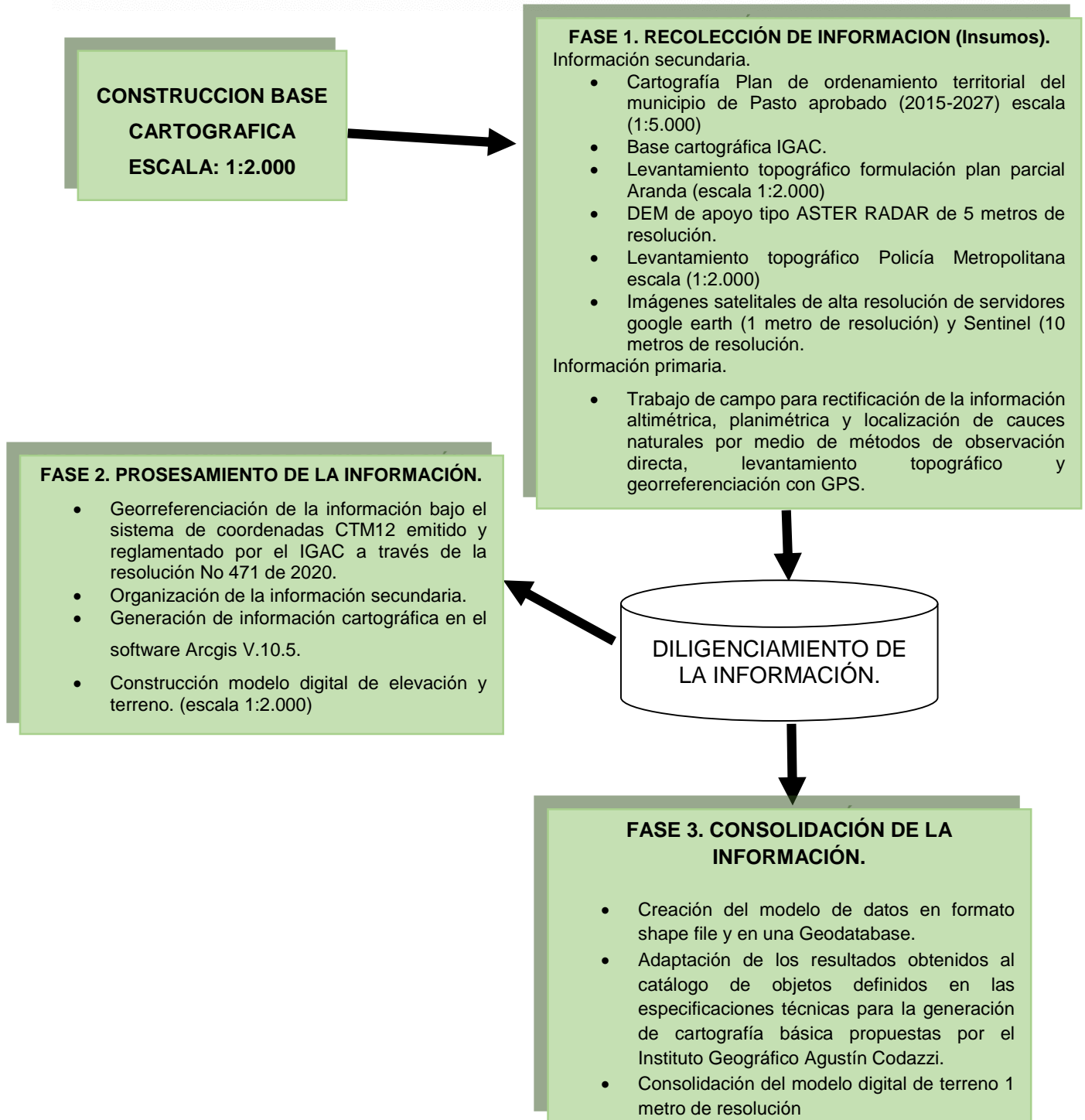


Figura 17. Esquema metodológico.



### 3.2.1.1. FASE 1. Recolección de información.

El proceso de recolección de información se realizó a través de dos medios; información primaria e información secundaria.

- **Información secundaria:** Corresponde a productos de estudios que se han realizado con anterioridad en el sector, tales como:
  - **Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pasto.** Construido en el año 2015 y vigente hasta la fecha, de la información suministrada se tomó como referencia las capas que constituyen el plano base a escala 1:5000; con el fin de tener el punto de partida para la programación de actividades en campo y construir la cartografía en escala 1:2.000.
  - **Base cartográfica IGAC.** Con este referente se puede determinar la situación catastral del área de estudio, este insumo es fundamental porque permite la identificación de elementos ambientales y administrativos para una visión amplia del sector y todos sus componentes.
  - **Plan Parcial Aranda.** En la formulación del plan parcial Aranda se realizó el levantamiento topográfico con un alto nivel de detalle, lo cual permite generar insumos de trabajo como la nube de puntos topográfica para la generación de curvas de nivel y modelos digitales de elevación de 1 metro de resolución aplicando métodos de triangulación.
  - **DEM de apoyo de 5 metros de resolución.** El modelo digital de elevación suministrado por la Alcaldía de Pasto con resolución espacial de 5 metros de origen ASTER RADAR obtenida a través del satélite TERRA (NASA), permitirá la calibración de los elementos generados producto de mediciones directas en trabajo de campo y levantamientos topográficos.



- **Levantamiento topográfico plan parcial policía metropolitana.** La Policía Metropolitana de Pasto realizó la entrega del levantamiento topográfico en escala 1:2.000 identificando claramente los límites, la planimetría y altimetría del predio.
- **Imágenes satelitales de alta resolución.** La resolución de una imagen satelital es directamente proporcional a la medida del pixel, es por ello que son consideradas imágenes de mayor resolución las que poseen un número inferior a diez metros por pixel, lo que permite procesar información con datos precisos, fiables y actualizados que ofrecen enormes ventajas para la detección, éstas imágenes permitirán el apoyo en la identificación de elementos naturales y artificiales y garantizarán la correcta referencia espacial, para el presente estudio se utilizarán imágenes Sentinel, (10 metros), Esri (3 metros) y Google (1metro).

**Información primaria:** La recolección de información primaria se realiza a través de métodos investigativos, los cuales permiten la validación de elementos previamente identificados, la corrección de los mismos en caso de encontrar inconsistencias y obtener nuevos elementos los cuales serán el resultado final, para la construcción de la cartografía en escala 1:2.000.

- **Modelo digital de elevación de 1 metro de resolución.** Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. El proceso a seguir para la elaboración del mismo se basa en parámetros de elevación teniendo en cuenta los puntos y trazos tomados en el levantamiento topográfico procesándolos a través de un software SIG garantizando el nivel de detalle de 1 metro por pixel lo que en escala equivale a 1:2.000 de acuerdo a la siguiente formula.



**Escala del mapa = Resolución del ráster (en metros) \* 2 \* 1000**

- **Trabajo de campo para rectificación de la información altimétrica, planimétrica y localización de cauces naturales por medio de métodos de observación directa, levantamiento topográfico y georreferenciación con GPS.** La clasificación de campo constituye una etapa del proceso cartográfico en la cual se desarrolla la actualización, validación y verificación de las entidades geográficas con sus respectivos nombres geográficos a través de un levantamiento sistemático en campo para su posterior publicación en un determinado producto con las especificaciones del modelo de datos previamente definido. (IGAC, 2020). El proceso incluirá la actualización, validación y verificación de elementos a través de métodos de observación directa, levantamiento topográfico y la georreferenciación a través de dispositivos GPS

Teniendo en cuenta el nivel de detalle requerido y áreas mínimas de mapeo conforme a la escala. El principio del área mínima cartografiable permite lograr coherencia en la representación espacial y eficiencia en la lectura y utilidad del mapa en formato impreso. Este principio indica que, a partir de determinada área espacial, los polígonos y sus correspondientes contenidos deben ser generalizados; de lo contrario, dificultarían la distinción por parte del usuario cuando se lea en formato analógico (Salitchev 1979). Para la realización del presente estudio se tomará en consideración la clasificación de Salitchev 1979 de acuerdo a la siguiente relación.



Tabla 10. Clasificación de Salitchev.

Escala	1cm igual a		1 mm igual a		Área mínima cartografiable (4*4)	
	M	km	M	km	M2	Km2
1:500	5	0.005	0.5	0.0005	4	0.000004
1:1.000	10	0.01	1	0.001	16	0,000016
1:2.000	20	0.02	2	0.002	64	0,000064
1:5.000	50	0.05	5	0.005	400	0,0004
1:10.000	100	0.1	10	0.01	1,600	0,0016
1:20.000	200	0.2	20	0.02	6,400	0,0064
1:25.000	250	0.25	25	0.025	10,000	0,01
1:50.000	500	0.5	50	0.05	40,000	0,04
1:100.000	1,000	1	100	0.1	160,000	0,16
1:250.000	2,500	2.5	250	0.25	1,000,000	1
1:500.000	5,000	5	500	0.5	4,000,000	4
1:1.000.000	10,000	10	1000	1	16,000,000	16
1:6.000.000	60,000	60	6000	6	576,000,000	576

### 3.2.1.2. Fase 2. Procesamiento de la información.

- **Organización de la información.** En esta fase se toman los datos previamente almacenados tanto en campo como en información secundaria se los organiza por carpetas de acuerdo al Organigrama de la Información.

Posteriormente se crea una Geodatabase que permita compartir datos sin perder Detalles.

- **Generación de información.** El sistema de coordenadas manejado es el mismo en todas las capas y corresponde a CTM12 de acuerdo a los lineamientos establecido por el IGAC se establece una relación y ajuste de capas para que no haya traslapes y todo tenga perfecta relación para la generación de nuevas capas temáticas.

El ajuste de la escala se hace a partir de los insumos que se generarán producto del proceso de recolección de información, cabe resaltar que el



IGAC tiene una guía de especificaciones técnicas para la generación de cartografía básica a escala 1:2.000 la cual se aplicará en este estudio. En ella menciona todos los elementos que se deben digitalizar a esta escala o nivel de detalle, así mismo los intervalos en las curvas de nivel y la representación gráfica de los elementos.

- **Shapes Base.** Shape es un tipo de archivo creado por ESRI se puede generar de tres formas punto, polígono o polilínea, en el proyecto de acuerdo a las características estos se integran en una sola carpeta la cual contiene la información inicial es decir toda la base que es inmodificable y contiene los elementos que integran el área de estudio tales como drenajes, curvas de nivel, vías, entre otros, los cuales se detallarán en la fase consolidación de la información.
- **Shapes temáticos.** Son las capas generadas con el fin de construir productos específicos como: geología, geomorfología, pendientes, cuencas, entre otros, estos se organizarán en una sola carpeta de acuerdo a su clasificación.



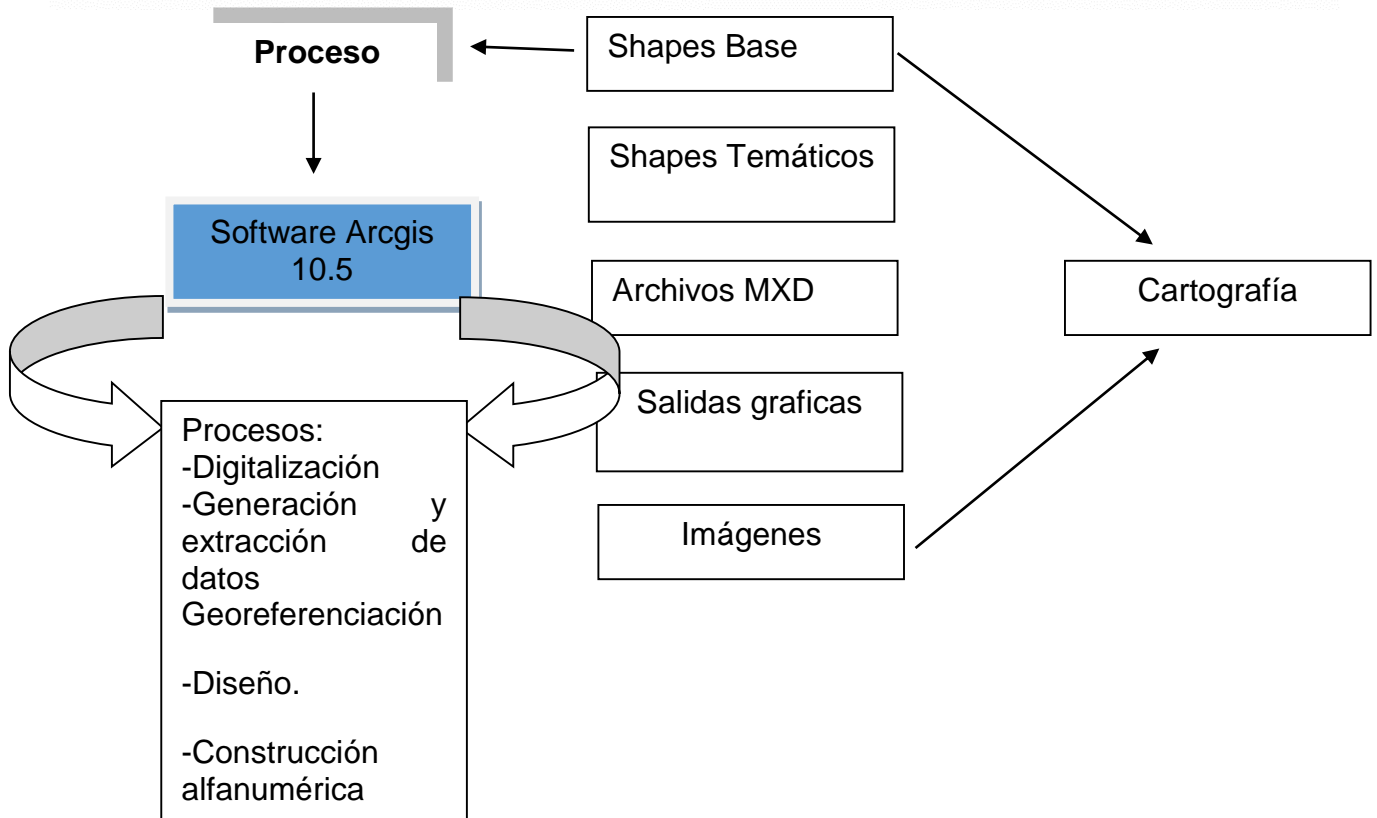


Figura 18. Organigrama de la información.

- **Archivos MXD.** Son archivos editables generados por el software Arcgis a través de Arc Map V.10.5 estos contienen toda la información de los shapes así como su configuración y simbología.
- **Salidas gráficas.** Corresponde al producto final de un mapa es decir el resultado del proceso que incluye sus correspondientes convenciones y leyenda explicativa a través de un diseño óptimo que permita la adecuada visualización de elementos por lo general en formato PDF o JPG.
- **Imágenes.** Lugar donde se almacenan todas las imágenes que se utilizan como insumo para la generación de cartografía, así mismo los modelos



digitales de elevación y demás productos relacionados con la teledetección que se utilizarán en el proceso.

### **Construcción modelo digital de terreno MDT 1 metro de resolución.**

Teniendo en cuenta que un Modelo Digital de Terreno se define como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua y representa la superficie de suelo desnudo y sin ningún objeto, como la vegetación o los edificios (Li, Z.; Zhu, Q.; Gold, C. (2005). Digital terrain modeling: principles and methodology. Boca Raton: CRC Press.)

Por medio de la entrada directa de coordenadas (x, y, z) de los puntos del terreno obtenidos de un dispositivo GPS y del levantamiento topográfico del área de estudio cubriendo todos los sectores, se identifica una nube de puntos densa, la cual contiene un conjunto de vértices en un sistema de coordenadas tridimensional. Estos vértices contienen la información Z que corresponde a la altura de la superficie. A través de la altura se determina las formas del terreno y se consolida el relieve a una escala detallada.

El proceso se lo realiza en un software GIS, en este estudio se utiliza el software Arcgis en su versión 10.5 a través de las herramientas disponibles. Con la nube de puntos establecida se procede a filtrar la información y generar una triangulación la cual será la base para la construcción del modelo digital de terreno y análisis posteriores.

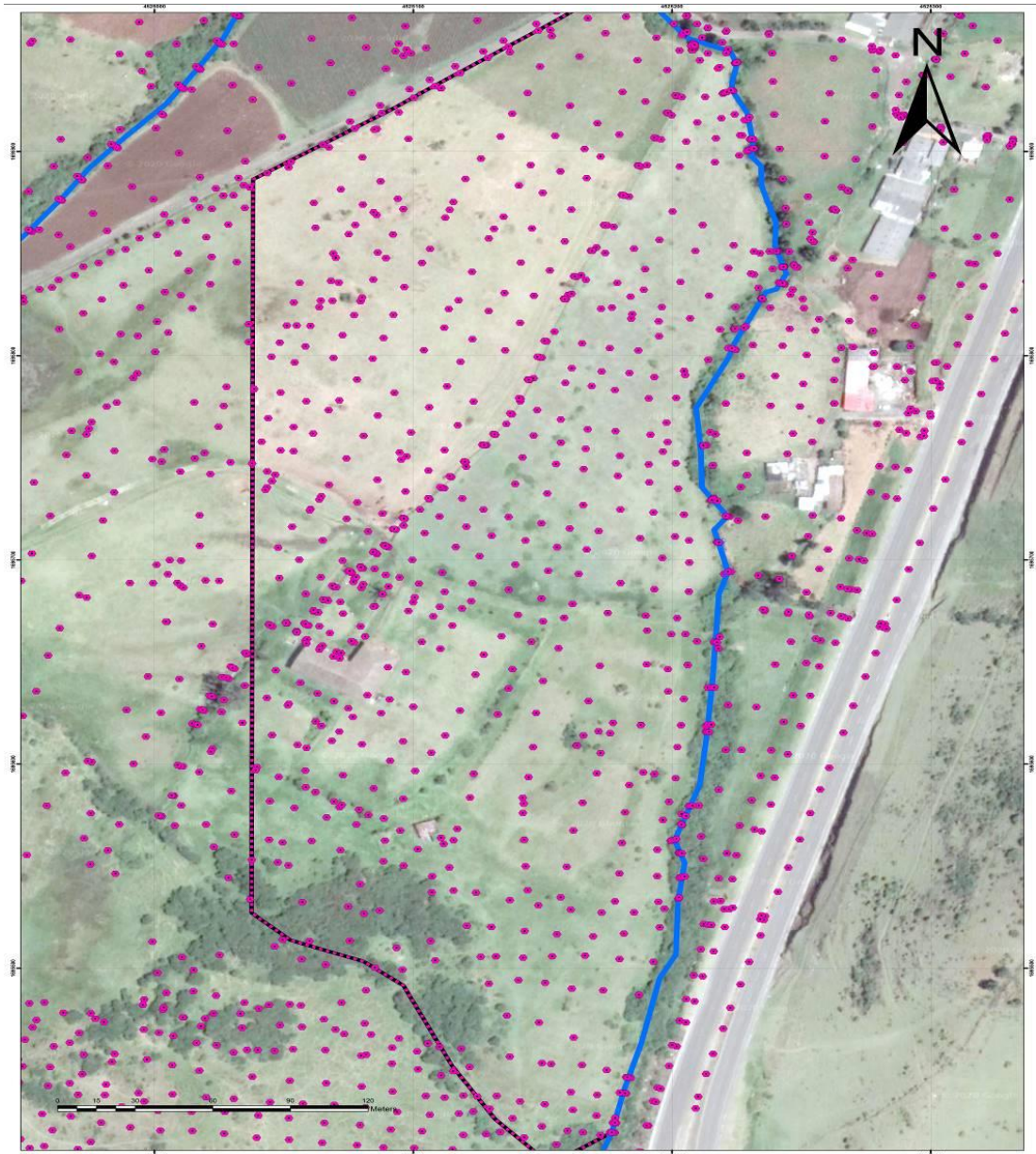


Figura 19. Procesamiento de la imagen en Arcgis.

### 3.2.1.3. Fase 3. Consolidación de la información.

La consolidación de la información refleja el resultado final del trabajo, en este proyecto el plano base producto de la aplicación de las fases anteriores, por lo tanto, la composición de todas las capas queda generada de la siguiente manera.

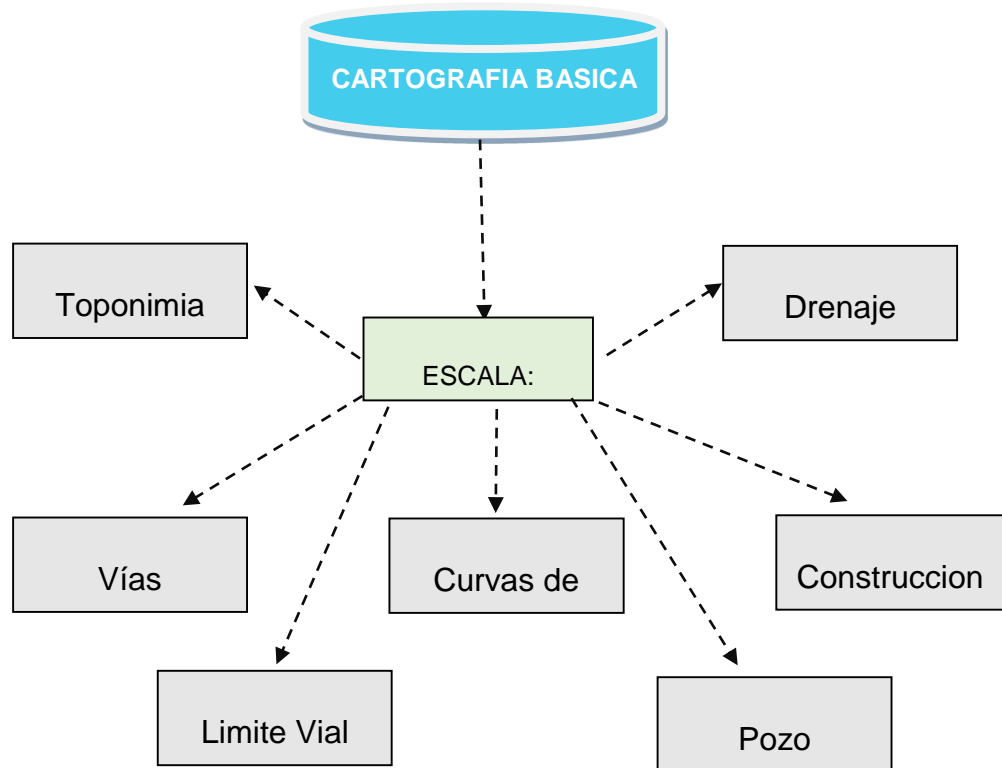


Figura 20. Esquema consolidación de información.

- **Drenaje sencillo:** Flujo de agua superficial que depende de la precipitación pluvial y/o afloramiento de aguas subterráneas y va a desembocar en otra corriente, en una laguna o en el mar. El diagnóstico en el área de influencia se realizó en campo donde se registraron los drenajes existentes permanentes e intermitentes.



- **Construcciones:** Áreas construidas con diferentes objetivos dentro de un campo delimitado, digitalizadas a partir del insumo inicial de la base de datos del IGAC producto de la última actualización catastral y actualizadas acorde a la visualización de imágenes satelitales Sentinel, Esri, Google.
- **Curvas de nivel:** Línea imaginaria que une puntos del terreno con la misma altura, respecto al nivel del mar, tipificado de acuerdo con la información utilizada para su captura, obtenidas a partir del levantamiento topográfico.
- **Vías:** Camino delimitado para el tráfico vehicular, animal o de personas, clasificadas de acuerdo a las características estructurales como el ancho de la vía y su estado, de acuerdo a la clasificación del catálogo de objetos del IGAC se establecen 7 tipos de vías.
- **Toponimia:** Nombre propio asignado a una entidad determinada derivado del arraigo cultural e histórico de los habitantes de la zona.
- **Predios:** Línea imaginaria que demarca los límites de la propiedad dentro en un territorio delimitado, obtenida a través del IGAC producto de la última actualización catastral.
- **Limite vial.** Constituye el borde de la vía y se define en las áreas urbanas de mapas a escala grande por borde de andén.
- **Pozo.** Excavación hecha en la tierra para la acumulación de agua.

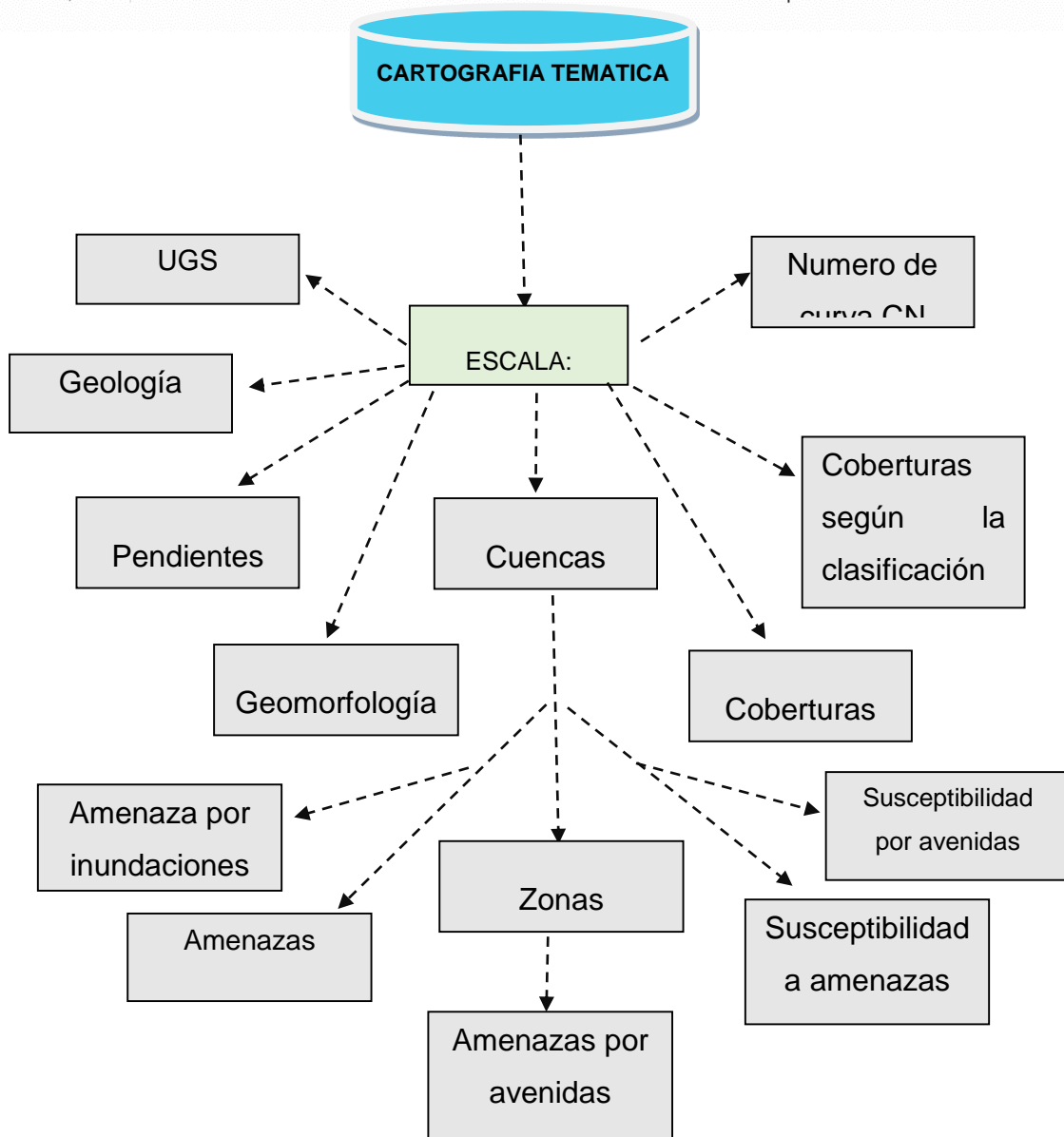


Figura 21. Esquema consolidación de información temática.

La consolidación de la cartografía temática se lleva a cabo en cada uno de los componentes del presente documento donde se describe a detalle la generación de los productos, su influencia y relación con los resultados finales que delimitan las áreas expuestas a las diferentes amenazas evaluadas en este estudio.



- **Consolidación modelo digital de terreno:** La consolidación de la información se realiza una vez el proceso se encuentre completo, posteriormente a ello se hace la respectiva verificación a través de métodos de validación teniendo en cuenta los siguientes criterios; Un análisis visual del modelo permitirá una evaluación global de la calidad del mismo, especialmente si se trata de un MDT con alta resolución. Puede compararse una visualización 3D del modelo con una fotografía (o directamente en el campo) y tratar de descubrir puntos erróneos. La visualización de mapas derivados (pendiente y orientación) resultan muy útiles para detectar errores atributivos en las curvas de nivel digitalizadas. Un mal etiquetado de una curva de nivel va a generar valores de pendiente anormalmente elevados que destacarán mucho en un análisis visual.

Posteriormente debe hacerse un análisis estadístico del MDT, por medio de un histograma de las elevaciones se pueden descubrir anomalías no detectables con la visualización.

### 3.2.2. Resultados.

Los resultados obtenidos radican en la generación del insumo base para la elaboración del estudio, definiendo los detalles cartográficos ajustados y organizados de acuerdo a la metodología expuesta con los contenidos técnicos que se requieren para la escala 1:2.000, cabe resaltar que la cartografía es un factor fundamental de análisis del territorio es por ello que se debe manejar la mayor rigurosidad técnica pues de ésta depende la correcta delimitación de las áreas, que con la aplicación de los demás estudios van a tener un tratamiento especial, y determinar la viabilidad de las actuaciones urbanísticas.



3.2.2.1. Fase 1. Recolección de información.

- **Información secundaria.** En el proceso de búsqueda y recolección de información secundaria con la colaboración de todos los actores involucrados mediante la gestión de datos se obtuvieron los siguientes productos.

Tabla 11. Relación de información secundaria.

Producto	Contenido	Entidad facilitadora
Cartografía plan de ordenamiento territorial 2020—2027 municipio de Pasto.	Geodatabase con todas las capas temáticas urbanas y rurales de diagnóstico y formulación del instrumento de planificación territorial. Escala 1:5.000	ALCALDIA DE PASTO.
Base cartográfica IGAC.	Información geográfica y catastral base que incluye elementos de terreno drenajes, construcciones, vías, en escala 1:25.000 y 1:5.000.	INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
Levantamiento topográfico formulación Plan parcial Aranda.	Cartera de puntos topográfica con intervalo promedio de 1 metro.	ALCALDIA DE PASTO
DEM de apoyo.	Modelo digital de elevación tipo Aster radar de 5 metros de resolución.	ALCALDIA DE PASTO
Levantamiento topográfico Policía metropolitana.	Delimitación del área de estudio y elementos de terreno con sus respectivas curvas de nivel con intervalo de 0,5 metros escala 1:1.000.	ALCALDIA DE PASTO





1. **Información primaria.** En la primera fase se logró la construcción de insumos base para la generación de cartografía a escala 1:2.000, el trabajo de campo se realizó rigurosamente y se identificaron los elementos de terreno correspondientes, así mismo se identificaron elementos los cuales no estaban registrados en la información preliminar, se corrigieron trazos y cursos de drenajes, se complementó información con topografía en campo. Se actualizó la información previamente obtenida y con ello se verificaron en conjunto con personal de la Policía Metropolitana todos los componentes que se encuentran en el área de estudio realizando la respectiva validación de datos.



Figura 22. Toma de registro fotográfico en campo.

#### 3.2.2.2. FASE 2. Procesamiento de la información.

- **Georeferenciación de la información.** Las capas temáticas se trabajaron bajo el sistema de referencia CTM12 emitido mediante resolución 471 de 2020 por el Instituto geográfico Agustín Codazzi, bajo los siguientes parámetros:

Sistema de referencia:



- a. Sistema de referencia horizontal: El marco geocéntrico nacional de referencia es MAGNA SIRGAS, establecido mediante resolución 068 de 2005, la proyección cartográfica será establecida en un único origen de coordenadas, con los siguientes parámetros:

Tabla 12. Parámetros sistema de referencia espacial.

Parámetro	Valor
Proyección	Transversa de Mercator
Elipsoide	GRS80
Origen: Latitud	4° N
Origen: Longitud	73° W
Falso: Este	5.000.000
Falso: Norte	2.000.000
Unidades	Metros
Factor de escala	0,992 metros.

- b. Sistema de referencia vertical. El sistema de referencia vertical será el que tiene origen en el mareógrafo de Buenaventura.

- **Organización de la información secundaria.** La información secundaria se organizó según su naturaleza y escala en formato shape file y en una geodatabase para su posterior procesamiento y continuidad, resultado de los procesos trabajados directamente en campo. Las capas temáticas a tener en cuenta fueron drenajes, vías, toponimia, curvas de nivel y predios.

- **Generación de información cartográfica en el software Arcgis V.10.5.** Para la generación de capas temáticas se realizaron diversos procesos de digitalización (generación de información en geometrías punto, polilínea, polígono), rectificación (Corrección de trazos), y ajuste (acople de todos los elementos) que permitieron pasar a la fase de consolidación como resultado final.



Tabla 13. Descripción de procesos.

No.	Elemento	Proceso	Escala
1	Drenajes	Digitalización, rectificación ajuste.	1:2000
2	Construcciones	Digitalización	1:2000
3	Curvas de nivel	Rectificación y ajuste	1:2000
4	Vías	Digitalización	1:2000
5	Limite vial	Digitalización	1:2000
6	Toponimia	Digitalización	1:2000
7	Predios	Ajuste	1:2000
8	Pozo	Digitalización	1:2000
9	Numero de curva CN	Digitalización y/o ajuste	1:2000
10	Coberturas para la clasificación del coeficiente de Manning	Digitalización y/o ajuste	1:2000
11	Coberturas CORINE	Digitalización y/o ajuste	1:2000
12	Cuencas Hidrográficas	Digitalización y/o ajuste	1:2000
13	Geomorfología	Digitalización y/o ajuste	1:2000
14	Pendientes	Digitalización y/o ajuste	1:2000
15	UGS	Digitalización y/o ajuste	1:2000
16	Geología	Digitalización y/o ajuste	1:2000
17	Zonas Homogéneas	Digitalización y/o ajuste	1:2000
18	Susceptibilidad a amenazas por F.R.M	Digitalización y/o ajuste	1:2000
19	Amenazas por F.R.M	Digitalización y/o ajuste	1:2000
20	Susceptibilidad por inundaciones	Modelación y/o ajuste	1:2000
21	Amenaza por inundaciones	Modelación y/o ajuste	1:2000
22	Susceptibilidad por avenidas torrenciales	Modelación y/o ajuste	1:2000
23	Amenaza por avenidas torrenciales	Modelación y/o ajuste	1:2000

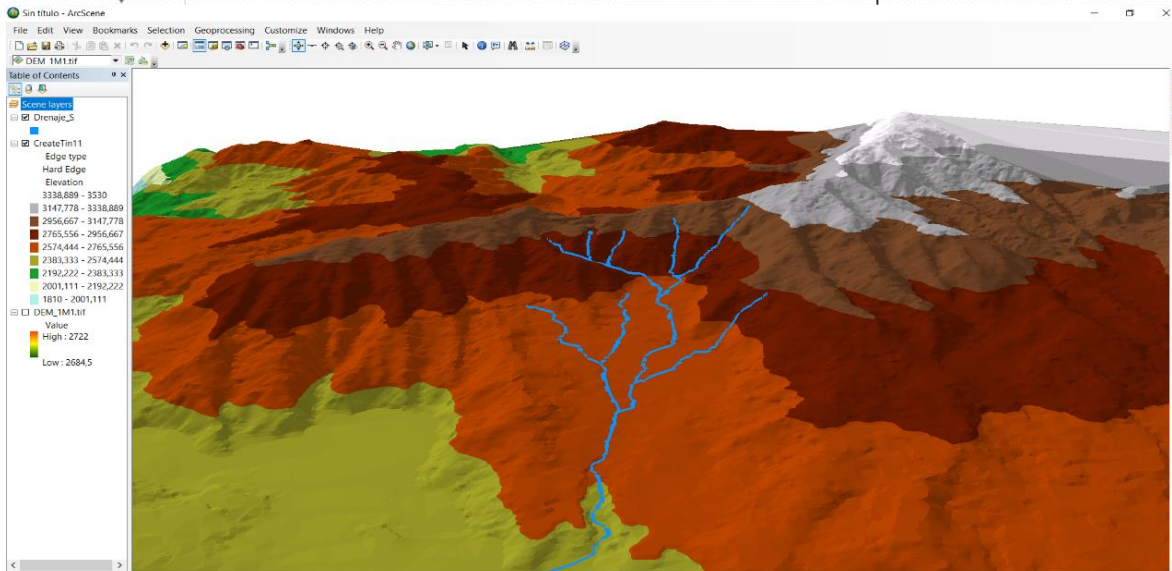


Figura 23. Procesamiento de información en software Arcgis 10.5.

**- Construcción modelo digital de elevación y terreno. (Escala 1:2.000).**

Se realizó el modelo digital de elevación de 1 metro de resolución ajustado al sistema de coordenadas MAGNA SIRGAS COLOMBIA OESTE y con corrección de errores y vacíos.

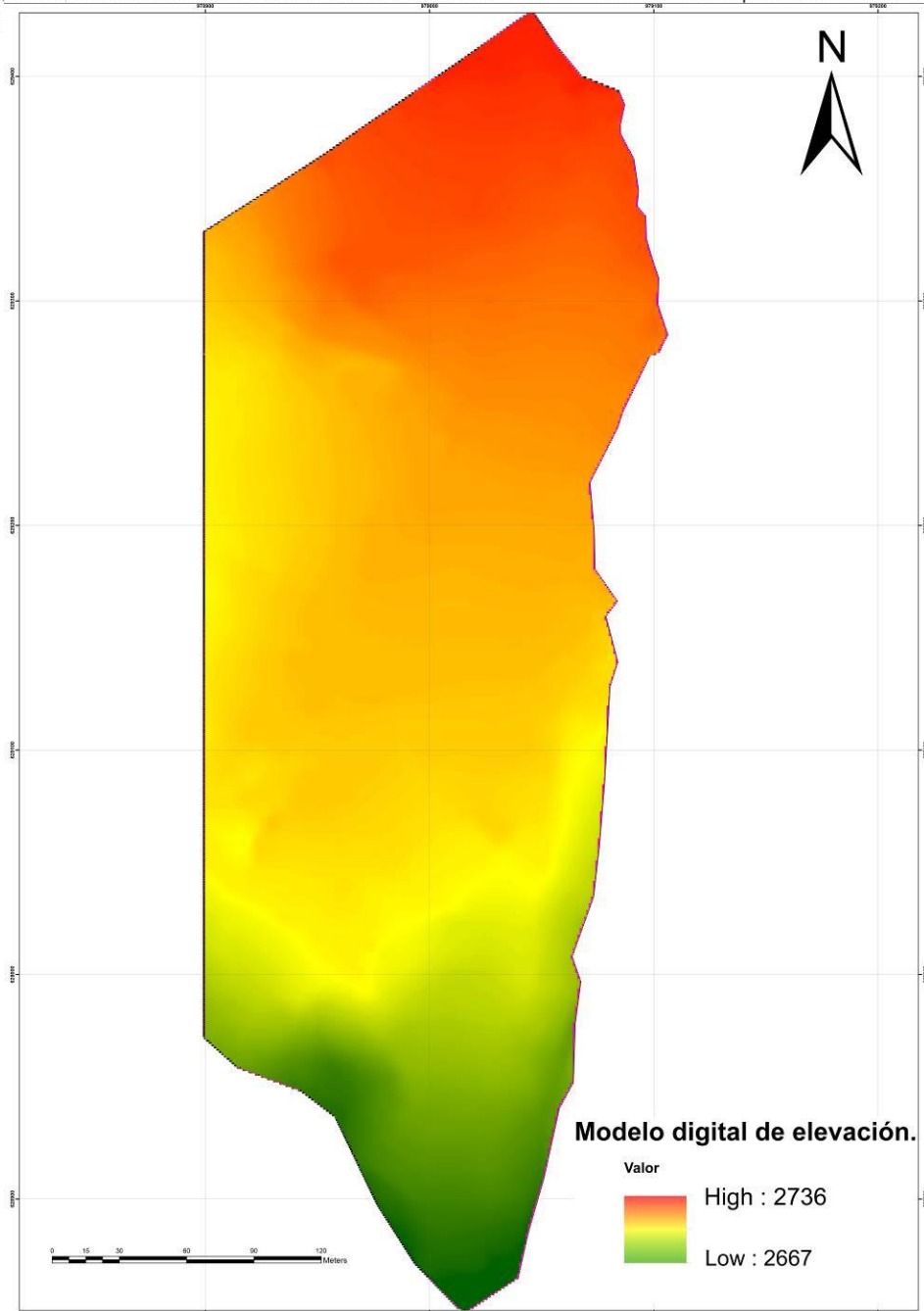


Figura 24. Modelo digital de elevación.

Para la construcción del MDT de 1 metro de resolución se generaron en primera instancia, el filtro de la nube de puntos a través de parámetros de terreno,



únicamente se tuvo en cuenta aquellos puntos donde se representa exclusivamente el suelo natural es decir sin vegetación ni infraestructura, la selección se hace a través de los atributos, los cuales fueron previamente diligenciados con la geo referencia del lugar y las cotas respectivas de altura en el programa Arcmap.

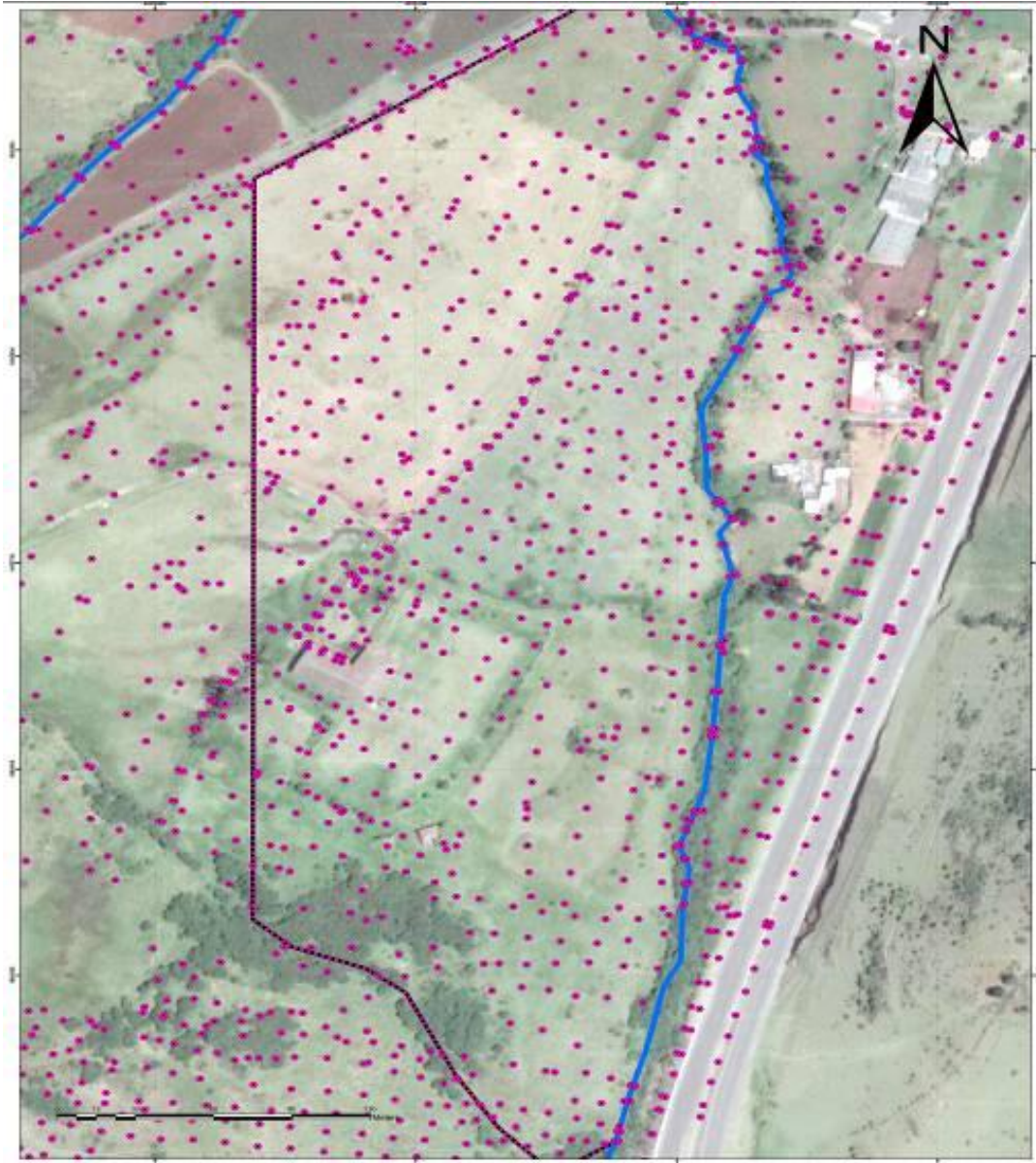


Figura 25. Procesamiento de la imagen en Arcgis.

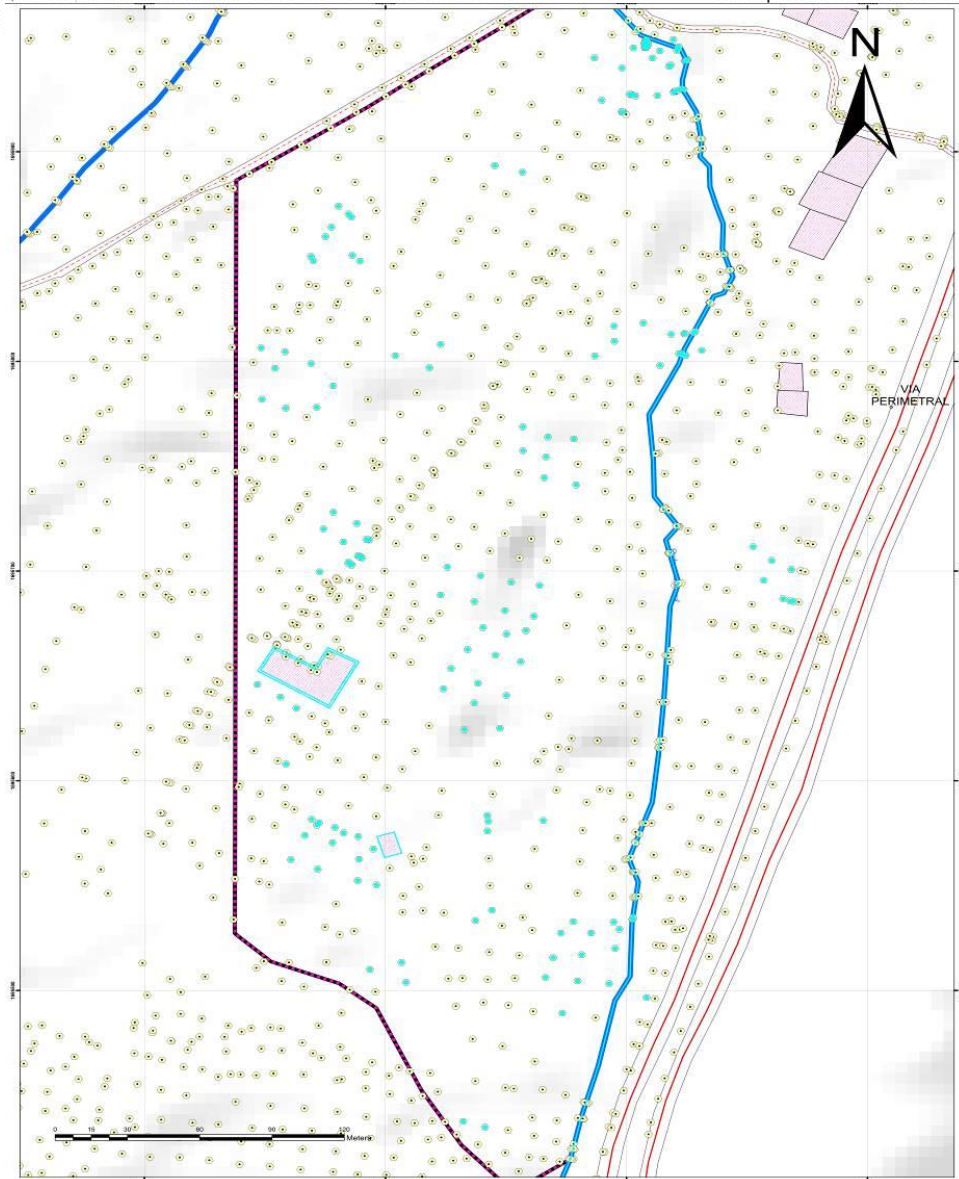


Figura 26. Filtro de la nube de puntos.

Después de realizar el filtro de la nube de puntos se procedió a la creación del TIN el cual es una forma de datos geográficos digitales basado en vectores y se construye mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos). Los vértices están conectados con una serie de aristas para formar una red de triángulos. Existen



diversos métodos de interpolación para formar estos triángulos, como la triangulación de Delaunay o el orden de distancias. ArcGIS (software trabajado) es compatible con el método de triangulación de Delaunay. (ESRI, 2020).

La triangulación resultante cumple el criterio de triángulo de Delaunay, que afirma que la circunferencia circunscrita de cada triángulo de la red no debe contener ningún vértice de otro triángulo. Si se cumple el criterio de Delaunay en todo el TIN, se maximizará el ángulo interior mínimo de todos los triángulos.

Las aristas de los TIN forman facetas triangulares contiguas y no superpuestas que se pueden utilizar para capturar la posición de entidades lineales que juegan un papel importante en una superficie, como cadenas montañosas o arroyos. Todo el proceso se lo realizó en Arc map a través de las herramientas de 3d análisis tools y se trasladó a ArcScene con el fin de detectar errores en la información.

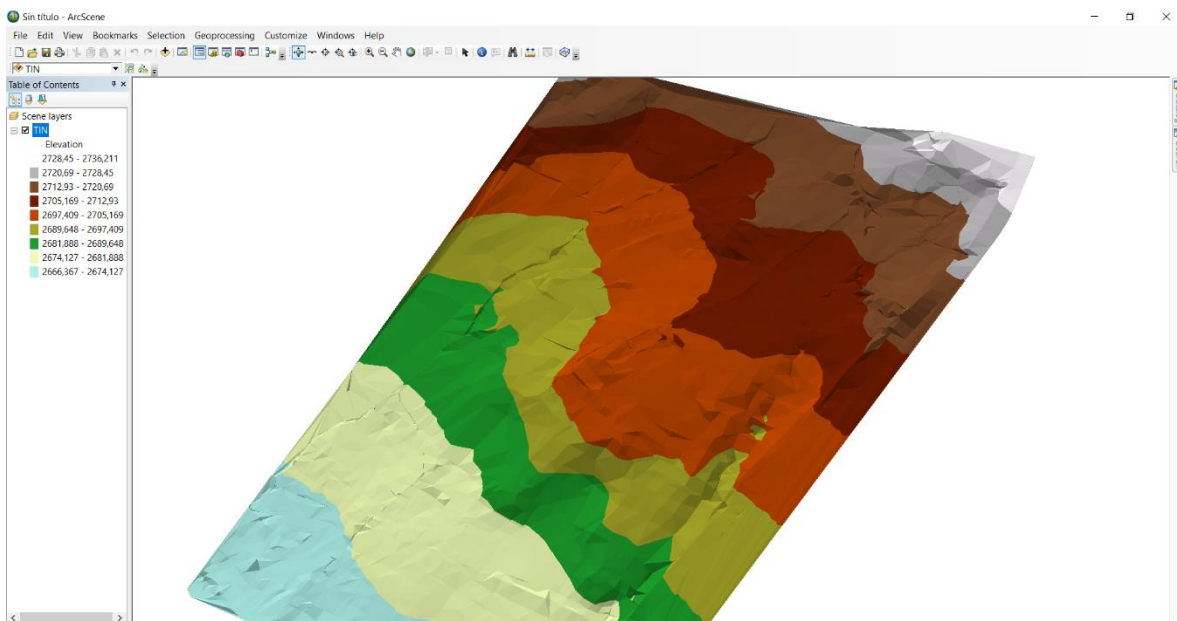


Figura 27. TIN en ArcScene.





Una vez consolidado el TIN se procede a generar el MDT a través de Arcmap, de TIN a ráster se convierte una red irregular de triángulos (TIN) en un ráster mediante la interpolación. A cada celda en la salida se le asigna una altura o un valor *No Data* según si el centro de la celda cae dentro de la zona de interpolación del TIN o no.

El Método determina la interpolación utilizada, ésta puede ser LINEAR o NATURAL\_NEIGHBORS. La interpolación LINEAR visualiza los triángulos del TIN como planos. A cada celda de salida se le asigna una altura cuando se determina en qué triángulo, en espacio 2D, se encuentra y cada una evalúa la posición del centro de la celda en relación con el plano del triángulo. Interpolación NATURAL\_NEIGHBORS produce un resultado más suave que la LINEAR, utiliza un esquema de ponderación basado en área sobre los nodos TIN más cercanos que se encuentran en todas las direcciones alrededor de cada centro de la celda de salida. En la interpolación LINEAR las líneas de corte gruesas en el TIN influirán en el resultado mientras que la superficie NATURAL\_NEIGHBORS es continuamente suave a lo largo de ellas.

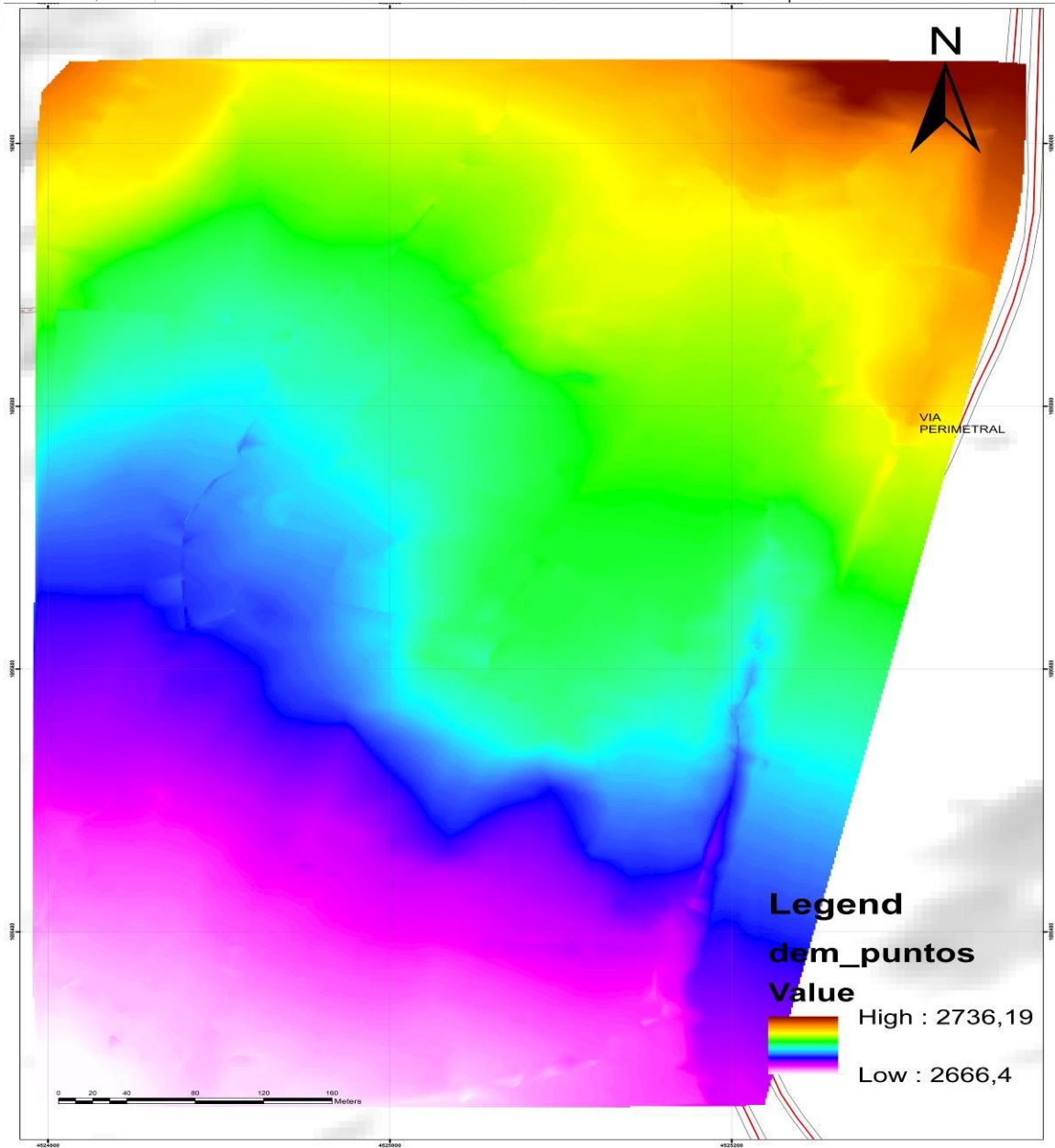


Figura 28. Proceso en Arcmap

### 3.2.2.3. FASE 3. Consolidación de la información.

- **Creación del modelo de datos en formato shape file y en una Geodatabase.** Se consolidó la información en una carpeta que contiene los resultados



cartográficos del proyecto, en ella se encuentra la información en formato SHP y una file geodatabase en donde se agrupan y conectan todas las capas del proyecto, así mismo se organizó las salidas gráficas en formato PDF y JPG, con su respectiva información la cual corresponde a la elaboración misma del insumo (METADATOS), siguiendo los lineamientos brindados por la Alcaldía municipal de Pasto y la Corporación Autónoma Regional De Nariño CORPONARIÑO.

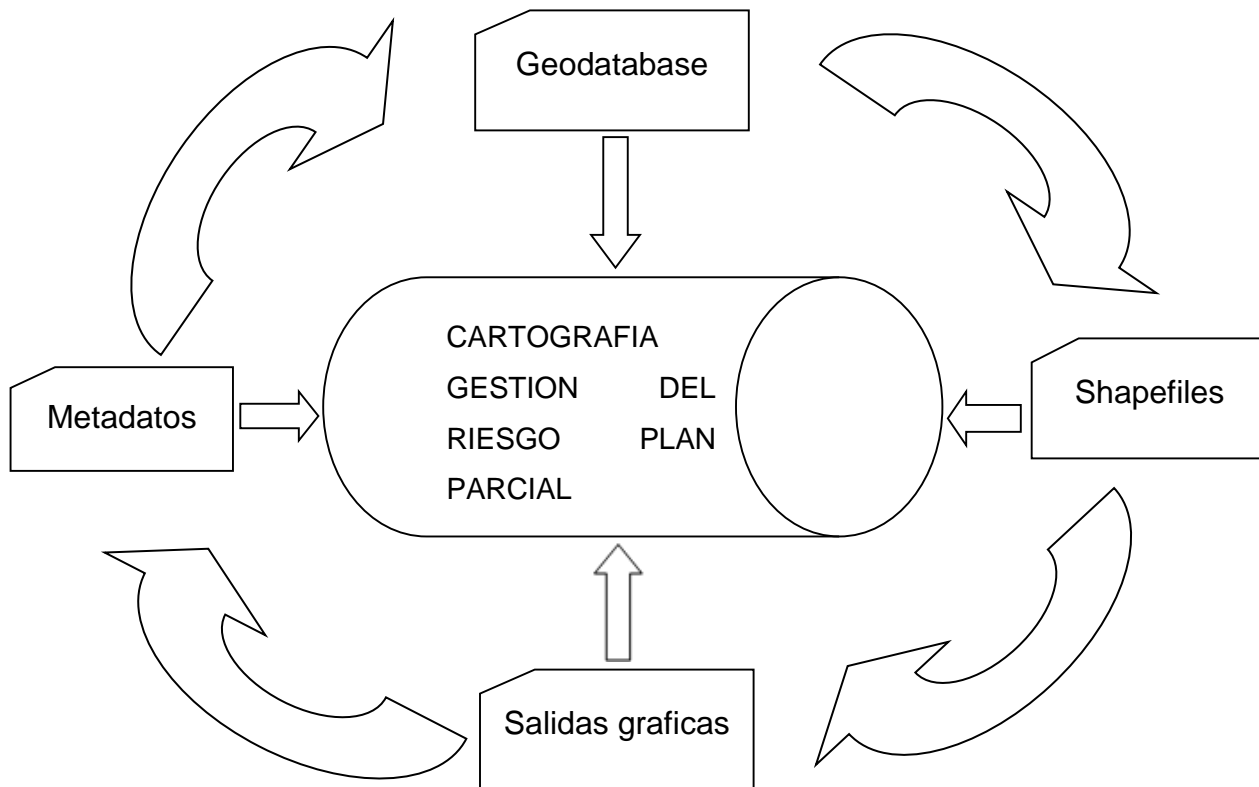


Figura 29. Diagrama de consolidación.

- **Adaptación de los resultados obtenidos al catálogo de objetos.** Una vez culminadas las fases preliminares se procede a unificar toda la información y generar un solo producto cartográfico denominado mapa base, siguiendo los lineamientos expuestos en las especificaciones técnicas para la elaboración de



cartografía básica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:2.000, el cual en adelante será el insumo inicial para la generación de productos de los demás componentes. En este sentido se hace la relación sobre los resultados obtenidos de acuerdo a la Tabla 14.

Tabla 14. Elementos consolidados.

No.	Elemento	Extensión	Contenido	Escala	Extensión	Formato salida grafica
1	Drenajes	MXD	Delimitación de drenajes.	1:2.000	SHP	PDF
2	Construcciones	MXD	Delimitación de áreas construidas.	1:2.000	SHP	PDF
3	Curvas de nivel	MXD	Delimitación de líneas de elevación.	1:2.000	SHP	PDF
4	Vías	MXD	Delimitación de ejes viales.	1:2.000	SHP	PDF
5	Limite vial	MXD	Delimitación de bordes de vía.	1:2.000	SHP	PDF
6	Toponimia	MXD	Identificación de sitios de referencia	1:2.000	SHP	PDF
7	Predios	MXD	Delimitación de predios.	1:2.000	SHP	PDF
8	Pozo	MXD	Identificación de pozos.	1:2.000	SHP	PDF
9	Numero de curva CN	MXD	Numero de curva con la clasificación del SCS	1,430555556	SHP	PDF
10	Coberturas para la clasificación del coeficiente de Manning	MXD	Coberturas para la clasificación del coeficiente de Manning	1:2.000	SHP	PDF
11	Coberturas CORINE	MXD	Clasificación de coberturas con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia	1:2.000	SHP	PDF
12	Cuencas Hidrográficas	MXD	Delimitación de cuencas en el área de estudio.	1:2.000-1:5.000	SHP	PDF
13	Geomorfología	MXD	Delimitación de las geoformas en el área de estudio.	1:2.000-1:5.000	SHP	PDF
14	Pendientes	MXD	Clasificación de las pendientes de acuerdo al servicio geológico Colombiano	1:2.000	SHP	PDF
15	UGS	MXD	Delimitación de las unidades geológicas superficiales de acuerdo al S.G.C	1:2.000	SHP	PDF
16	Geología	MXD	Delimitación de las unidades geológicas en el área de estudio de acuerdo al S.G.C	1:2.000	SHP	PDF
17	Zonas Homogéneas	MXD	Delimitación de zonas Homogéneas	1:2.000	SHP	PDF
18	Susceptibilidad a amenazas por F.R.M	MXD	Delimitación de zonas susceptibles a amenazas	1:2.000	SHP	PDF
19	Amenazas por F.R.M	MXD	Determinación de la amenaza en el área de estudio	1:2.000	SHP	PDF
20	Amenaza por inundaciones	MXD	Determinación de la amenaza en el área de estudio	1:2.001	SHP	PDF
21	Susceptibilidad por avenidas torrenciales	MXD	Delimitación de zonas susceptibles a amenazas	1:2.002	SHP	PDF
22	Amenaza por avenidas torrenciales	MXD	Determinación de la amenaza en el área de estudio	1:2.003	SHP	PDF



**PASTO**  
**LA GRAN CAPITAL**  
ALCALDÍA MUNICIPAL

SECRETARÍA  
DE PLANEACIÓN

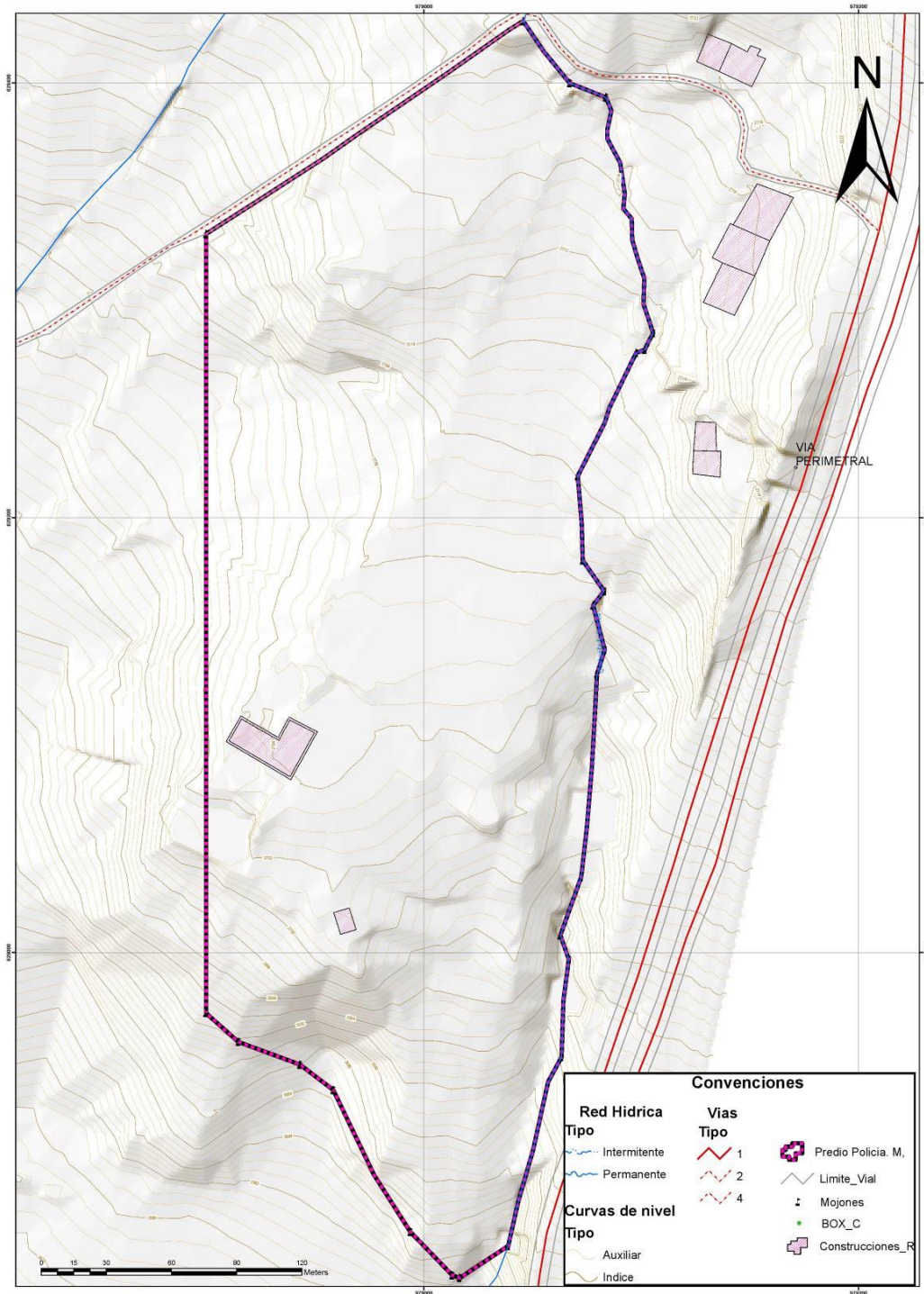


Figura 30. Mapa Base.



- **Consolidación del modelo digital de terreno 1 metro de resolución.** Una vez consolidado el modelo digital de terreno se procede a hacer la verificación del mismo y corregir los posibles errores que se produjeran durante el proceso, a través de las herramientas de Arcmap y se verifica que no haya valores “No data” en el raster, a continuación, se comprueba el histograma de elevaciones encontrándose que no hay irregularidades.

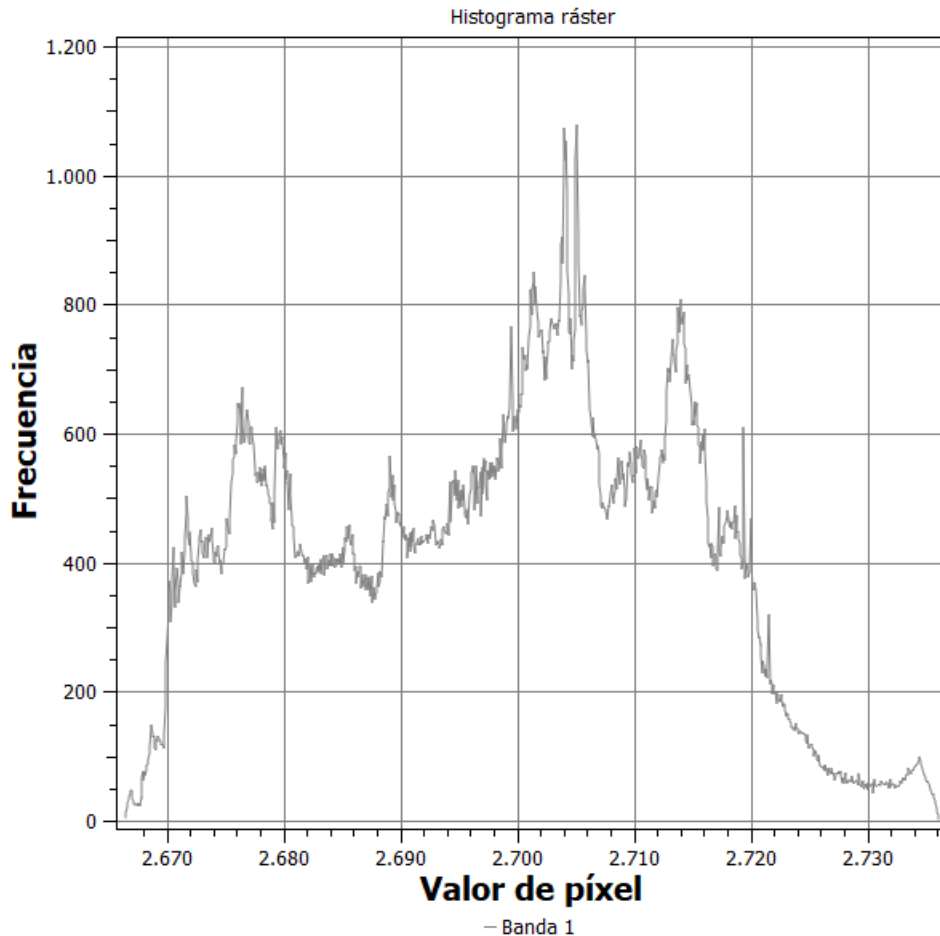


Figura 31. Histograma de elevaciones.

En el gráfico se puede comprobar que el MDT es regular, entre las alturas máximas y mínimas hay 60 metros de diferencia, la mayor frecuencia se presenta entre los



2700 y 2710 metros de altura además se visualiza que el tamaño del pixel es acorde a la escala es decir 1: 2.000.

### 3.3. Geología local

Los trabajos de exploración geofísica y los recorridos realizados por los especialistas a la zona de estudio, permitieron detallar las características litológicas, geomorfológicas, morfodinámicas y estructurales de la zona.

#### 3.3.1. Unidades Geológicas

En la zona se definieron dos unidades geológicas, Depósitos de piroclastos y Depósitos de vertiente, los cuales se presentan en el mapa geológico y se describen a continuación, donde es notoria la ausencia de depósitos de origen aluvial.

#### **Depósitos de piroclastos (Qpc)**

Esta es la unidad de mayor extensión en la zona de estudio, son cuerpos de materiales originados por la actividad Cuaternaria del Volcán Morasurco, clasificados por Duque (2004) como Cobertura Piroclástica Cuaternaria (Qp) y su origen está asociado a proceso de Caída (lluvia de cenizas) o de flujo y su diferenciación se realizará con base en su morfología.

#### **Depósitos de vertiente (Qvt)**

El origen de estos depósitos está asociado a la ocurrencia de eventos de inestabilidad de gran escala, ocurridos en tiempo geológico, generados en la Zona de Cordillera y están en el sector norte del área de estudio.

La composición de los depósitos está controlada por los materiales fuente donde se originó el proceso y la dinámica del movimiento, por lo que tiene una composición





heterogénea y dada su morfología de bajo relieve se tiene poca exposición en superficie, de los materiales que conforman unidad.

El origen de este cuerpo está asociado a la ocurrencia de deslizamientos a los cuales no es posible determinar los detonantes ni su época de ocurrencia, siendo estos procesos clasificados como deslizamientos relictos, de acuerdo a lo definido por Suarez (2009) quien define estos procesos como aquellos ocurridos en tiempo geológico (miles de años), lo cual tiene influencia sobre el origen de las geoformas de la zona, mas no tiene ninguna implicación sobre procesos de estabilidad actual de las vertientes o genera amenaza por inestabilidad de vertientes.

### 3.3.2. Geología Estructural

Estructuralmente esta zona de los Andes Colombianos es de gran complejidad, dada la afectación generada por fallas de importancia regional como lo son:

Falla de Romeral: Este sistema de fallas es uno de los más activos y de mayor tamaño en Colombia. Se extiende desde el Golfo de Guayaquil en Ecuador hasta Barranquilla, con longitud de 1700 km; En la zona de estudio la Falla Romeral es la más occidental de las aquí mencionadas y tiene como característica importante, que pasa por el volcán Galeras y está cubierto por los diferentes productos de la actividad de éste.

Falla Aranda: Esta Falla pertenece al sistema de fallas de Romeral, fue definida por Tibaldi y Romero (2000), es una estructura de 13 km de longitud, con disposición general SW-NE, con actividad en el Holoceno, que se extiende desde el Noreste de Pasto, sector de Aranda, hasta unos kilómetros antes de Villa Moreno, pasando por el costado sur del Volcán Morasurco. Adicionalmente Tibaldi y Romero (2000), señalan la presencia de algunos deslizamientos en el tramo sur de la Falla, en



cercanías del Sector Aranda, limitándose a señalar que es algo interesante mas no estableciendo una relación directa.

Falla Buesaco: Esta falla pertenece al sistema de fallas de Romeral, Murcia y Cepeda (1991) se extiende al suroeste y noreste del Volcán Galeras, con dirección general Noreste, con una longitud aproximada de 29 km desde el Volcán Galeras hasta el norte de la población de Buesaco.

Falla Pasto: Murcia y Cepeda (1984), trazan esta falla al sur de Pasto, como una estructura con orientación general Suroccidente Noroeste, que se extiende desde la caldera San Vicente en el Sur y continuando al norte de San Ignacio, por más de 50 km. Los mencionados autores no hacen referencia al tipo de desplazamiento y sugieren que algunos deslizamientos y agrietamientos que ocurren al sur del río Teguá, podrían estar relacionados con la actividad de la Falla.

Las unidades geológicas presentes en la zona de estudio son de edad reciente, depósitos de piroclastos y de vertiente de edad reciente (Cuaternario) y Flujos de lava de Lava del Morasurco de edad terciario (fuera del polígono final de estudio) (Duque, 2004).

Los depósitos cuaternarios no presentan afectación estructural, por diaclasas, fallas o pliegues, ya que no han sido sometidas a los esfuerzos masivos que se requieren para desarrollar estas estructuras y que son generados en eventos tectónicos complejos y de gran energía.

Los Flujos de Lava del Cerro Morasurco son rocas masivas, que presentan fracturamiento, en el área de estudio no se encuentran macizos rocosos, sin embargo, en cercanías a este sólo se definió un sitio, un corte antrópico en la reserva Janacatú, donde fue levantada la información estructural descrita en la Estación Geológica E-2-1.



### 3.3.3. Unidades de Geología para Ingeniería (UGI)

Las amenazas naturales, cumple un papel determinante en los procesos de predicción de fenómenos de remoción en masa, Por tanto, la misma es uno de los principales determinantes a evaluar de manera concreta y exacta en la zona de estudio.

Para cada una de las unidades geológicas, se realizó su caracterización geológica detallada en la zona de estudio a partir de las cuales se definen las unidades geológicas para ingeniería UGI, obteniendo las UGI que se presentan en la tabla siguiente, las cuales conservan relación directa con cada unidad geológica superficial.

Tabla 15. Unidades geológicas para Ingeniería área de estudio. Plan Parcial Aranda en el Municipio de Pasto.

<b>UNIDADES GEOLOGICAS PARA INGENIERIA</b>		
<b>ORIGEN DE LA UGI</b>	<b>TIPO DE UGI</b>	<b>NOMENCLATURA</b>
Depósitos de vertiente	Derrubios de pendiente	Qvt
Depósitos volcánicos	Depósitos de piroclastos	Qpc

Como se mencionó en el capítulo del marco metodológico del estudio, el análisis de susceptibilidad de la variable geología se obtuvo mediante la ponderación de la resistencia – fracturamiento – niveles de meteorización, con el fin de obtener unidades de ingeniería geológicamente similares, la asignación de pesos por cada variable se presenta en la siguiente imagen.

- **Resistencia**

En términos cualitativos, la resistencia de la roca, corresponde a la respuesta a la compresión, al impacto y a la penetración por otro cuerpo, como función directa de procesos diagenéticos determinantes en la composición química y mineralógica de



los materiales, estructura y textura de la roca, determinantes a la acción de los agentes de transformación y cambios en las cualidades de resistencia.

Ahora bien, en el caso de los depósitos o unidades de suelo (SGC, 2015), estos presentan unas características de resistencia a la compresión completamente diferente; característica que varía de acuerdo con la gradación de los materiales, tipo de matriz, presencia de poros, grado de saturación y grado de consolidación. De ahí la baja resistencia de este tipo de materiales, con valores que no superan los 10 Mpa (Hoek, 1996)

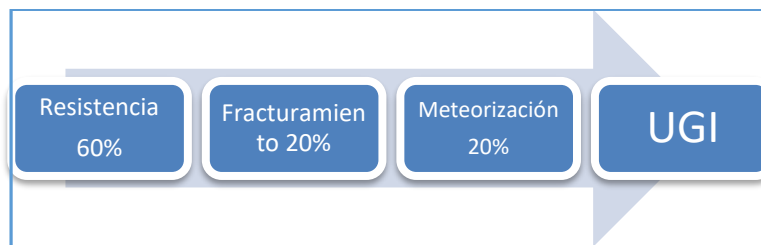


Figura 32. Variables de la Unidad Geológica para Ingeniería – UGI. Fuente: IAEG (1981), modificado por CIDETER, 2017 para Plan Parcial Aranda.

En el caso de los suelos tanto residuales como transportados, la resistencia está en función de la micro-fábrica y composición mineralógica. El primer aspecto se relaciona directamente con la orientación de las partículas y que inciden directamente en la porosidad de las arcillas y el segundo aspecto está en estrecha concordancia con el tipo de alteración, reacción química y la presencia de microfisuras, que determinan condiciones de mayor o menor grado de colapsabilidad.



Tabla 16. Índices de campo de resistencia basados. Fuente: SGC, 2015, González de Vallejo, 2002, adaptado por CIDETER, 2017 para Plan Parcial Aranda.

<b>CLASIFICACIÓN</b>	
<b>TÉRMINO</b>	<b>GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD</b>
Roca extremadamente blanda	Muy alta
Roca muy blanda	Alta
Roca blanda	
Roca moderada-mente dura	Media
Roca dura	Baja
Roca muy dura	Muy baja
Roca extremadamente dura	



Tabla 17. Resultados exploración indirecta. Fuente: Adoptados por CIDETER, 2017, para Plan Parcial Aranda.

PARAMETROS ELASTOMECÁNICOS LINEA AP - 01										
Capa	VeLocidades		Espesor (m)	Modulo de Poison	Modulo de Elasticidad Kg/m2	Modulo de onda P (Kpa)	Densidad g/cm3	Modulo Cortante (Kpa)	G max (Ton/m2)	Formacion /Litologia
	vP (m/s)	vS (m/s)								
1	400	213.8	2.23	0.30	3,200.0	240,000.0	1.50	178,285.71	6,992.34	Suelo
2	500	296.1	12.38	0.23	5,000.0	475,000.0	1.90	409,733.77	16,984.23	Depósitos tipo lluvia de cenizas (Qpc-1)
3	1,000	605.9	>10	0.21	20,000.0	2,500,000.0	2.50	2,220,886.08	93,581.51	Depósitos tipo flujo de cenizas (Qpc-2)
PARAMETROS ELASTOMECÁNICOS LINEA AP - 02										
Capa	VeLocidades		Espesor (m)	Modulo de Poison	Modulo de Elasticidad Kg/m2	Modulo de onda P (Kpa)	Densidad g/cm3	Modulo Cortante (Kpa)	G max (Ton/m2)	Formacion /Litologia
	vP (m/s)	vS (m/s)								
1	200	106.9	2.12	0.30	800.0	60,000.0	1.5	44,571.4	1,748.1	Suelo
2	1,600	999.5	>10	0.18	51,200.0	6,400,000.0	2.5	5,894,243.9	254,680.2	Depósitos tipo flujo de cenizas (Qpc-2)
PARAMETROS ELASTOMECÁNICOS LINEA AP - 03										
Capa	VeLocidades		Espesor (m)	Modulo de Poison	Modulo de Elasticidad Kg/m2	Modulo de onda P (Kpa)	Densidad g/cm3	Modulo Cortante (Kpa)	G max (Ton/m2)	Formacion /Litologia
	vP (m/s)	vS (m/s)								
1	300	173.2	2.01	0.25	1,800.0	135,000.0	1.5	112,500.0	4,588.7	Suelo
2	1,400	857.3	10.04	0.20	39,200.0	3,724,000.0	1.9	3,351,600.0	142,403.3	Depósitos tipo lluvia de cenizas (Qpc-1)
3	1,600	999.5	>10	0.18	51,200.0	6,400,000.0	2.5	5,894,243.9	254,680.2	Depósitos tipo flujo de cenizas (Qpc-2)
PARAMETROS ELASTOMECÁNICOS LINEA AP - 04										
Capa	VeLocidades		Espesor (m)	Modulo de Poison	Modulo de Elasticidad Kg/m2	Modulo de onda P (Kpa)	Densidad g/cm3	Modulo Cortante (Kpa)	G max (Ton/m2)	Formacion /Litologia
	vP (m/s)	vS (m/s)								
1	600	346.4	1.81	0.25	7,200.0	468,000.0	1.30	390,000.00	15,907.57	Suelo
2	1,500	918.6	13.67	0.20	45,000.0	4,725,000.0	2.10	4,252,500.00	180,680.88	Depósitos de vertiente (Qvt)
3	1,600	979.8	>10	0.20	51,200.0	5,632,000.0	2.20	5,068,800.00	215,363.96	Depósitos tipo flujo de cenizas (Qpc-2)
PARAMETROS ELASTOMECÁNICOS LINEA AP - 05										
Capa	VeLocidades		Espesor (m)	Modulo de Poison	Modulo de Elasticidad Kg/m2	Modulo de onda P (Kpa)	Densidad g/cm3	Modulo Cortante (Kpa)	G max (Ton/m2)	Formacion /Litologia
	vP (m/s)	vS (m/s)								
1	100	57.7	1.52	0.25	200.0	15,000.0	1.50	12,500.00	509.86	Suelo
2	1,500	918.6	>10	0.20	45,000.0	5,625,000.0	2.50	5,062,500.00	215,096.29	Depósitos tipo flujo de cenizas (Qpc-2)

De estos resultados se observa que existen variaciones de depósitos de suelos blandos con velocidades de ondas de corte inferiores a 750 m/s en la unidad Depósitos de piroclastos, con variaciones en profundidad de 2 a 10 metros, luego de los cuales se identifican materiales con velocidades superiores a los 750 m/s, los cuales son a semejables a roca.

Mientras que la unidad de Depósitos de Vertientes cuenta con suelos blandos a profundidades cercanas a los 2 metros, luego de los cuáles se pueden encontrar materiales con mayor dureza con velocidades de ondas de corte superiores a los 750 m/s.



- **Fracturamiento**

Otro de los parámetros importantes en la variación de la resistencia de los macizos rocosos, es la presencia de discontinuidades; debido a la presencia de planos preferentes de meteorización, de fracturamiento y además favorecen el flujo de agua. La orientación de las fracturas y discontinuidades son determinantes en la estabilidad de un macizo, haciendo que éstos sean más deformables y débiles. Hoek & Brown (en González de Vallejo, 2002) en las tablas de campo se permiten estimar la resistencia de los macizos a nivel de afloramiento (siguiente tabla).

Cabe anotar que, para el proyecto de estudio, debido a que en el área del mismo no se encuentran afloramientos rocosos, dado que la totalidad de la superficie cuenta con depósitos del periodo cuaternario, la variable de fracturamiento no ha sido contemplada.

Tabla 18. Clasificación de la variable fracturamiento. Fuente: SGC, 2015. Adoptados por CIDETER, 2017

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>FRACTURAS F/M/L</b>	<b>ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS (M)</b>	<b>GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD</b>
Masiva	<2	>2.00	Muy alta
Poco Fractura	2 - 5	0,6 – 2,0	Alta
Moderadamente fracturada	6 – 10	0,2 – 0,6	Moderada
Muy Fracturada	11 - 20	0,06 – 0,20	Baja
Fragmentada	20	0,06	Muy baja

- **Meteorización**

Considerando el programa de exploración del subsuelo, contrastado con la cobertura del suelo, se consideró un espesor de suelo de las formaciones cartografiadas, producto de la acumulación y/o meteorización de las mismas.



Tabla 19. Índices de campo de resistencia basados. Fuente: SGC, 2015, González de Vallejo, 2002, adaptado por CIDETER, 2017

<b>CLASIFICACIÓN</b>	
<b>ESPESOR DE SUELO (m)</b>	<b>GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD</b>
< 0,25	Muy alta
0,25 - 0,5	Alta
0,5 - 1,0	Media
1,0 - 1,5	Baja
> 1,5	Muy baja

De acuerdo con la aplicación secuencial de la metodología AHP basado en el criterio de los expertos, se obtuvo la siguiente matriz de ponderación de la tabla. Las unidades geológicas para ingeniería que, obtenidas, evidencian los distintos grados de comportamiento de los materiales, en correlación con el espesor del suelo residual en las formaciones rocosas cartografiadas y respuesta geotécnica de los materiales.





Tabla 20. UGI Plan Parcial Metropolitana. Fuente Plan Parcial Aranda

UGI	NOMENCLATURA SGC, 2016	RESISTENCIA	ESPESOR DE SUELO	VECTOR DE PONDERACION	CARACTERISTICAS
Qvt	Stca	0.24	0.28	0.26	<p>Esta unidad se encuentra presente hacia el costado oriental de la zona de estudio, donde geomorfológicamente se encuentran zonas de llanura de depósito de vertiente y superficies antrópicas con pendientes predominantemente planas suaves; corresponde a depósitos de suelo con baja susceptibilidad a presentar procesos de remoción en masa dada su baja pendiente.</p> <p>En la descripción de la campaña de exploración geofísica se puede observar que esta unidad cuenta con suelos blandos a profundidades cercanas a los 2 metros, luego de los cuáles se pueden encontrar materiales con mayor dureza con velocidades de ondas de corte superiores a los 750 m/s.</p>
Qpc	Stcba	0.24	0.26	0.25	<p>Esta unidad se encuentra presente en la zona central del área de estudio, donde geomorfológicamente se encuentran zonas de llanuras en depósitos piroclásticos ; con pendientes predominantemente planas suaves y en algunos sectores (zona central norte del área de estudio) llegando a ser muy escarpadas en la cual se identificaron procesos de remoción en masa puntuales, de carácter local, correspondientes a cárcavas en taludes generados por la actividad antrópica en zonas de alta pendiente que carecen de cobertura vegetal.</p> <p>Esta unidad corresponde a depósitos de suelos con susceptibilidad media a alta de presentar procesos de remoción en masa, dado los niveles de pendientes moderadas a altas en los cuales se encuentran dispuestos, a sus espesores y grado de meteorización media a alta.</p> <p>En la descripción de la campaña de exploración geofísica se puede observar que en esta unidad existen variaciones de depósitos de suelos blandos con velocidades de ondas de corte inferiores a 750 m/s con variaciones en profundidad de 2 a 10 metros, luego de los cuales se identifican materiales con velocidades superiores a los 750 m/s, los cuales son semejables a roca. Los parámetros de resistencia específicos de diseño.</p>

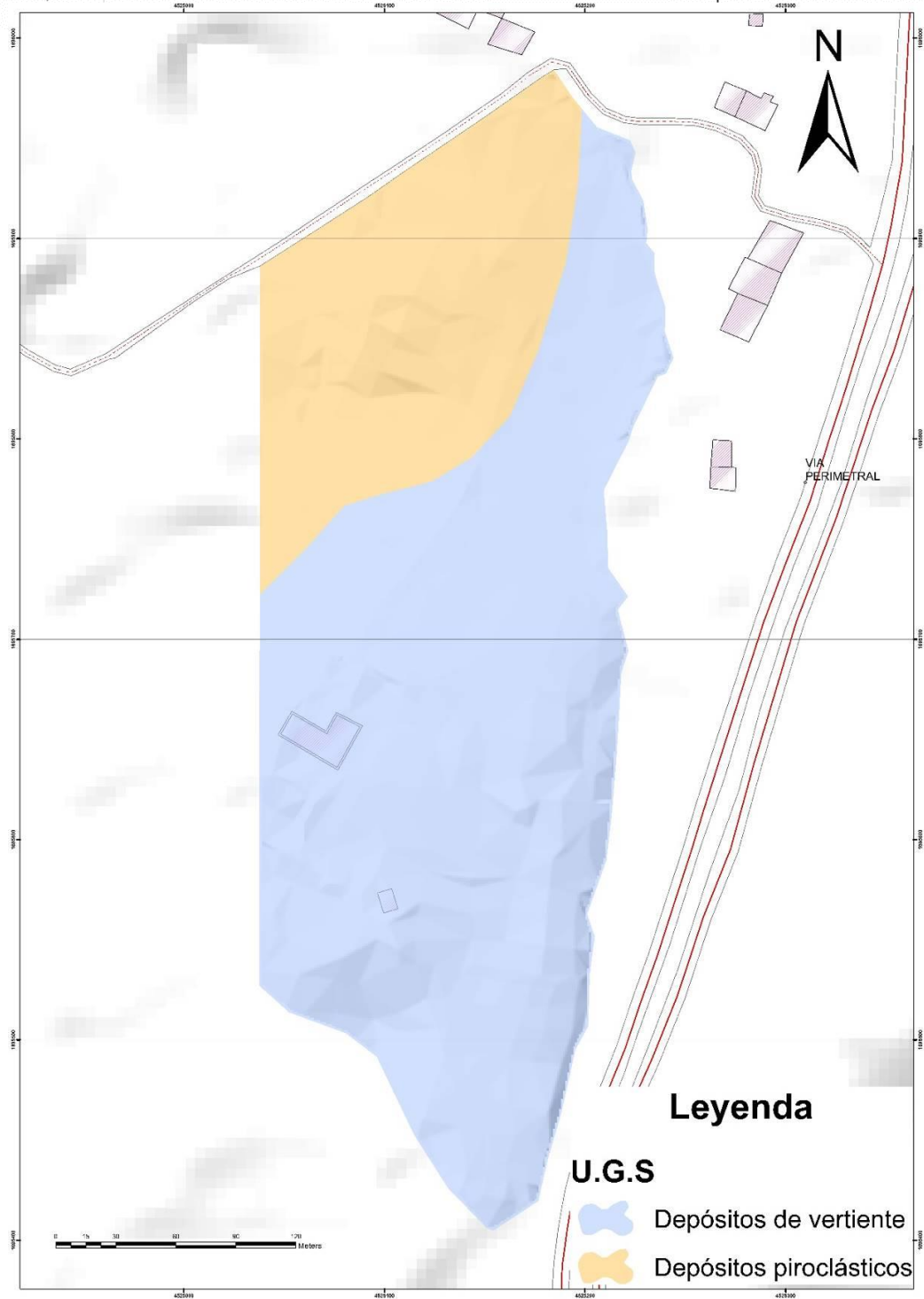


Figura 33. Mapa de Geología para ingeniería.



### 3.4. Geomorfología a nivel de elementos geomorfológicos

La zona de estudio corresponde a un valle amplio elevado sobre el Valle de Atriz y que tiene un relieve con tendencia de flujo de norte a sur, opuesta al mencionado valle por eso se considera que esta zona es una subunidad claramente diferenciable dentro del Altiplano Nariñense y se denominará Valle de Aranda.

Los límites del área corresponden al limitado al este y al norte por vertientes altas de la Zona Cordillerana o Cordillera y se encuentran fuera del área en estudio, y al oeste por una colina o saliente alargada que proviene de la Cordillera y al sur por el río Pasto.

También se debe notar que el relieve de la zona de estudio tiene tendencia de norte a sur, opuesto a la tendencia general del drenaje del valle de Atriz.

En el valle de Aranda las geoformas tienen una génesis asociada principalmente a la alta actividad volcánica, con procesos de edad terciario y cuaternario como flujos de lavas, y depósitos de cenizas volcánicas, donde procesos posteriores de remoción en masa, erosión y actividad antrópica le han dado la morfología actual a la zona.

En el área de estudio se identifican cuatro unidades geomorfológicas como son: Laderas erosivas cortas en depósitos piroclásticos, Lomerios denudados en depósitos piroclásticos, Planicies onduladas en depósitos piroclásticos y valles estrechos en V en depósitos de vertiente, como se observa en el mapa de geomorfología de detalle.

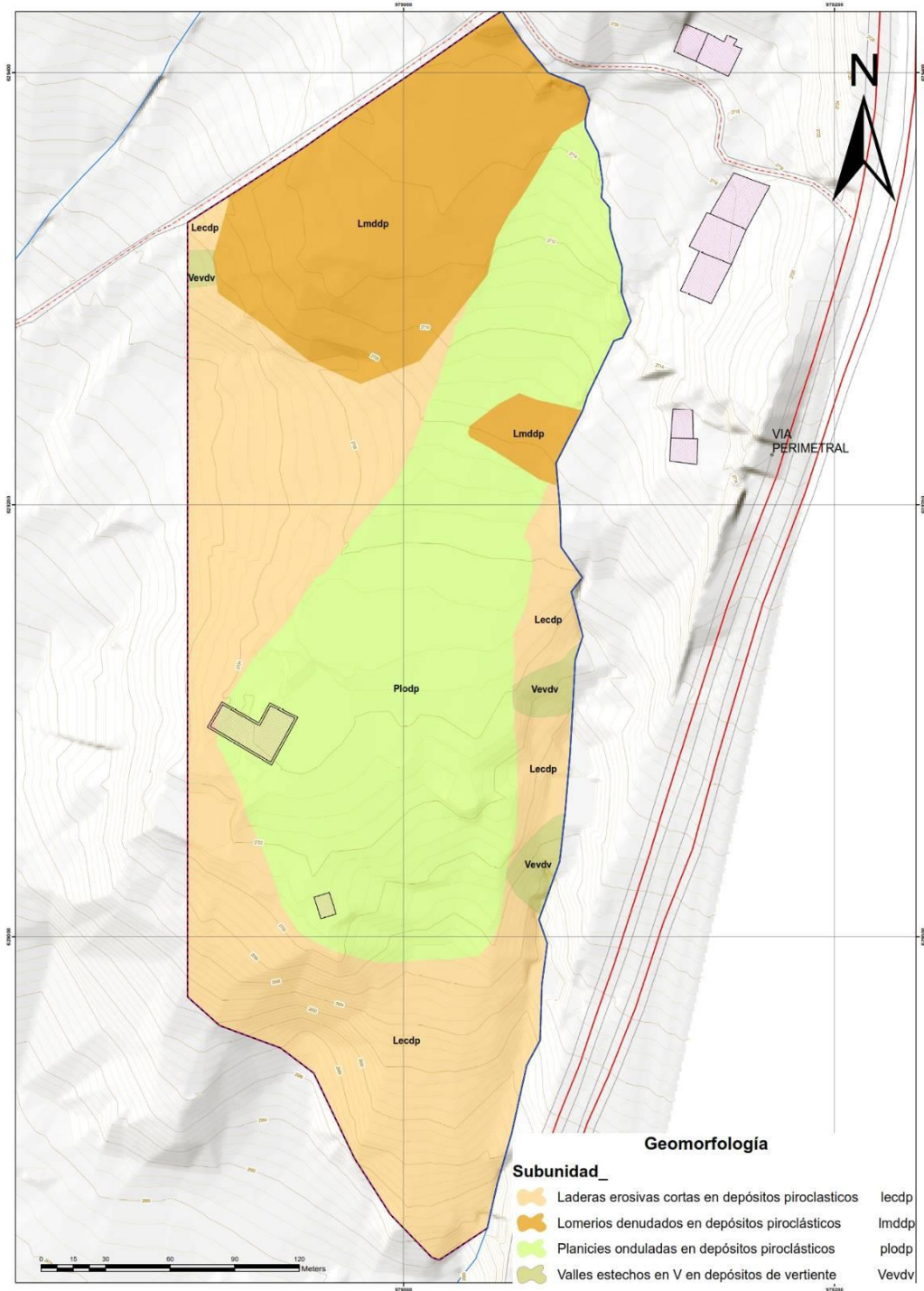


Figura 34. Mapa de Elementos geomorfológicos área de estudio.



3.5. Sistema hídrico

De acuerdo con el estudio de zonificación y codificación de cuencas hidrográficas elaboradas por CORPONARIÑO, el área de estudio se encuentra localizada sobre la cuenca del orden 3 del río Pasto.

Tabla 21. Zonificación Hídrica. Fuente: Estudio de zonificación y codificación de cuencas hidrográficas de Nariño, 2007.

AREAS HIDROGRÁFICAS	ZONA HIDROGRÁFICA	SUBZONA HIDROGRÁFICA	CUENCAS ORDEN 3	MICROCUENCAS ORDEN 4
5. Pacífico	52. Río Patía	5204. Río Juanambú	5204071. Río Pasto	5204071001. La Merced

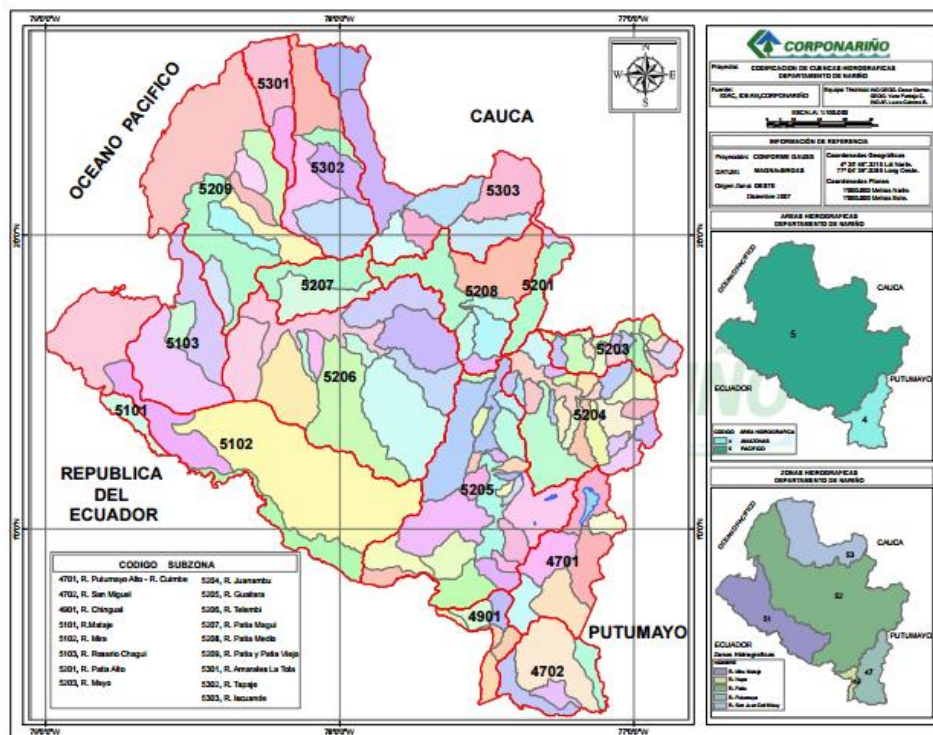


Figura 35. Mapa zonificación y codificación de cuencas del departamento de Nariño. Fuente: Estudio de zonificación y codificación de cuencas hidrográficas de Nariño, 2007.



La cuenca del río Pasto es uno de los principales afluentes del río Juanambú, el cual hace parte de la gran cuenca del río Patía que nace en la vertiente occidental del sistema orográfico de Los Andes en el departamento de Nariño, al suroccidente de Colombia mediante Acuerdo No 004 de 24 de mayo de 2011, la Comisión Conjunta aprueba y adopta el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Pasto.

### 3.5.1. Oferta y demanda hídrica.

La oferta hídrica neta es el volumen de agua que ofrece una fuente hídrica expresada en unidades de millones de metros cúbicos por año ( $\text{mm}^3/\text{año}$ ), que resulta después de aplicar los factores de reducción para conservar fuentes frágiles y ecosistemas acuáticos y de ribera.

De acuerdo con el estudio de Índice de escasez de agua superficial de la cuenca del río Pasto realizado por COPRONARIÑO en el año 2008, la cuantificación de la oferta hídrica disponible se realizó teniendo en cuenta la metodología de factores de reducción dispuestos por el IDEAM para regiones Andina y Caribe, es decir, la reducción del 25 % por calidad de agua y del 25 % por caudal ecológico. Teniendo que para la cuenca alta del río Pasto en el sector alto y bajo oriente la oferta es de  $9.68 \text{ mm}^3/\text{año}$ .

De acuerdo con el estudio la demanda de agua para el desarrollo de las actividades socioeconómicas en el área de estudio representa principalmente mediante los siguientes usos: agrícola, doméstico, pecuario y servicios; el uso que presenta un mayor porcentaje es el Doméstico con el 65% del total del consumo, con el 25% el agrícola y con el 8% el sector servicios, en menor escala el pecuario y el agroindustrial con porcentajes del 1% cada uno de ellos.



### 3.5.2. Calidad del recurso hídrico para abastecimiento

De acuerdo con información del de Instituto Departamental de Salud de Nariño, correspondiente al Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA), se obtuvo como resultado un nivel de riesgo es alto para el consumo del agua no tratada, cruda o agua tomada directamente de la fuente, esto indica que el agua de la cuenca del río Pasto presentan niveles de contaminación que pueden causar problemas para la salud de las poblaciones que realizan uso de ella; por lo tanto se deben establecer medidas para realizar un mejor tratamiento a las aguas de consumo para la totalidad de la población del área de influencia de la cuenca, además revisar y establecer parámetros para controlar los vertimientos que se realizan.

#### 3.5.2.1. Caracterización de la quebrada La Merced.

La quebrada La Merced es una fuente hídrica que refleja buenas condiciones, no presenta alteración por vertimientos de aguas residuales, lo cual se percibe en las condiciones naturales y la ausencia de olores y vectores en la corriente, esto se debe a que son muy pocos los asentamientos localizados sobre la fuente hídrica aguas arriba del área de estudio y es zona donde se encuentra la captación de agua para un acueducto veredal. En las siguientes figuras se puede apreciar las condiciones de la quebrada La Merced.



Figura 36. Quebrada La Merced.

#### 3.5.2.2. Medidas para la gestión de la calidad del agua de la quebrada La Merced.

Con el propósito de garantizar la calidad de las fuentes hídricas presentes en el Plan Parcial Policía Metropolitana es de carácter obligatorio en la ejecución de las obras el cumplimiento de los lineamientos establecidos en el capítulo 5 donde se establecen los requerimientos para el Plan de Manejo Ambiental.

El desarrollo del Plan Parcial Policía Metropolitana contempla que las aguas residuales y pluviales no se viertan sobre la quebrada La Merced, esto con el propósito de no alterar las condiciones fisicoquímicas ni hidráulicas de la fuente aguas abajo, por tal razón se plantea la conexión con las redes de alcantarillado sanitario y pluvial operadas por EMPOPASTO S.A.E.S.P. S.A.E.S.P. Los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial del Plan Parcial, deberán proyectarse bajo los criterios de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS).





### 3.5.3. Hidrogeología

Los acuíferos son entendidos como formaciones geológicas subterráneas permeables, susceptibles de almacenar y transmitir agua. Así, cabe indicar que en la naturaleza existe una amplia gama de formaciones con capacidades muy diversas para almacenar y transmitir agua; desde el punto de vista hidrogeológico, estas formaciones suelen dividirse en cuatro grupos principales:

#### 3.5.3.1. Acuíferos

Capaces de almacenar y transmitir el agua (gravas, arenas, materiales calizos, etc.); son formaciones con capacidad de drenaje alta, productores de agua subterránea para satisfacer las necesidades humanas de abastecimiento, agricultura, industria, ganadería, entre otras actividades. Este tipo de acuífero se localiza usualmente donde predomina la existencia de material coluvial y aluvial.

#### 3.5.3.2. Acuitardos

Capaces de almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la transmiten con dificultad; se suelen denominar con frecuencia formaciones semipermeables (limos, arenas limosas, arenas arcillosas, etc.), y su capacidad de drenaje es media a baja; no son de interés para la obtención de caudales que puedan servir a alguna necesidad hídrica, pero en la naturaleza juegan un papel muy importante como elementos transmisores del agua en recargas verticales a través de grandes superficies.

#### 3.5.3.3. Acuicludos

Pueden almacenar el agua en grandes cantidades, pero no tienen la capacidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad; el agua se encuentra encerrada en



los poros de la formación y no puede ser liberada (arcillas plásticas, limos arcillosos, etc.); se asumen como formaciones impermeables.

#### 3.5.3.4. Acuifugo

Formaciones incapaces de almacenar y de transmitir el agua; están representados por las rocas compactas, como granitos y gneises, y a veces incluso calizas muy compactas sin carstificar; se muestran como impermeables salvo que existan fracturas que puedan permitir flujos.

El área de estudio donde se localiza el Plan Parcial Policía Metropolitana y su zona de influencia no se caracteriza por el aprovechamiento de aguas subterráneas, el agua requerida para consumo humano y agrícola es abastecido por el acueducto veredal, el suministro se realiza por gravedad, captando el agua de la quebrada La Merced.

Teniendo en cuenta los niveles freáticos identificados en las perforaciones y caracterizaciones del suelo realizados en la formulación del Plan Parcial Aranda se realizó un modelo digital que permita relacionar espacialmente los niveles freáticos en el área de estudio, permitiendo identificar que en la zona norte del área de estudio se encuentra a mayor profundidad la presencia de agua aproximadamente a 5 metros y en la zona sur del área de estudio el nivel freático se encuentra a una profundidad aproximada de 2 metros.

El desarrollador deberá realizar los estudios de suelos específicos con las densidades requeridas sobre el área a construir, los cuales deberán contemplar las recomendaciones de cimentación de las estructuras.

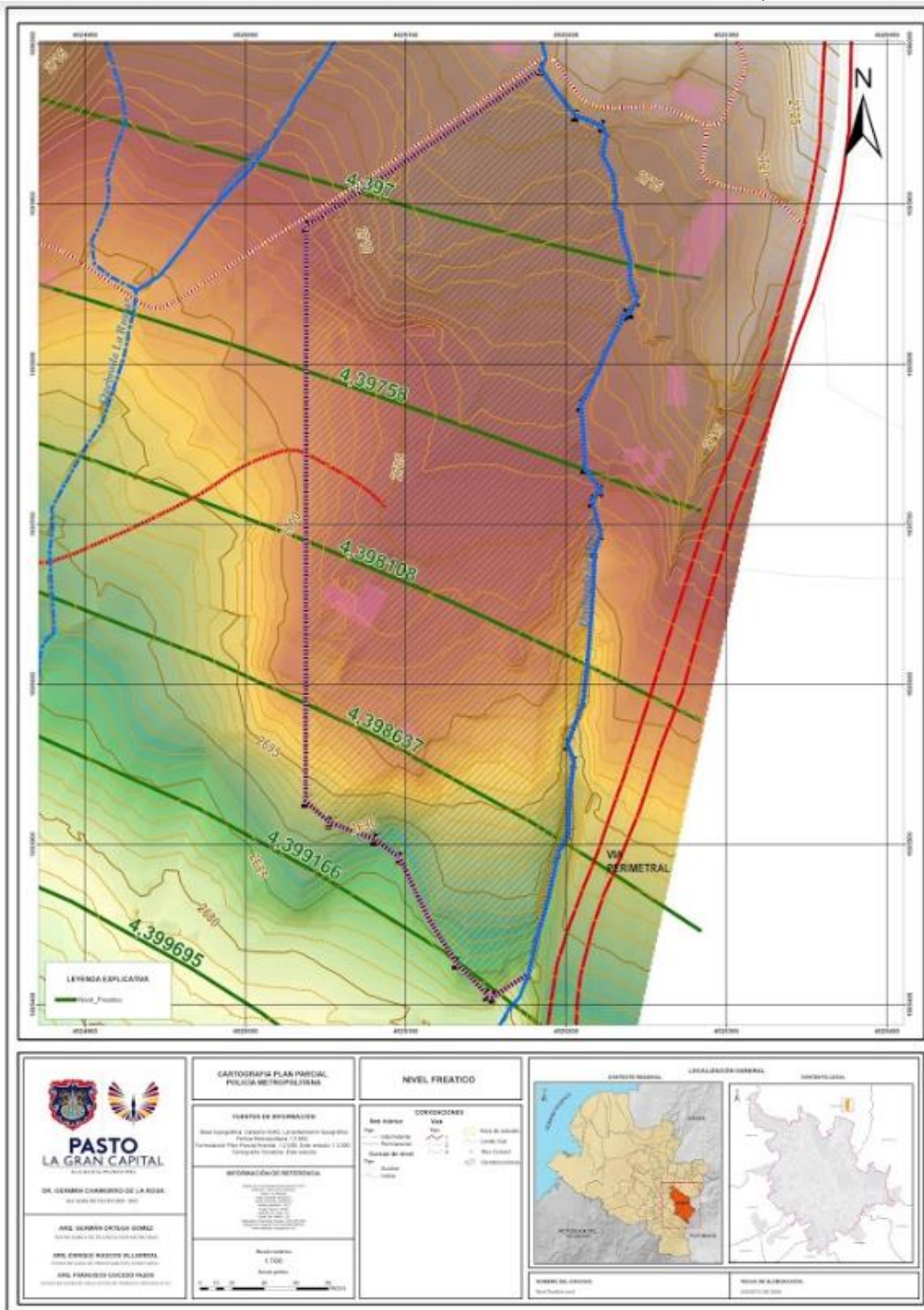


Figura 37. Mapa de niveles freáticos en el área de estudio.



### 3.6. Uso y cobertura del suelo.

El análisis y determinación de los diversos usos del suelo que se presenta en el lote objeto de estudio, se realiza sobre la base de los usos catastrales y los identificados en campo mediante recorridos técnicos en el área correspondiente al lote Policía Metropolitana.

El área total del predio es de 8.52 hectáreas, el uso predominante en el área de influencia es agropecuario con un 89.91% del total del área, seguido de una pequeña área de bosque fragmentado y de galería con un 9.27% del total del área y finalmente un tejido urbanístico de 0.82% de ocupación.

Tabla 22. Cobertura y uso del suelo.

<b>Tipo de Cobertura</b>	<b>Uso del Suelo</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>% Ocupación</b>
Construcciones aisladas	Residencial	0,07	0,82
Pastos limpios	Agropecuario	4,13	48,47
Pastos arbolados	Agropecuario	3,53	41,43
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	Protección	0,43	5,05
Bosque de galería y ripario	Protección	0,36	4,23

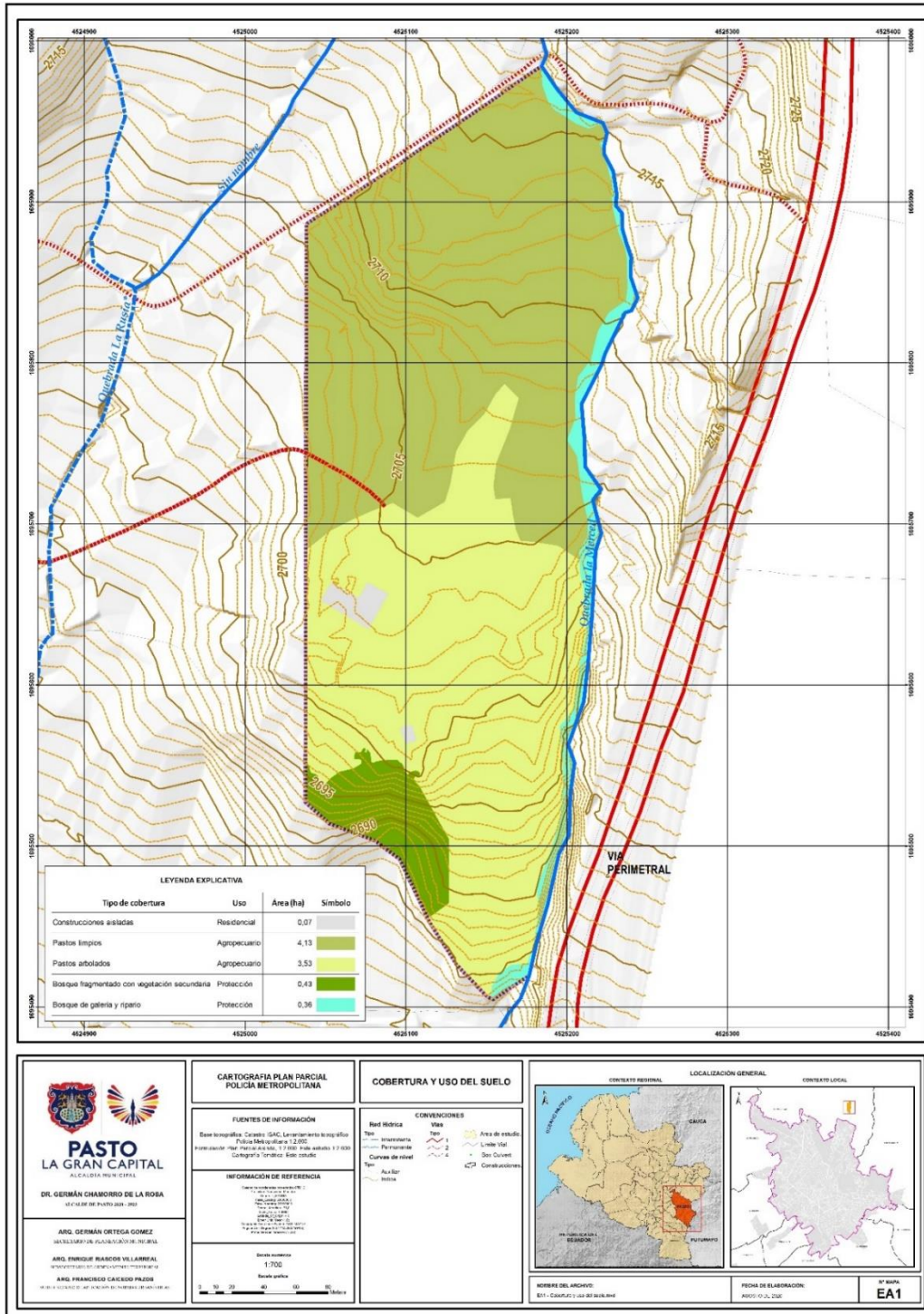


Figura 38. Mapa EA 1 Cobertura y uso del suelo.



### 3.6.1. Área de influencia

El área de influencia se caracteriza por edificaciones con máximo dos pisos de altura, que se han alcanzado en las áreas de vivienda de los predios vecinos como producto de autoconstrucción y mediante desarrollo progresivo.

Para el caso específico del lote Policía Metropolitana, existen dos edificaciones de un piso cada una, construidas en tapia, que es una pared construida en tierra o barro amasado y con cubiertas en teja de barro, característica de las edificaciones existentes del área rural de la ciudad de Pasto.



Figura 39. Área de estudio. Fuente: Este estudio

El mayor porcentaje de predios según la altura de las edificaciones se concentra en el rango de un piso con el 100%, siendo esta la mayor altura en el área de influencia.



A pesar de contar con buenas condiciones de accesibilidad que permitirían promover el mejor aprovechamiento del suelo para desarrollo habitacional y localización de mayor cantidad de población, el área de influencia se caracteriza por la poca cantidad de metros cuadrados construidos. El índice de construcción es muy inferior al máximo potencial de área construida.

### 3.6.2. Ocupación

La ocupación del área de influencia es mínima, dado que solo existen 2 edificaciones de un piso cada una y cuya área es de 600.62 m<sup>2</sup> en total, que representan un porcentaje de ocupación del 0.7% del área total del lote Policía Metropolitana, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 23. Ocupación en el área de estudio.

	Área (m <sup>2</sup> )	% Ocupación
Vivienda 1	522,35	0,61
Vivienda 2	78,27	0,09
<b>Total</b>	<b>600,62</b>	<b>0,70</b>

El área total del lote Policía Metropolitana es de 8.52 hectáreas.

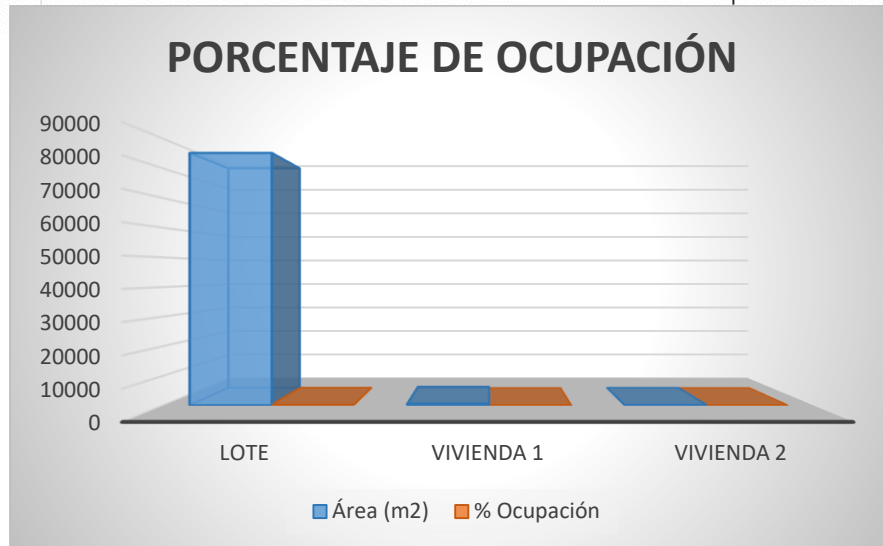


Figura 40. Porcentaje de ocupación en el área de estudio.

### 3.6.3. Estructura predial

El área de influencia tiene forma irregular, buenas vías de acceso y facilidades para intervenciones urbanas, limita al Norte con vía carreteable, al Sur con el predio del señor Jesús Eudoro Troya, al Occidente con predio de la señora Alcira María Chamorro Pimiento y al Oriente con la quebrada La Merced, de acuerdo a la siguiente imagen.



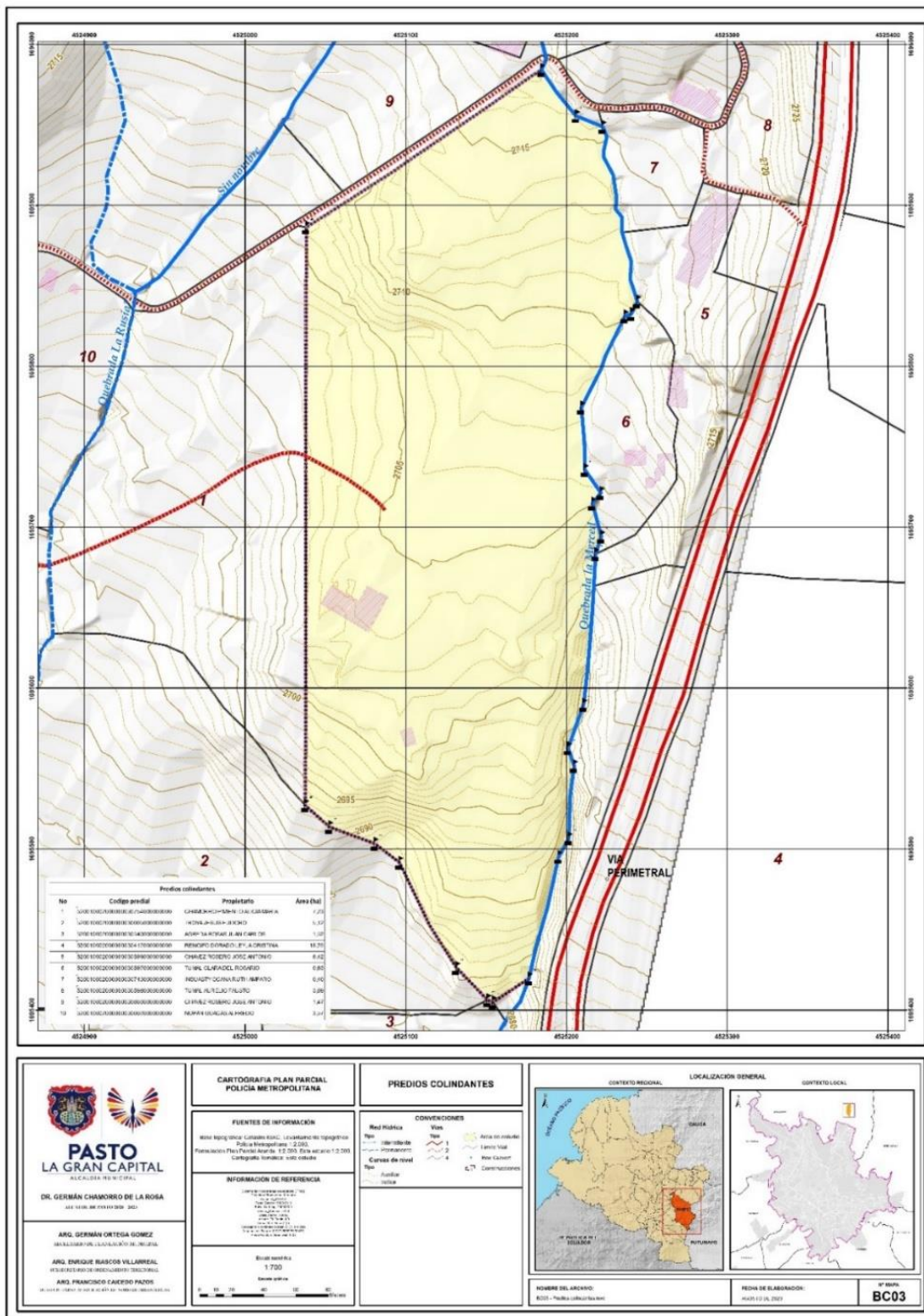


Figura 41. Estructura predial en el área de estudio.



### 3.7. Exploración del subsuelo

Los Andes es una cadena montañosa que se extiende a lo largo del borde occidental de Suramérica, desde el Sur de Chile hasta el Caribe, con una longitud de más de 7000 km, donde a lo largo de gran parte de su recorrido es afectada por los procesos de subducción de la Placa Nazca bajo la Placa Suramericana.

La cadena de Los Andes tiene gran heterogeneidad debido a su evolución geológica compleja, por lo cual Gansser (1973, en Duque, 2004) propone una separación en tres segmentos, Sur, Centro y Norte, cada uno con sus características litológicas, tectónicas y volcánicas distintivas

El Segmento Norte inicia en la denominada estructura de Apotame, abarcando una porción de los Andes Peruanos y todo los Andes Ecuatorianos y Colombianos. En Colombia Los Andes se dividen en tres cadenas montañosas denominadas Cordilleras Occidental, Central y Oriental.

La zona de estudio está en el denominado Nudo de Los Pastos, el cual es un macizo montañoso que se extiende desde el norte de Ecuador, hasta el denominado Macizo Colombiano, sitio en el cual se dividen las cordilleras Oriental y Central y hasta la Hoz de Minamá de donde se desprende la Cordillera Occidental.

En esta zona se tiene un basamento de edad Cretáceo que corresponde la acreción de materiales oceánicos los cuales fueron afectados por procesos metamórficos y tectónicos a lo largo del sistema de fallas Cauca-Romeral (Toussaint, 1999) y durante el Terciario y Cuaternario fueron recubiertos por materiales generados por la alta actividad volcánica de la zona, que ha generado cuerpos extensos de lavas, depósitos de cenizas y lahares.

Las características del suelo de acuerdo a estudios realizados en el área de influencia son de tipo limo plástico de consistencia blanda, con una compresión



inconfínada aproximada de 100 Kpa. y una resistencia al corte de 50 Kpa. Y nivel freático a una profundidad aproximada de 5 metros.

Al momento de realizar actividades de tipo urbanísticas y constructivas en el área se deberá realizar un estudio de suelos detallado y se deberá presentar para aprobación y concepto a la curaduría correspondiente.

### 3.8. Caracterización de Flora y Fauna

#### **Bosque seco montano Bajo (bs-MB)**

Esta Zona de Vida se encuentra a partir de los 2.600 hasta los 2.770 msnm, la temperatura promedio de 14 grados centígrados y un régimen de lluvias entre los 500 y 1000 mm anuales.

La zona evidencia la continua intervención humana que por centenares de años ha modificado profundamente la vegetación nativa y muy pocos árboles lograron sobrevivir, el clima es seco y los suelos, al no sufrir lavado excesivo, conservan su fertilidad por largo tiempo.

La vegetación nativa ha sido profundamente alterada por la actividad humana, actualmente la zona de estudio tiene un uso predominante agropecuario.

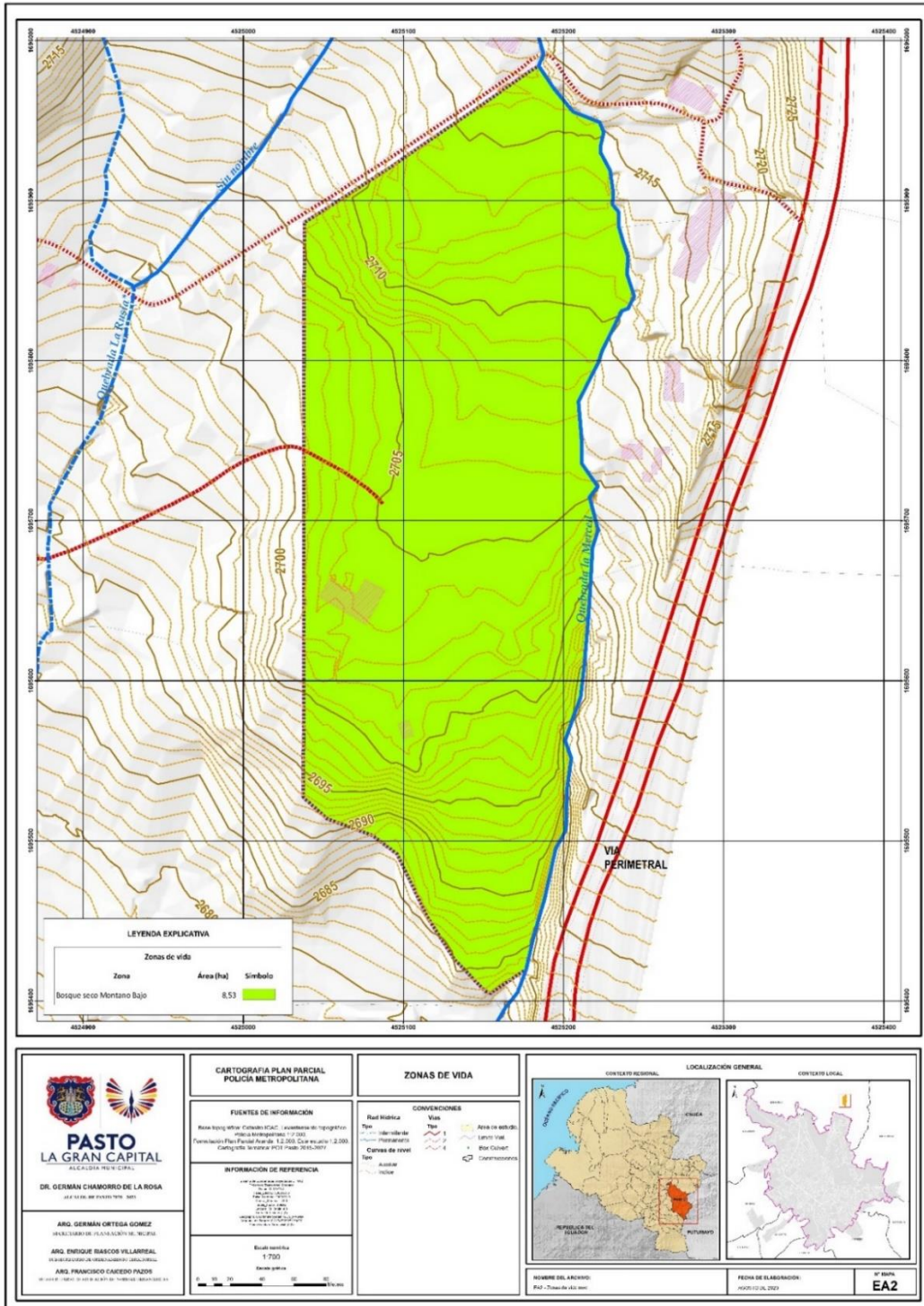


Figura 42. MAPA EA 2 Zona de vida en el área de estudio.



### 3.8.1. Diversidad y composición de fauna

La alteración de los ecosistemas como consecuencia de las actividades humanas es reconocida como una de las principales causas directas de la pérdida de la diversidad biológica (Escobar y Chacón, 2000). Actualmente, las ciudades experimentan procesos de rápido crecimiento espacial y demográfico, generando conflictos ambientales como la disminución de la biodiversidad, la cual aparece como una condición generalizada que afecta negativamente el funcionamiento de los ecosistemas naturales, ya que predomina como característica general, la poca cantidad y calidad de espacios verdes (Sierra, 2012).

La fauna de sitios urbanizados, cumple distintas funciones ecológicas y brinda servicios ambientales, tal es el caso de la entomofauna, la cual realiza funciones ecológicas como la polinización, descomposición de la materia orgánica, circulación de nutrientes y el flujo de energía dentro de los ecosistemas (González y Lozano, 2004. Sierra, 2012).

El estudio de la entomofauna permite evaluar el efecto de la fragmentación y reducción de los ambientes naturales ya que son considerados excelentes indicadores de diversidad y de procesos ecológicos, por esta razón, existen ciertos grupos dentro de la entomofauna que son usados para evaluar uso del suelo y contaminación de los cuerpos de agua (Álvarez et al. 2006).

La riqueza y abundancia de la entomofauna y sus respectivos procesos ecológicos se ven influenciados por la perturbación humana, es así como los patrones de composición y riqueza de especies tanto de insectos como de otros grupos de artrópodos, pueden explicarse en términos de alteración humana (Andrade, 1998).

Dentro de los insectos, las mariposas diurnas y los escarabajos coprófagos han sido reconocidos como bioindicadores útiles en trabajos de monitoreo y evaluación de



impacto ambiental, principalmente por la sencillez y rapidez de su muestreo y por su taxonomía relativamente conocida con respecto a otros grupos de insectos (Arango et al. 2007).

Los escarabajos coprófagos utilizan el excremento como principal recurso alimenticio y para nidificación; los excrementos que los insectos almacenan bajo tierra contienen una gran cantidad de nutrientes y permite una mejoría en las condiciones físico-químicas del suelo, otras consecuencias de dicha actividad son el control de parásitos e insectos vectores de enfermedades y la dispersión secundaria de semillas, permitiendo la regeneración natural de los bosques (Escobar y Chacón 2000. Noriega, 2013).

Por el papel biológico que desempeñan los insectos en la naturaleza, por su sensibilidad a los cambios en el ecosistema y por la facilidad para estandarizar los métodos de captura, son utilizados como parámetro en la medida de la diversidad y son considerados un grupo importante para la evaluación de los cambios producidos por las actividades humanas (Álvarez et al. 2006).

El grupo de mariposas, por ejemplo, es importante por sus roles ecológicos (herbivoría y polinización). La riqueza de mariposas generalmente depende de la diversidad local de plantas y es afectada negativamente por la reducción y aislamiento de fragmentos de bosque, por lo cual son indicadores del estado de conservación de un ecosistema (Blas et al. 2003).

La frecuencia y la intensidad de los disturbios humanos sobre los ecosistemas pueden modificar drásticamente la abundancia y la diversidad de la fauna y flora (Weins et al. 1993), dichos disturbios como la sustitución de pérdidas de bosque por zonas dedicadas a la ganadería y a la agricultura son las causas principales que modifican de forma indirecta la comunidad de coprófagos, los cuales son



relativamente intolerantes a las condiciones imperantes en zonas intervenidas debido a los cambios microclimáticos y de oferta de recursos (Klein 1989).

Los lepidópteros son relevantes dentro de la cadena trófica ya que juegan un papel importante en la transferencia de energía a niveles superiores, al servir de alimento a otros animales (Castillo, 2012). Además, cumplen el papel de polinizadores de diferentes especies vegetales (Tobar et al. 2001).

Estos organismos se ven afectados por la influencia de presiones humanas que generan un impacto negativo sobre la dinámica de las comunidades debido a la transformación de la flora nativa en zonas de pastizal, cultivos o construcciones, generando la desaparición total de las mariposas o la excesiva proliferación de una especie en particular (Guerrero y Ordoñez, 2013).

Las especies en el área de estudio corresponden a organismos generalistas propios de hábitats intervenidos, cuya riqueza y abundancia fueron bajas. Las familias registradas en este estudio, evidenciaron dominancia especialmente para la transición entre las coberturas de bosque-pastizal, donde la diversidad fue baja. No se registraron especies endémicas ni con algún grado de amenaza, pese a esto, la disminución de artrópodos producto de la urbanización podría afectar negativamente la presencia de otras especies de aves, mamíferos o herpetos insectívoros.

### **Recomendaciones.**

Al momento de llevar a cabo la urbanización en el lote Policía Metropolitana, es conveniente conservar zonas verdes que actúen como corredores biológicos naturales que permitan mantener las poblaciones de mariposas, escarabajos coprófagos y otros organismos presentes en la zona. Se debe compensar la pérdida de cobertura vegetal producto de la construcción, con plantas nativas que



favorezcan el establecimiento y permanencia de diferentes comunidades de artrópodos con roles ecológicos relevantes.

### 3.8.2. Diversidad y composición florística

#### **Flora.**

La Vegetación se ha considerado como la representación integral de la interrelación entre los factores bióticos (intrínsecos y extrínsecos) y abióticos (suelo, clima, agua, entre otros). Por ello, los estudios de la vegetación son uno de los principales soportes para la planificación, manejo y conservación de los ecosistemas tropicales, además de ecosistemas antropogénicamente intervenidos como son los sistemas agropastoriles, agroforestales y la flora de espacios urbanos, Torrado (2015).

Esto gracias a que la información proveniente de una caracterización o inventario florístico suministra información de base sobre la diversidad y estructura vegetal, lo cual permite determinar el estado de conservación de las áreas estudiadas (Villarreal et al.2004). En la actualidad, los ecosistemas boscosos cercanos a las áreas urbanas enfrentan una acelerada destrucción debido a la ampliación de la frontera agrícola, el crecimiento demográfico y en general, a la transformación del entorno natural por la demanda humana, cuyo resultado a mediano y largo plazo es la extinción local de las especies de flora que anteriormente ocupaban este territorio (Ponce, 2005).

#### **Composición florística.**

Una de las especies más abundantes en este tipo de áreas es *Mimosa quitensis*, conocida comúnmente como "Guarango" la cual se la encuentra comúnmente en filos de quebradas, acequias y en bordes de caminos de ecosistemas urbanos altamente intervenidos como es la esta zona de estudió. Por otra parte, se debe





resaltar que la mayoría de las especies registradas fueron típicas de zonas intervenidas.

Mediante el anterior estudio ecológico rápido de la vegetación presente en el área del Plan Parcial Policía Metropolitana, se pudo observar que claramente las especies predominantes son las especies comunes de entornos intervenidos por el hombre y la mayor área de la localidad evaluada corresponde a pastizales dedicados a la ganadería y en menor proporción pastos que son típicos de entornos en estado de abandono.

### **Recomendaciones.**

Por otra parte es necesario recomendar que si bien se presentan especies muy comunes de vegetación además de los pastos de uso ganadero; se generen estrategias de conservación del hábitat de especies no humanas en entornos urbanos, que permitan a las especies de flora y fauna las cuales de manera directa o indirecta puedan desempeñar múltiples beneficios y servicios ambientales que contribuyen a la “salud” y equilibrio de la ciudad misma, que van desde la polinización y dispersión de semillas, hasta el aprovechamiento y degradación de los desechos urbanos.

En el área de estudio no se evidencia presencia de Flora y Fauna endémica o de importancia ecosistémica que ameriten manejo especial; no obstante, en el área de influencia hacia el sector de Janacatú se agrupa mamíferos, aves y reptiles, como se describe a continuación<sup>7</sup>:

**Mamíferos.** En el área de g influencia hacia el sector de Janacatú, se evidencia la presencia de ejemplares de mamíferos entre los que se encuentran: las chuchas,

---

<sup>7</sup> AGENDA AMBIENTAL MUNICIPAL SIGAM – Municipio de Pasto 2004.



las que emiten un mal olor, ratón de campo, de hábitat arborícola, se les encuentra en manchas boscosas y matorrales.

Todas las especies juegan un papel importante en el flujo de la energía, siendo uno de los más importantes los murciélagos, ya que son altamente benéficos en los procesos de diseminación de semillas, pero actualmente su número decrece continuamente a causa del uso indiscriminado de productos químicos en la agricultura que contamina las plantas que ellos consumen.

**Anfibios.** Entre los anfibios predomina el sapo común, el cual es terrestre, en horas del día se ocultan en lugares húmedos y en la noche sale a los cultivos o a zonas abiertas. También se encuentran ranas arbóreas y lagartijas.

**Aves.** Dado el alto grado de intervención antrópica en toda el área y los escasos cuerpos de agua, las comunidades de aves son escasas, sin embargo, aún se pueden observar en zonas abiertas especies como la perdiz, gorriones, chiguacos, tórtolas, entre otros y en áreas boscosas especies como la lechuza y gavilanes.

**Reptiles.** De gran importancia ecológica, no obstante, y debido a la intervención de la zona tienen una alta amenaza debido al deterioro de su entorno y al temor que ciertas especies producen en los habitantes de la zona. Sin embargo, presentan una gran facilidad de adaptación a los cambios ambientales; pese a esto muchas especies han desaparecido de la zona o han migrado por la tala y quema de bosques en búsqueda de la expansión de la frontera agrícola, especialmente para la ganadería.

**Especies en vía de extinción.** Se consideran especies en vía de extinción aquella que por efecto de una fuerte caza para sustento y comercialización y la intervención de sus hábitats principalmente, se encuentran amenazadas de extinguirse y con pocas posibilidades de recuperación.



Ya que se desconocen estudios ecológicos de las especies que revelen su dinámica de población y la disposición de nichos ecológicos que garanticen la permanencia de su existencia y de sus generaciones. Un factor que merece especial atención es la tendencia de la desaparición de varias especies de animales que hacen parte de la riqueza biótica del área objeto de estudio. De acuerdo con la información levantada se puede evidenciar que en el área no existen especies endémicas, no hay especies catalogadas como especies de status poblacional en peligro de extinción.

### **Diversidad y composición florística**

El inventario de flora elaborado por la Secretaría de Medio ambiente del Municipio de Pasto en el Corregimiento de Morasurco, aplico la misma metodología e identificó un total de 40 especies de las cuales 13 se encuentran en la categoría fustal, 27 especies en estado latizal y 26 especies en estado brinzal, donde se destaca por su mayor abundancia los géneros Palicourea, Frezeira. De las 40 especies 7 se encontraron en las tres categorías de regeneración, brinzal, latizal y fustal, observandose una buena regeneración de las especies Majua, Manduro, Cucharó, Caspi, Fragua y Roble. La vegetación del bosque secundario intervenido de esta zona, está representada por árboles cuyas alturas oscilan entre 5 y 12 metros y con un diámetro D.A.P. inferior a 30 cms, se encontraron como especies importantes el Motilón Silvestre, Roble, Fragua, Aguacatillo, Tacasco, Pelotillo y Cancho.

Otras especies arbóreas encontradas son: Fragua, Sindayo, Roble, Aguacatillo, Pelotillo, Cucharó, Pumamaque, Manduro, Encino y Amarillo. Dentro de las especies arbustivas se encontró dominancia de la especie Majua, seguida de Salvarrial, Chaquilulo, Chilca colorada, Chilca Blanca, Morocillo, Asnalulo, Pata de Gallo, Laurel de cera y Linda China. En las especies Herbáceas: lengua de vaca, Trébol, Kikuyo y Helechos.



Hacia el norte de la cuenca del río Pasto en el área de estudio se encuentra zonas de bosque plantado con especies exóticas (confieras y eucalipto).

Resultado de la alta intervención y fragmentación de los bosques por la expansión de cultivos y pastizales en la zona de estudio, al igual que la expansión de áreas urbanas, ha dado lugar a la reducción y fragmentación de los hábitats naturales o semi-naturales y por ende la reducción y migración de especies de fauna y flora en el sector.

### 3.9. Estructura ecológica principal

De conformidad con lo delimitado en la zonificación ambiental del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pasto 2015, La Estructura Ecológica está conformada por el conjunto de ecosistemas que garantizan la integridad de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos, con el fin de satisfacer las necesidades básicas de la población, los cuales a su vez se constituyen en elementos estratégicos para el ordenamiento territorial.

Con dicha estructura se busca asegurar en el tiempo los espacios para el conocimiento, la conservación y la utilización de esa biodiversidad, su funcionalidad y la capacidad de soporte de prestación de los servicios para el desarrollo socioeconómico de la población en forma equitativa, segura y sostenible.

Para el área objeto de estudio los elementos que hacen parte de la estructura ecológica están representada por: el sistema hídrico, en la parte oriental del plan parcial, y estos se complementan con los elementos de la estructura ecológica identificados en el plan parcial Aranda donde se encuentran además de las franjas de protección, el Corredor Ecológico de Transición rural Morasurco Cabrera parque ambiental y zonas de protección denominada Janacatú, la cual se articula con el



área del Plan Parcial Policía Metropolitana por medio de la ronda hídrica de la quebrada La Merced.

Se debe considerar que la estructura ecológica brinda una serie de bienes y servicios que proporcionan cada uno de los elementos que la conforman, estos ecosistemas son fundamentales para el bienestar y el desarrollo económico y social actual y futuro de la población.

Los servicios ecosistémicos se clasifican en:

**Servicios de apoyo:** por ejemplo, formación del suelo, ciclo de los nutrientes, producción primaria.

**Servicios de aprovisionamiento,** por ejemplo, alimentos, agua potable, leña, fibra, productos químicos biológicos, recursos genéticos.

**Servicios de regulación,** por ejemplo, regulación climática, regulación de enfermedades, regulación hídrica, purificación del agua, polinización.

**Servicios culturales,** por ejemplo, espiritual y religioso, recreación y ecoturismo, estética, inspiración, educación, ubicación, herencia cultural.

### 3.9.1. Franjas de protección hídrica

Como área de protección ambiental en la zona de estudio se considera únicamente la franja de protección hídrica, toda vez que el lote Policía Metropolitana es un área que evidencia intervención antrópica desde años atrás y al estar limitada al oriente por la quebrada La Merced, se constituye una zona de protección ambiental definida por una franja paralela, o alrededor de los cuerpos de agua no inferior a 30 metros de ancha, paralela a las líneas de crecientes máximas a cada lado de los cauces de las quebradas, sean permanentes o no, destinada al manejo hidráulico y a la recuperación ambiental.



Para el área de estudio la franja de protección hídrica alcanza un área de 1.81 hectáreas conformada por la quebrada La Merced, como se evidencia en el mapa de cobertura actual están zonas son carentes de coberturas forestales las cuales permitan una regulación hídrica adecuada, no obstante, el POT de Pasto define que estas franjas corresponden a un buffer de 30 metros al lado y lado del cuerpo de agua.

Los servicios ecosistémicos que brindan las franjas de protección hídrica del plan parcial obedecen a servicios de regulación hídrica, climática, polinización, los servicios hidrológicos incluyen la regulación de caudales para mitigar inundaciones, la recarga de acuíferos que mantienen caudales durante la época seca, la purificación del agua y el control de la erosión

Se deberá garantizar la franja de protección por parte del desarrollador y este a su vez deberá señalar, conservar y reforestar de ser necesario, el área que corresponde a protección hídrica con el acompañamiento y articulación de la corporación autónoma dado que se evidencia que aguas abajo, al llegar a la parte urbana estas quebradas se encuentran canalizadas y en la actualidad por parte de CORPONARIÑO no se cuenta con un estudio de delimitación de franjas de protección hídricas.



Figura 43. Ronda hídrica en el área del Plan Parcial Policía Metropolitana.

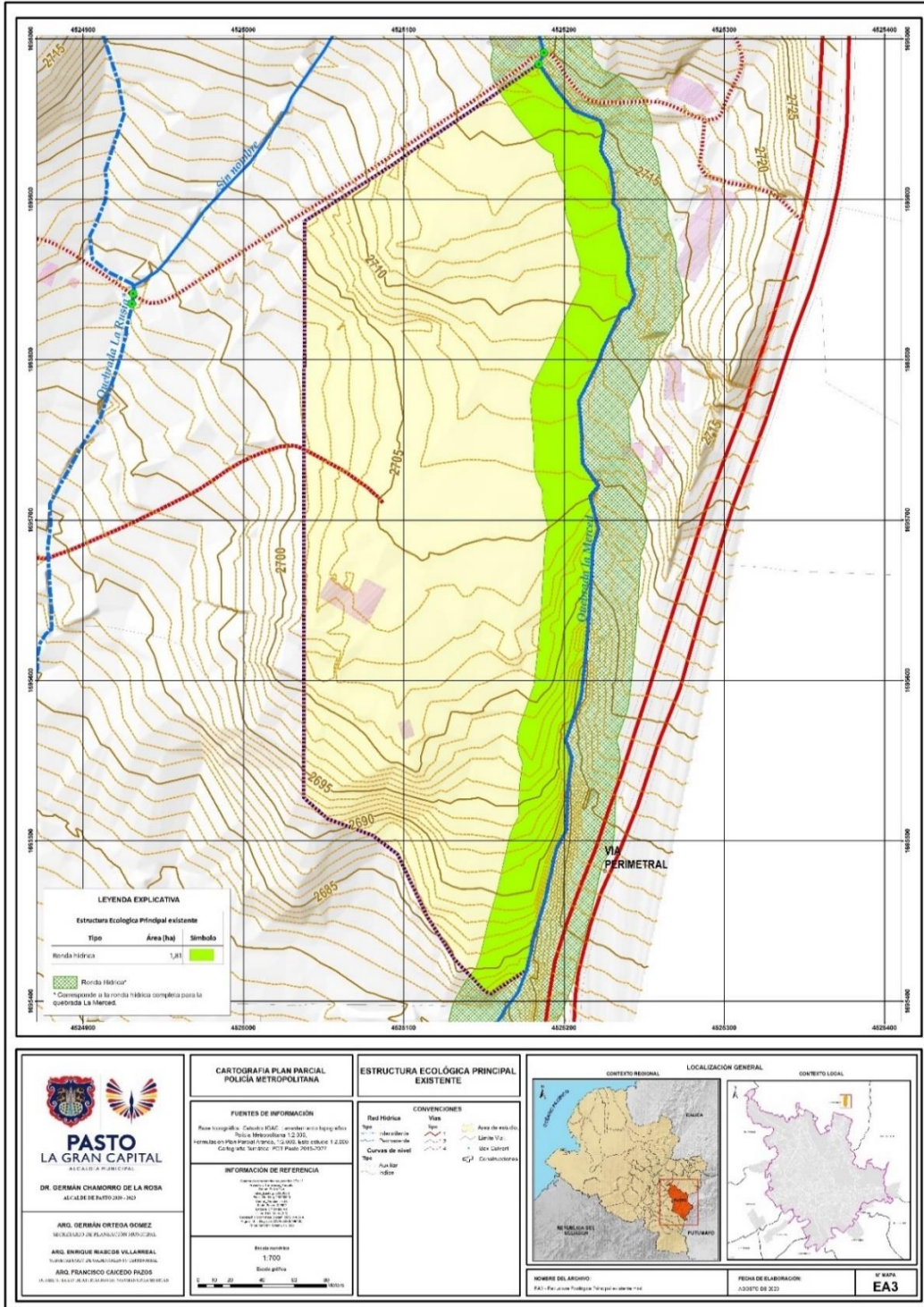


Figura 44. MAPA EA 3 Ronda hídrica en el área de estudio.





### 3.9.2. Reserva Natural Janacatú

Se localiza al nororiente del Municipio de Pasto Coordenadas 1,244960 Latitud, - 77,265270 Longitud, cuenta con un área total de 62.56 has, de las cuales 42.31 has son áreas en conservación de las ultimas manchas boscosas para Pasto, donde nace el agua que abastece a la vereda a su alrededor y donde se adelantan un proceso social y educativo muy significativo.

Los servicios ecosistémicos que brinda el parque Janacatú, son: Servicios de apoyo, referidos a la formación del suelo, ciclo de los nutrientes, producción primaria y servicios de aprovisionamiento específicamente lo referente a alimentos y/o seguridad alimentaria para los habitantes del sector, de igual manera prestan servicios de regulación hídrica, climática y por último servicios culturales por cuanto en este espacio se desarrollan actividades de recreación, ecoturismo, educación ambiental.

La reserva natural Janacatú y el Plan Parcial Policía Metropolitana se encuentran articulados por medio de la ronda hídrica de la quebrada La Merced, por esta razón es de gran importancia adelantar acciones para la protección y conservación de este corredor biológico.

El desarrollo del Plan Parcial Policía Metropolitana genera elementos importantes que hacen parte de la Estructura Ecológica del Municipio, en la actualidad únicamente se encuentra la ronda hídrica de la quebrada La Merced, con el Plan Parcial se generan 1.44 hectáreas de Espacio Público y 0.58 hectáreas de áreas de control ambiental, pertenecientes a la categoría de Áreas de Calidad Ambiental y Paisajística.

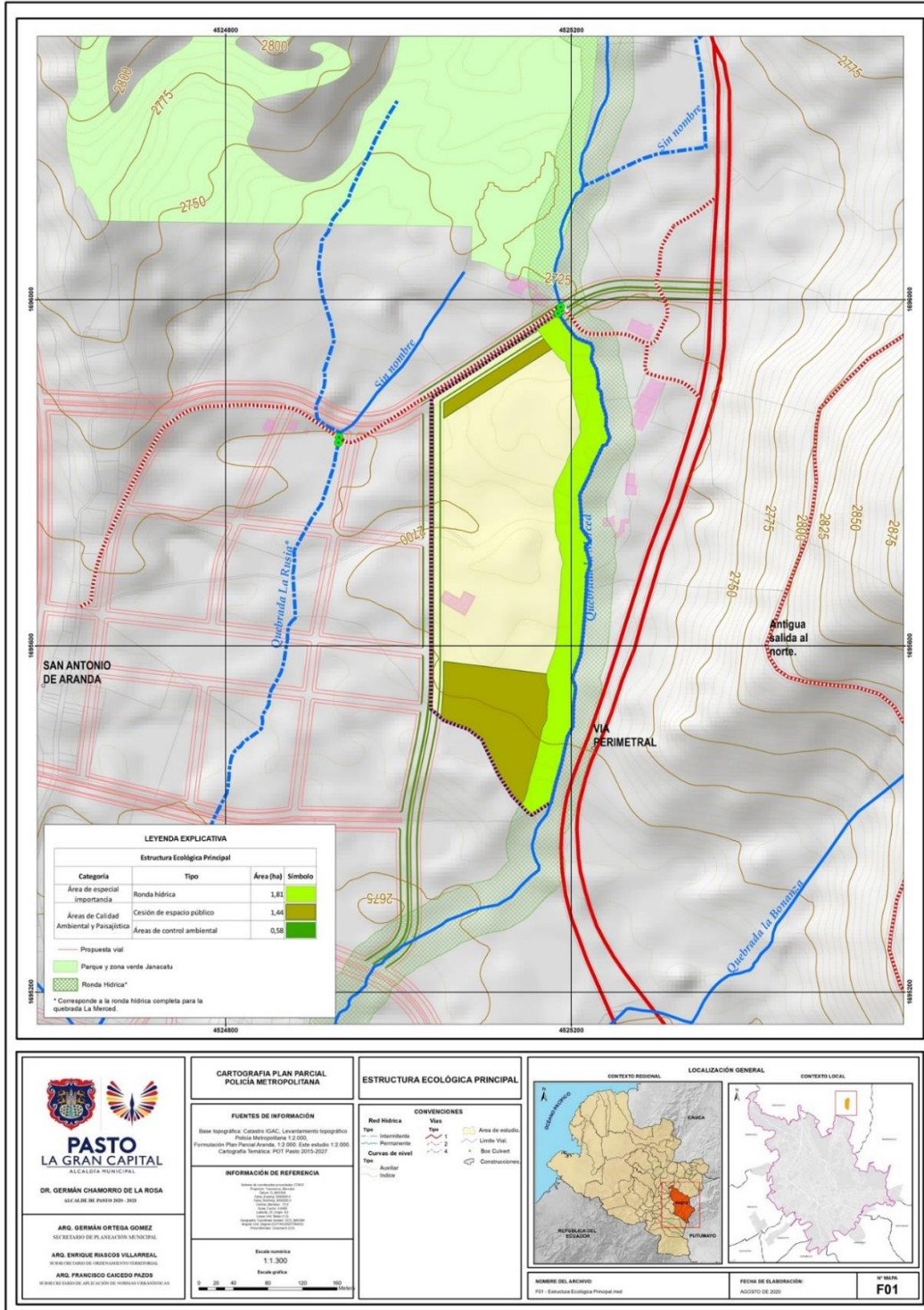


Figura 45. MAPA F 01 Estructura Ecológica Principal.



## **4. GESTION DEL RIESGO**

### **4.1. Análisis de Amenaza y Riesgo**

En el marco vigente en la gestión del riesgo de desastres en Colombia, estructurada a partir de la ley 1523 de 2012, se emana los principios de precaución, sostenibilidad ambiental y gradualidad siendo de fundamental importancia en la inserción en el ordenamiento territorial.

Posteriormente esta ley fue reglamentada mediante el Decreto 1807 de 2014 (compilado en el Decreto 1077 de 2015), donde el principal objetivo de la normativa acerca de la inserción del riesgo en el ordenamiento territorial es que exista una base con un mínimo de criterios técnicos para ordenar el territorio teniendo en cuenta tres tipos principales de amenazas: movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, para lo cual se llevará a cabo el siguiente proceso metodológico:



**Remoción Masa**

Francisco Ricardo Maffia Chamorro | July 27, 2020

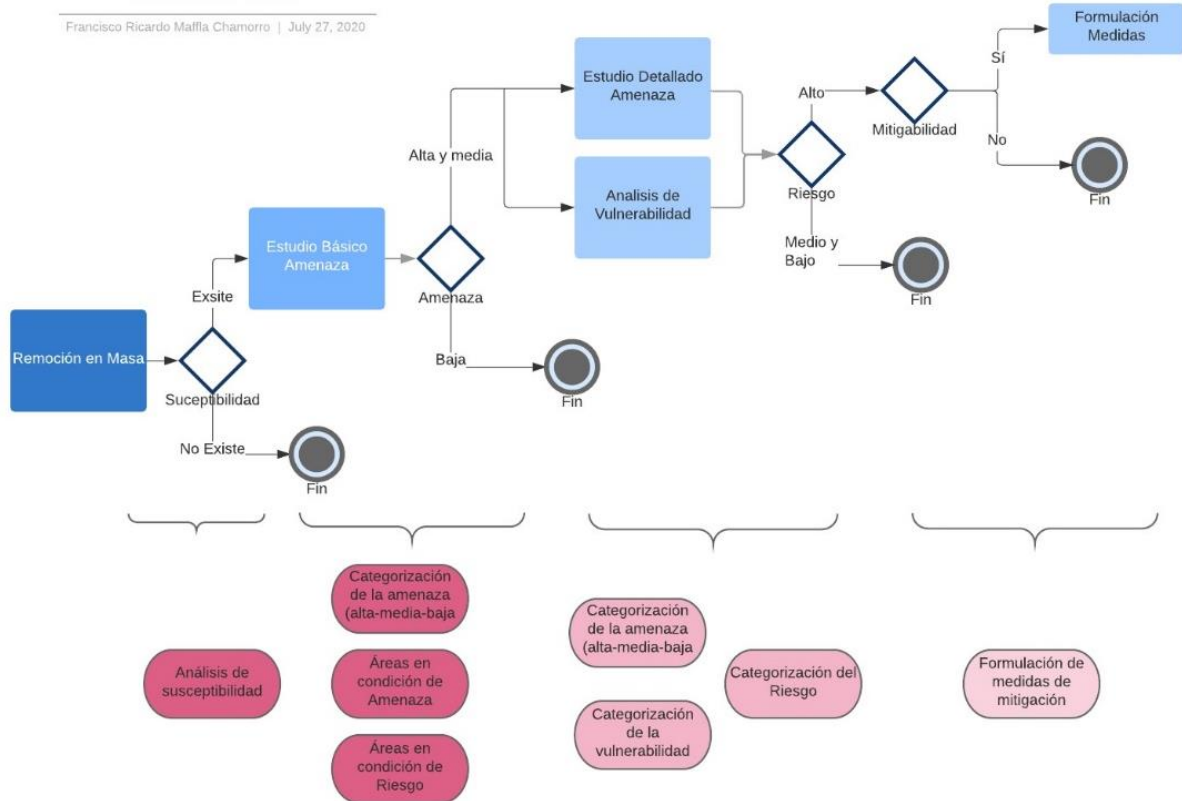


Figura 46. Proceso metodológico estudio de remoción en masa.



**Inundaciones**

Francisco Ricardo Maffia Chamorro | July 31, 2020

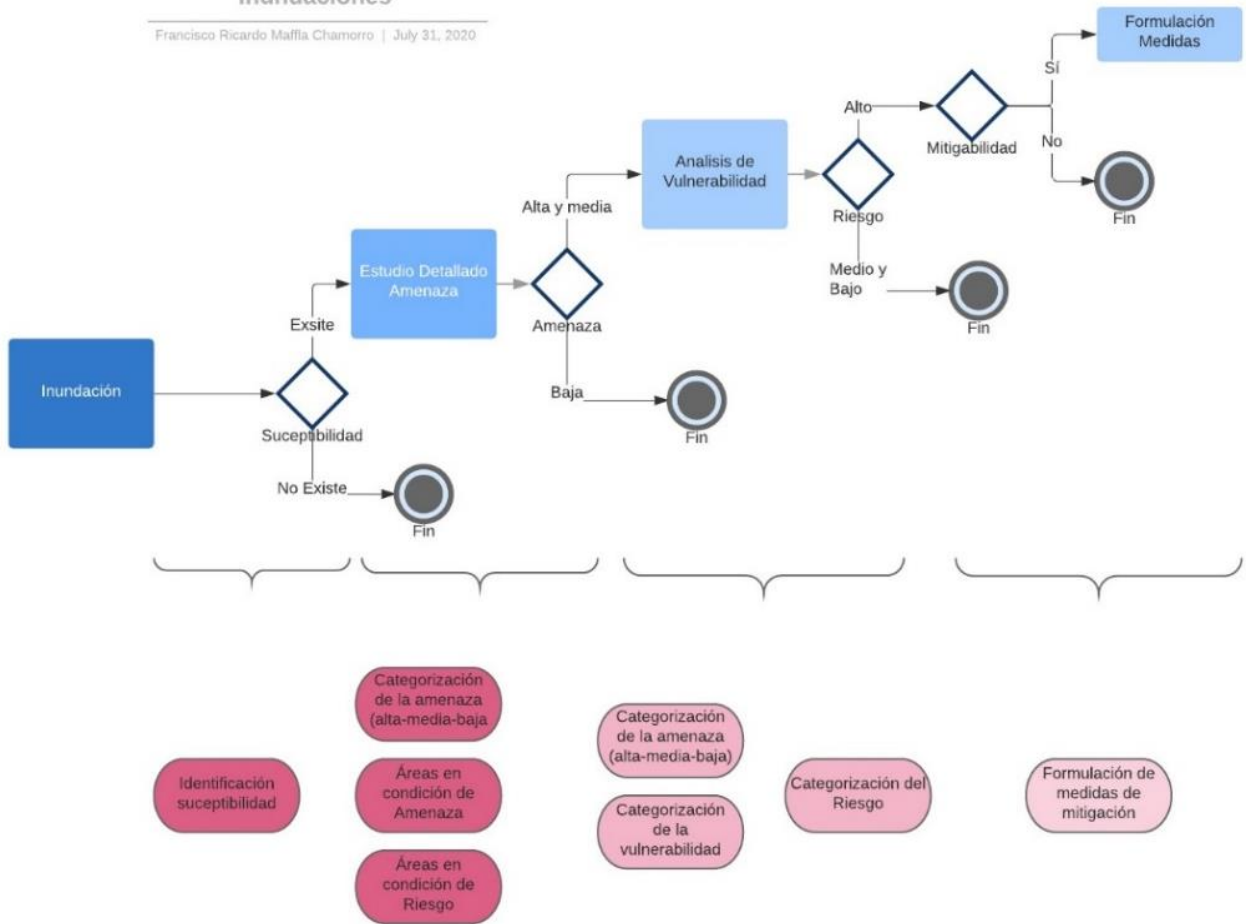


Figura 47. Proceso metodológico estudio de inundaciones.



**Flujo Torrencial**

Francisco Ricardo Maffía Chamorro | July 31, 2020

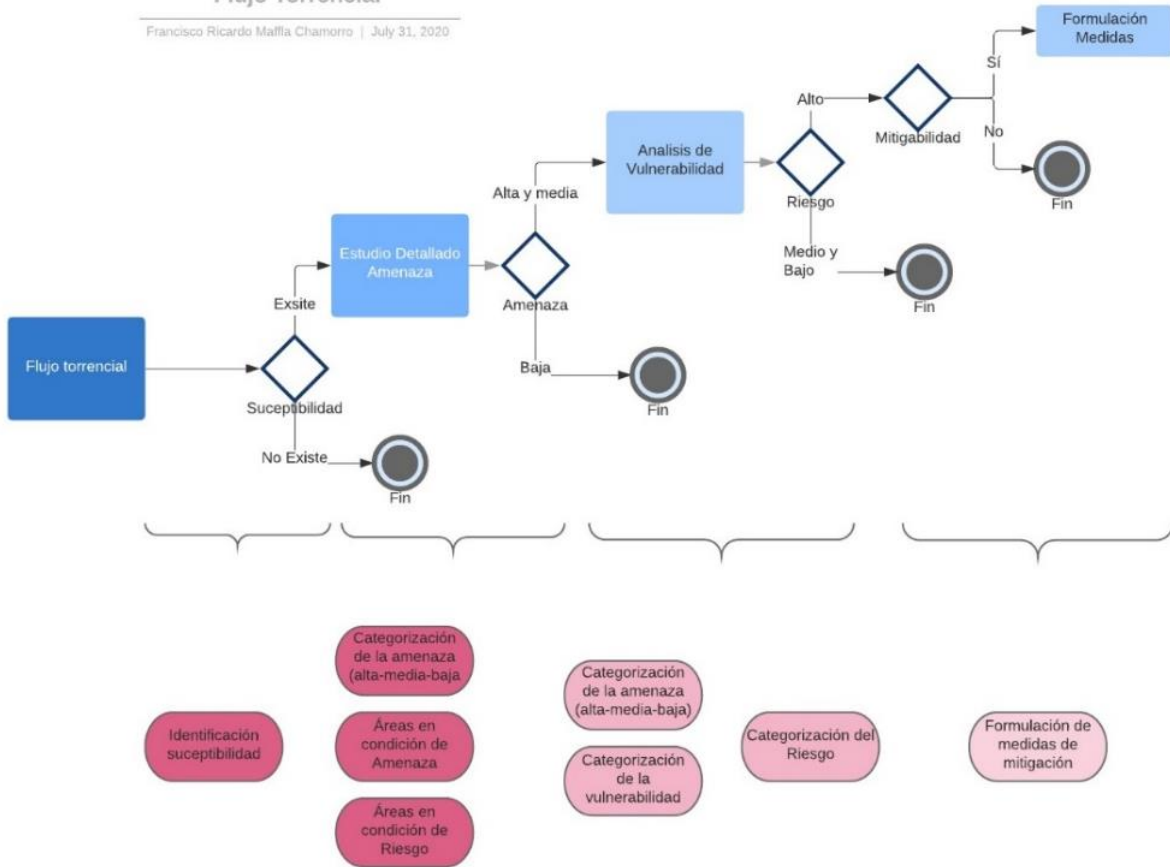


Figura 48. Proceso metodológico estudio de avenidas torrenciales.

Para su desarrollo se tienen en cuenta aspectos diferenciales de escala enmarcados en la progresividad del conocimiento en estos ítems y, para el caso de Plan Parcial Metropolitana, se efectuaron estudios en escalas desde 1:5.000 (básica urbana) hasta 1:2000 (detallada) en razón de lo exigido en el decreto 1077 de 2015. Para otras amenazas tales como sismos, vulcanismo y subsidencia antrópica, entre otros, la evaluación se realizará *con base en la información disponible generada por las autoridades y sectores competentes*.



Tabla 24. Escala de trabajo para estudios de Gestión del Riesgo.

<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	<b>CLASE DE SUELO</b>	<b>ESCALA</b>
Estudio Básico	Urbano	1:5.000
	Expansión Urbana	1:5.000
	Rural	1:25.000
Estudio Detallado	Urbano	1:2.000
	Expansión Urbana	1:2.000
	Rural Suburbano	1:5.000

#### 4.1.1. Preliminares

##### 4.1.1.1. Objetivos

Realizar los estudios de riesgo ante remoción en Masa, inundaciones y flujo torrencial del predio de la policía metropolitana en la ciudad de San Juan de Pasto.

#### 4.1.2. Localización General

El municipio de Pasto es la capital administrativa del departamento de Nariño, está ubicado en el centro oriente del departamento, al sur occidente de Colombia, político-administrativamente se divide en 12 comunas y 17 corregimientos. Ocupa una superficie de 6.181 kilómetros cuadrados, su cabecera municipal se ubica a una altitud de 2.527 metros sobre el nivel del mar.

El área prevista para desarrollar el Plan Parcial Policía Metropolitana se ubica específicamente en la zona denominada Aranda, situada al norte de la cabecera municipal con coordenadas X=978.962,277 Y=629.136,011, delimitada al oriente por la carretera Paso Nacional Pasto, trazada como una vía perimetral cuya importancia está determinada por constituir la principal entrada a la ciudad del transporte procedente del norte del país como las ciudades de Cali y Popayán, con la ciudad de Ipiales y con la república del Ecuador, al sur del país y hacia al oriente conecta con el departamento de Putumayo (Mocoa-Puerto Asís- Puerto



Leguizamo). Hacia el occidente, conecta con la ciudad portuaria de Tumaco. De esta forma la ciudad de Pasto se consolida como nodo de integración Pacífico-Andino-Amazónico.

El área de estudio está delimitada por la quebrada la Merced al oriente, y al norte, sur y occidente por terrenos con relieve leve y moderadamente escarpado.

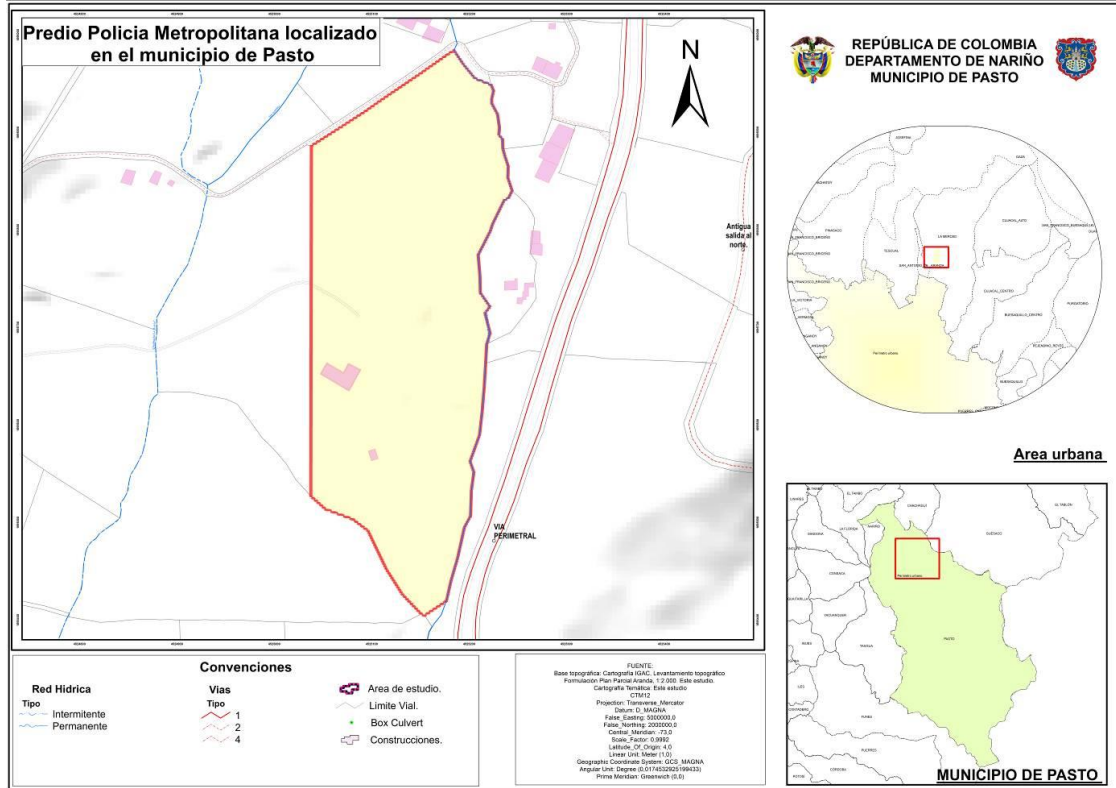


Figura 49. Localización Predio Plan Parcial Policía Metropolitana





### 4.1.3. Amenaza ante movimientos en masa

#### 4.1.3.1. Metodología.

El procedimiento metodológico para identificar la remoción en masa consiste en dos análisis, uno corresponde en evaluar la estabilidad de los taludes que se ubican en torno al predio en estudio por medio del cálculo del factor de seguridad. El segundo análisis se realiza directamente en el predio de estudio evaluando la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa, resaltando que se cuenta con cartografía base escala 1:2000, sin embargo, se lleva a cabo un análisis básico por movimientos en masa por tanto los resultados cartográficos se presentan a escala 1:5000.

#### 4.1.3.2. Análisis de estabilidad del entorno

Para identificar zonas externas al predio que pueden presentar inestabilidad se utilizó métodos de equilibrio límite para el cálculo del factor de seguridad (FS) y por tanto establecer la estabilidad de los taludes utilizando el software Slide 2.0; para ello primero se procesó el modelo digital de elevación de 5 metros para generar curvas de nivel cada metro, de esta manera crear un TIN, para generar perfiles que permiten conocer la superficie de las laderas que se encuentran alrededor de la zona de estudio.

En este sentido se realizó dos perfiles uno de ellos sobre una morfología montañosa que se ubica alrededor de la zona de estudio, que puede ser generadora de algún tipo de inestabilidad que pueda afectar al predio, con una longitud de aproximadamente 1 kilómetro sobre la ladera desde la parte media hasta el pie de esta. El segundo perfil se realizó sobre una unidad geomorfológica antropogénica que corresponde a antiguas excavaciones de materiales de construcción (Cantera) y que igualmente pueden ser un factor externo de afectación al predio.



El análisis de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad, determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento. Para el análisis de estabilidad se requiere determinar principalmente las siguientes propiedades geotécnicas de los suelos y del talud:

- Peso Unitario seco (kN/m<sup>3</sup>)
- Peso unitario saturado (Si hay presencia nivel freático) (kN/m<sup>3</sup>)
- Cohesión (kN/m<sup>2</sup>)
- Angulo de Fricción (grados)
- Nivel Freático

El factor de seguridad es empleado para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla.

$$FS = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}}$$

El término superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o la rotura del talud (Figura 50). En los métodos de límite de equilibrio el factor de seguridad se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla; por lo tanto, este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie.

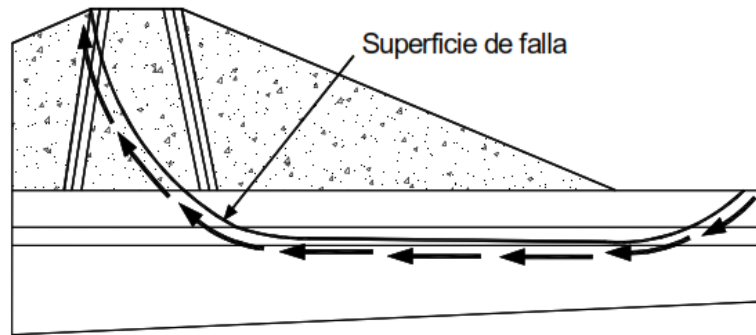


Figura 50. Superficie de falla y dirección de la resistencia al cortante (U. S. Corps of Engineers, 2003)

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Algunos métodos son precisos y otros, solamente aproximados, sin embargo, los métodos de Bishop (1955) y Janbú (1954) han sido muy utilizados en los últimos 50 años y se han desarrollado métodos de análisis más precisos y complejos ayudados de software que permiten realizar análisis muy rigurosos. Generalmente, los métodos son de iteración y cada uno de éstos posee un cierto grado de precisión.

Este sistema supone que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes, son iguales a lo largo de la superficie de falla y equivalentes a un factor de seguridad de 1.0, es decir que los valores superiores a 1 presentan mayor estabilidad que los valores menores a 1.

#### 4.1.3.3. Análisis de susceptibilidad

Para determinar la susceptibilidad por movimientos en masa se utiliza una metodología heurística por medio de un análisis multi-criterio de las jerarquías analíticas (Saaty, 1980), que permite estudiar y analizar cada una de las diferentes variables que se consideren que influyen en la ocurrencia de un deslizamiento, y



posteriormente se asigna un valor de ponderación a cada elemento que contienen dichas variables, esto de acuerdo al criterio del profesional considerando que influencia tiene cada uno en la posible ocurrencia de un deslizamiento. Posteriormente se establece de manera subjetiva un peso para cada factor o elemento definido y se procede a realizar la suma lineal ponderada de pesos para calcular el índice de susceptibilidad por movimientos en masa por medio de la siguiente ecuación:

$$IS = \sum_{i=0}^n (Wi \times Ri)$$

Donde:

*IS = Índice de Susceptibilidad*

*Wi = Peso del Factor*

*Ri = Peso de la clase*

Una vez identificados los factores se hace uso de herramientas de SIG como el “*álgebra de mapas*”, que permite calcular la susceptibilidad con la fórmula anteriormente descrita, para ello se convierte cada capa en formato RASTER y se procede a hacer la suma de los factores los cuales a su vez se multiplican por el peso asignado a cada uno. De acuerdo con lo anterior los diferentes factores considerados para el cálculo de susceptibilidad se describen posteriormente.

#### 4.1.3.4. Análisis De Amenaza

En cuanto al análisis de amenaza por movimientos en masa para el predio en estudio, se realizó con base en la metodología “Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por movimientos en masa a escala detallada” (SGC, 2015),



según lo dispuesto en el decreto 1807 de 2014 y de la cual se toma el esquema metodológico a escala 1:5.000, debido a que es necesario inicialmente identificar el nivel de amenaza para que posteriormente se detallen los estudios a escala 1:2000 sobre la amenaza media y alta identificada, ver Figura 51. La metodología consiste en zonificar la amenaza por medio de análisis determinísticos, en la cual se requiere de cartografía temática correspondiente a cartografía geológica en unidades de geología para ingeniería, la cartografía geomorfológica en cuanto a elementos geomorfológicos y la cartografía de cobertura y uso del suelo (SGC 2017). De igual manera se debe tener un inventario de movimientos en masa y un registro histórico de estos, sin embargo en el predio de estudio no se tiene registro de este tipo de eventos como se menciona en el anexo 2.

A partir de la cartografía temática y los insumos base que se muestran en la Figura 51 y en la

Tabla 26, primero se establece un modelo geológico – geotécnico en el que se requiere de una exploración geotécnica que permita conocer las características geomecánicas del subsuelo, los espesores de suelo y la posición del nivel freático, así como la aceleración sísmica, con lo cual se procede a realizar un análisis determinístico de estabilidad de talud en suelo por métodos de equilibrio límite y determinar el factor de seguridad como se describe en el apartado 3.1.1. y utilizando la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{(c' b \sec \alpha + (ybh \cos \alpha - kybh \sin \alpha - \gamma_w h_w \cos^2 \alpha) \tan \Phi')}{ybh \sin \alpha + kybh \cos \alpha}$$

Donde

$c'$  y  $\Phi'$  son los parámetros de resistencia del suelo en la base de la columna de suelo, en términos de esfuerzos efectivos.



$y$  es el peso unitario del suelo.

$b$  es el ancho de la tajada (ancho de la celda).

$h$  es la altura de suelo por encima de la superficie potencial de deslizamiento.

$Y_w$  es el peso unitario del agua.

$H_w$  es la altura de la lámina de agua, determinada a partir del nivel freático correspondiente a una lluvia de 20 años de periodo de retorno.

$\alpha$  es el ángulo de inclinación de la superficie de falla.

$k$  es el coeficiente de aceleración horizontal para un periodo de retorno de 100 años.

De esta manera el factor de seguridad es el dato discriminante para establecer las categorías de amenaza como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25. Clasificación de amenaza de por movimientos en masa SGC 2015

<b>Factor de Seguridad</b>	<b>Nivel de Amenaza</b>	<b>Color en el mapa</b>
< 1,1	Alta	Rojo
1,1 – 1,5	Media	Amarillo
> 1.5	Baja	Verde

Tabla 26. Fuente de insumos requeridos para el análisis de Amenaza por Movimientos en masa con base en la metodología del SGC, 2015.

<b>INSUMOS REQUERIDOS</b>		<b>FUENTE</b>
<b>INSUMOS</b>	Cartografía base 1:2.000	Presente Estudio
	MDT	Presente Estudio
	Inventario de movimientos en Masa	Para el área de estudio no se registra movimientos en masa. (Anexo 2.)



INSUMOS REQUERIDOS		FUENTE
<b>FACTORES CONDICIONANTES</b>	Cobertura y Uso de Suelo	Elaborado en el presente estudio a escala 1:2.000
	Unidades de Geología para Ingeniería (UGI)	Documento Plan Parcial Aranda a escala 1:5000
	Elementos Geomorfológicos	Elaborado en el presente estudio a escala 1:2.000
	Exploración básica del subsuelo y Ensayos de Laboratorio	Documento Plan Parcial Aranda
<b>FACTORES DETONANTES</b>	Lluvia	Análisis del presente estudio
	Sismo	AIS, 2009



**INSUMOS**



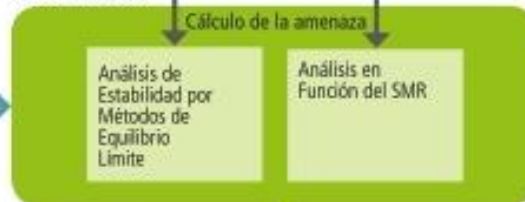
**FACTORES CONDICIONANTES**



**FACTORES DETONANTES**



**MODELACIÓN**



**RESULTADOS**



Figura 51. Zonificación básica de amenaza por movimientos en masa a escala 1:5000 (SGC, 2015).





#### 4.1.3.5. Resultados

- Perfil 1

El análisis de estabilidad de taludes se realizó con dos escenarios posibles, uno teniendo en cuenta saturación de los materiales por presencia de un nivel freático dando como resultado un factor de seguridad de 1.38 indicando que el talud presenta estabilidad en condiciones de precipitaciones altas, y que la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa es baja (Figura 53).

El segundo escenario se considera más crítico teniendo en cuenta la saturación y la actividad sísmica de la zona, dando como resultado un factor de seguridad de 0.9 indicando inestabilidad del terreno en condiciones extremas (Figura 54). En este escenario se considera altas precipitaciones y actividad sísmica, en el cual se generan deslizamientos de la capa superficial, que de acuerdo con la morfología de la zona el material caería sobre la vía que comunica al puente de daza como una zona de depósito.

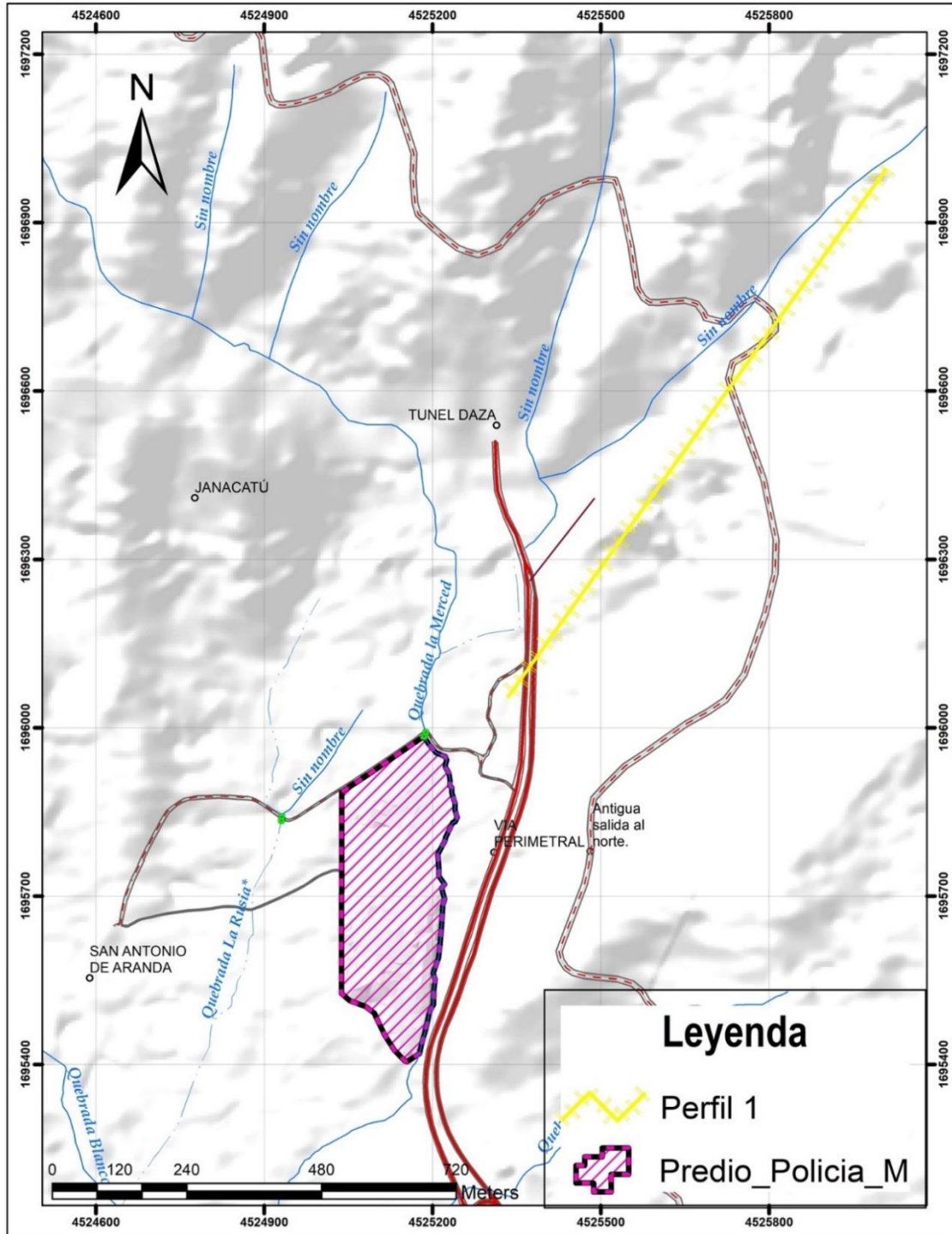


Figura 52. Mapa localización perfil 1.

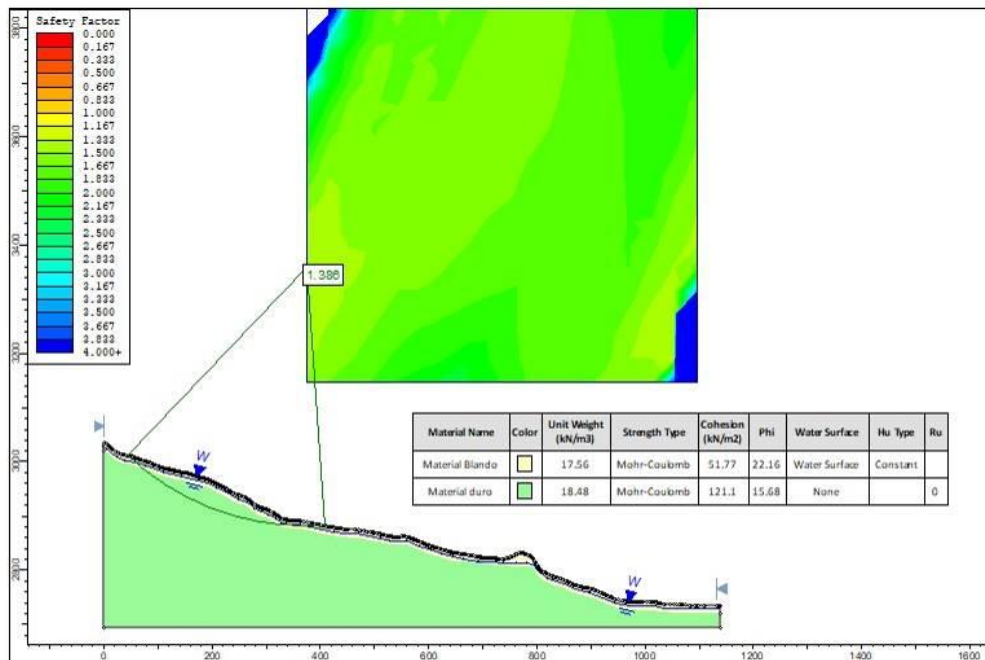


Figura 53. Factor de seguridad calculado para el perfil 1, en condiciones de saturación por presencia de nivel freático.

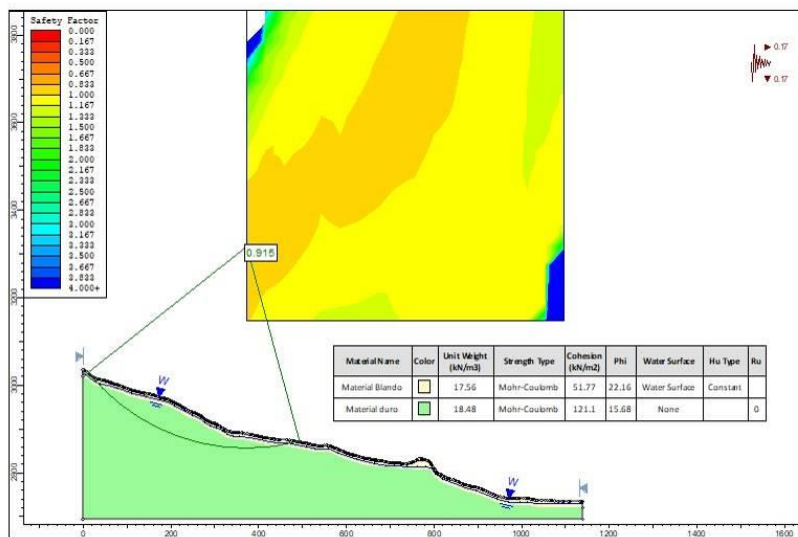


Figura 54. Factor de seguridad calculado para el perfil 1, en condiciones extremas de saturación y sismo.



- Perfil 2

En este perfil se considera una morfología antrópica generada por actividad minera, donde existe la presencia de una cantera que explota materiales de construcción, de igual forma se consideró dos escenarios, el primero con saturación de los materiales por presencia de nivel freático que da como resultado un factor de seguridad de 2.3 indicando una alta estabilidad del talud y poca probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa (Figura 56), se puede inferir que en un escenario donde se presentan altas lluvias es poco probable que se generen deslizamientos.

En el segundo escenario se tiene en cuenta la saturación del material y la actividad sísmica de la zona, que da como resultado un factor de seguridad de 1.34 indicando que el talud en condiciones extremas presenta estabilidad (Figura 57), considerando un escenario donde hay intensidad de lluvias y actividad sísmica la posibilidad que se generen deslizamientos es baja.

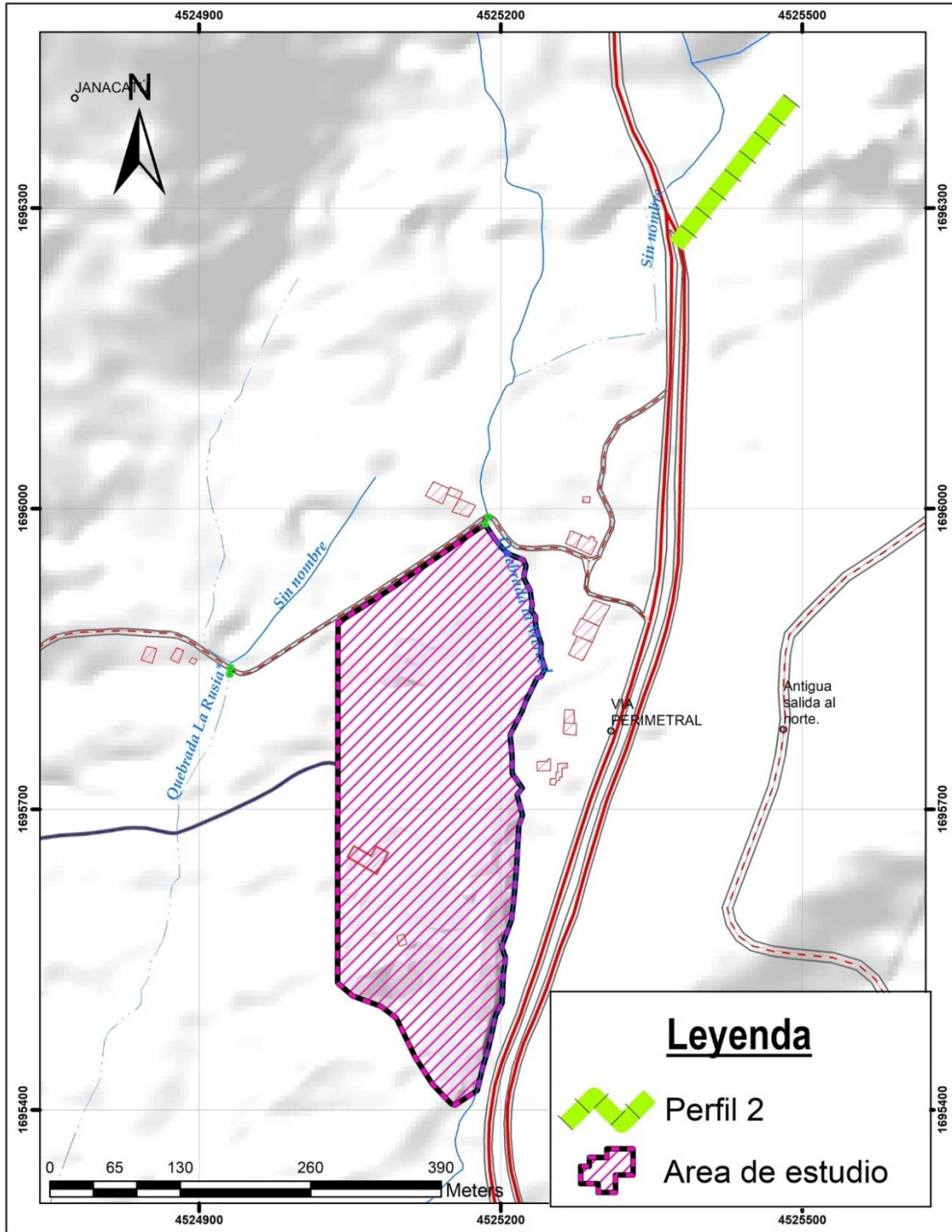


Figura 55. Mapa localización perfil 2.

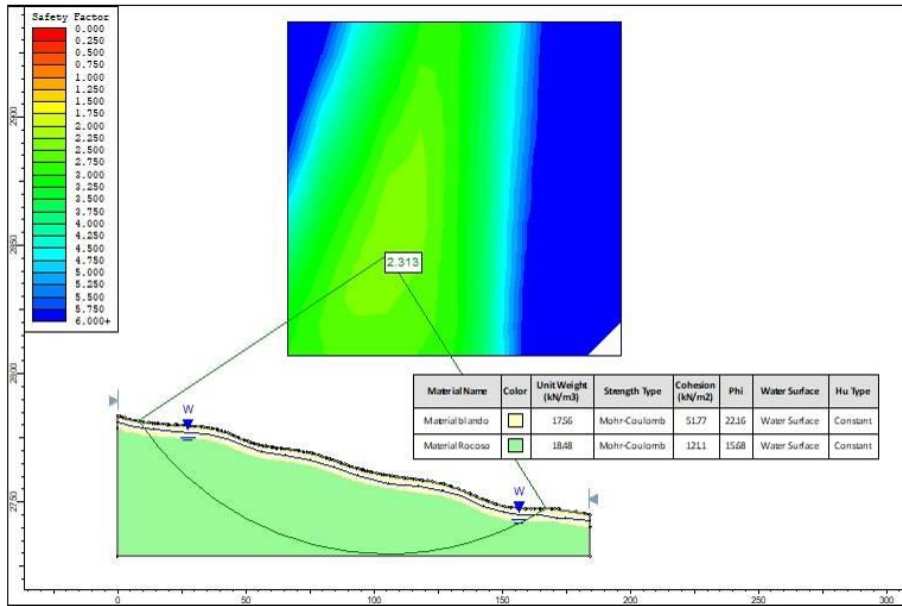


Figura 56. Factor de seguridad calculado para el perfil 2, en condiciones de saturación por presencia de nivel freático.

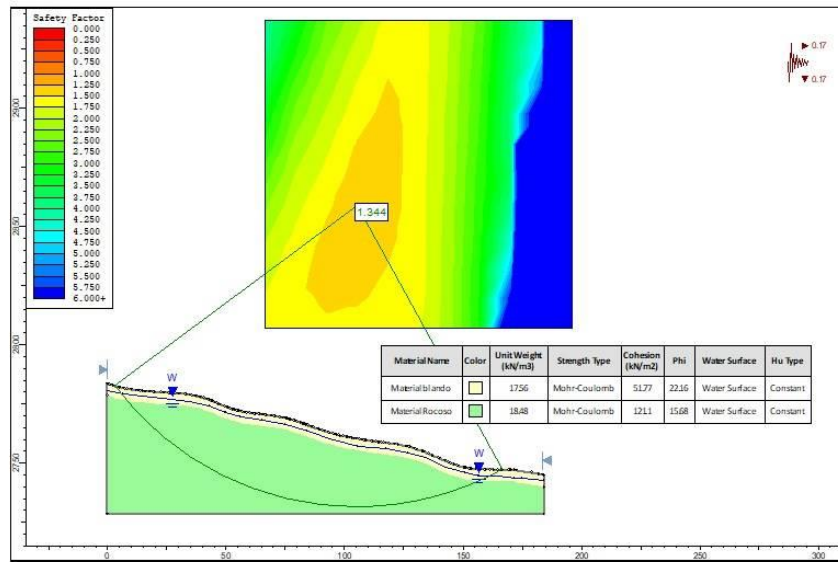


Figura 57. Factor de seguridad calculado para el perfil 2, en condiciones extremas de saturación y sismo.



Del anterior análisis, se puede concluir que para el perfil 1 si se considera un nivel freático que sature los materiales más superficiales, el factor de seguridad sería de 1.38 indicando estabilidad del talud y una baja probabilidad de deslizamientos, teniendo en cuenta que dicha saturación permite que se genere los procesos erosivos que meteorizan las rocas y materiales más superficiales dando lugar a la ocurrencia de movimientos en masa, que de acuerdo a las principales características de la zona como lo son las propiedades geomecánicas de las Unidades Geológicas Superficiales, las pendientes moderadas y la alta cobertura vegetal, este evento no se presenta en gran magnitud y el desprendimiento de material no cubre grandes cantidades. En un escenario más crítico donde se involucra el nivel freático y la actividad sísmica, el factor de seguridad es de 0.9, indicando una probabilidad de deslizamientos.

Para el segundo perfil se toma una morfología antrópica donde se realizaban actividades mineras, esta zona presenta una pendiente media y poca cobertura vegetal, para los dos escenarios planteados los factores de seguridad indican una baja probabilidad de deslizamientos.

- Análisis de susceptibilidad

A continuación, se presenta los principales resultados del análisis de susceptibilidad ante el fenómeno de remoción en masa en el área de estudio.

La base de este análisis son los factores condicionantes que permiten calcular la susceptibilidad por movimientos en masa por medio del método multivariado propuesto por (Saaty, 1980), y de igual manera hacen parte de los elementos para determinar la amenaza por movimiento en masa como lo indica la guía metodológica de (SGC, 2015). Se debe tener en cuenta que para la generación de cada factor se tomó la base cartográfica a escala 1:2.000 que se describe en el ítem de información cartográfica base del presente estudio; y en relación con la información secundaria,



esta se corroboró y analizó con la misma cartografía base, para su correcto uso en los análisis que se presentan a continuación.

- Cobertura y Uso del Suelo

La clasificación de cobertura y uso del suelo es importante en los procesos de análisis por remoción en masa, puesto que juega un papel importante debido a que influye en las propiedades hidrológicas y mecánicas del suelo (Dai & Lee, 2002), mejora la cohesión, fortalece la matriz del suelo y aumenta su potencial a través de la evapotranspiración y la interceptación (Gómez & Kavzoglu, 2005), favoreciendo la estabilidad de las laderas.

De acuerdo con lo anterior para el análisis por movimientos en masa se tomó el mapa de Cobertura y Uso del Suelo que se realizó bajo la metodología de Corin Land Cover y que se presenta en la Figura 58.

El tipo de cobertura y uso de suelo son factores que influyen en la estabilidad del terreno desde el punto de vista mecánico relacionados con factores como el soporte del suelo por enraizamiento, control de erosión, resistencia del sistema suelo edáfico-raíces y protección del suelo. Y desde el punto de vista hidrológico su relación con los movimientos en masa está dada por efectos de la baja interceptación de la lluvia por parte de la cobertura de la tierra, aumento de la capacidad de infiltración, cambios en el contenido de agua en el suelo por evapotranspiración y efectos sobre la conductividad hidráulica (SGC, 2017).

En relación con lo anterior a cada tipo de cobertura identificada en el área de estudio se le asignó una ponderación de acuerdo con la influencia o importancia que tiene cada una con la probabilidad de ocurrencia de un movimiento del terreno, en este sentido en la





Tabla 27 se muestra las coberturas que se encuentran en el predio y las ponderaciones que se asignó a cada una para el cálculo de la susceptibilidad por remoción en masa.

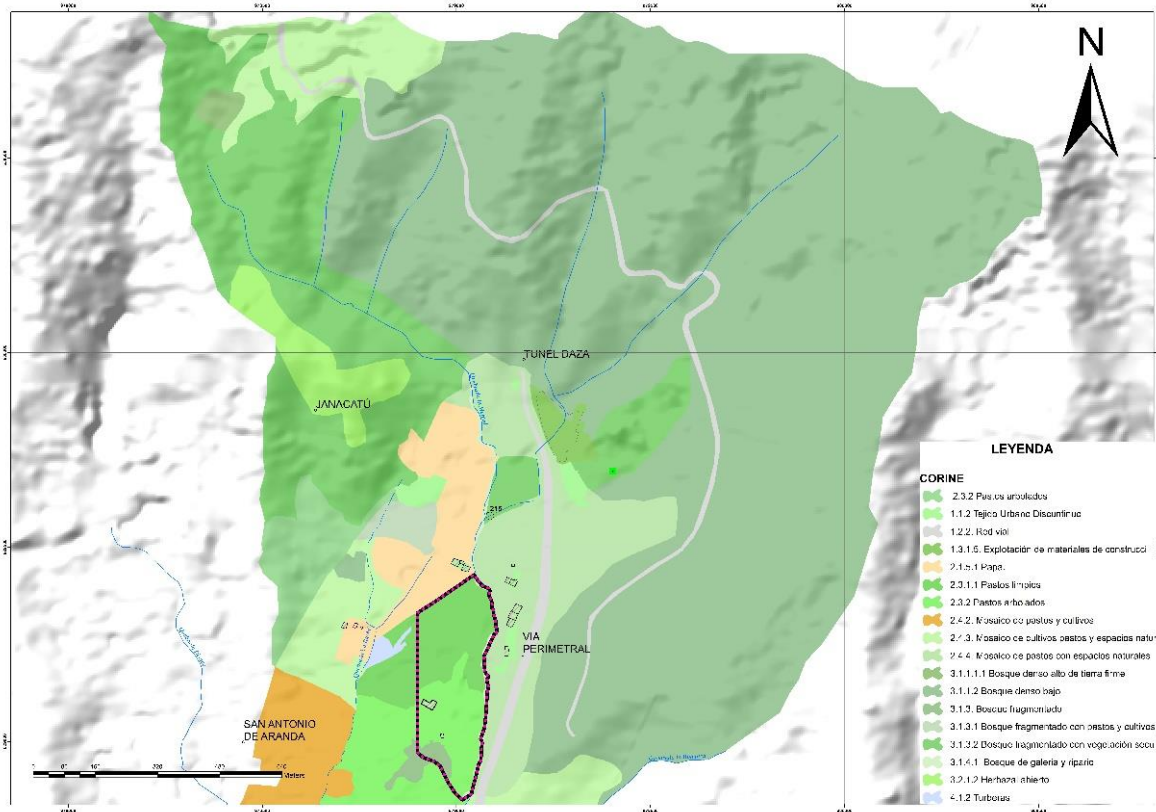


Figura 58. Mapa de Cobertura y Uso de Suelo.

Tabla 27. Ponderación Cobertura y Uso del suelo.

Cobertura	Ponderación
Bosque de Galería y ripario	0.15
Tejido Urbano y discontinuo	0.2
Pastos arbolados	0.25
Pastos limpios	0.4



- Pendientes

La pendiente de la ladera se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal (IDEAM, 2012), y está muy relacionada con la ocurrencia de movimientos en masa dado que es uno de los principales factores condicionantes e influye en los análisis de estabilidad de taludes, en este sentido en las pendientes de menor ángulo la probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa es menor y entre mayor sea el Angulo mayor probabilidad de ocurrencia, por tanto y de acuerdo con lo anterior se asigna un valor de ponderación para cada rango de pendientes definido en el presente estudio como se muestra en la Tabla 28 y Figura 59.

Tabla 28. Ponderación de pendiente.

Rango de Pendiente	Ponderación
<5	0.05
6 - 10	0.1
11 - 15	0.2
16 - 20	0.3
21 - 30	0.35

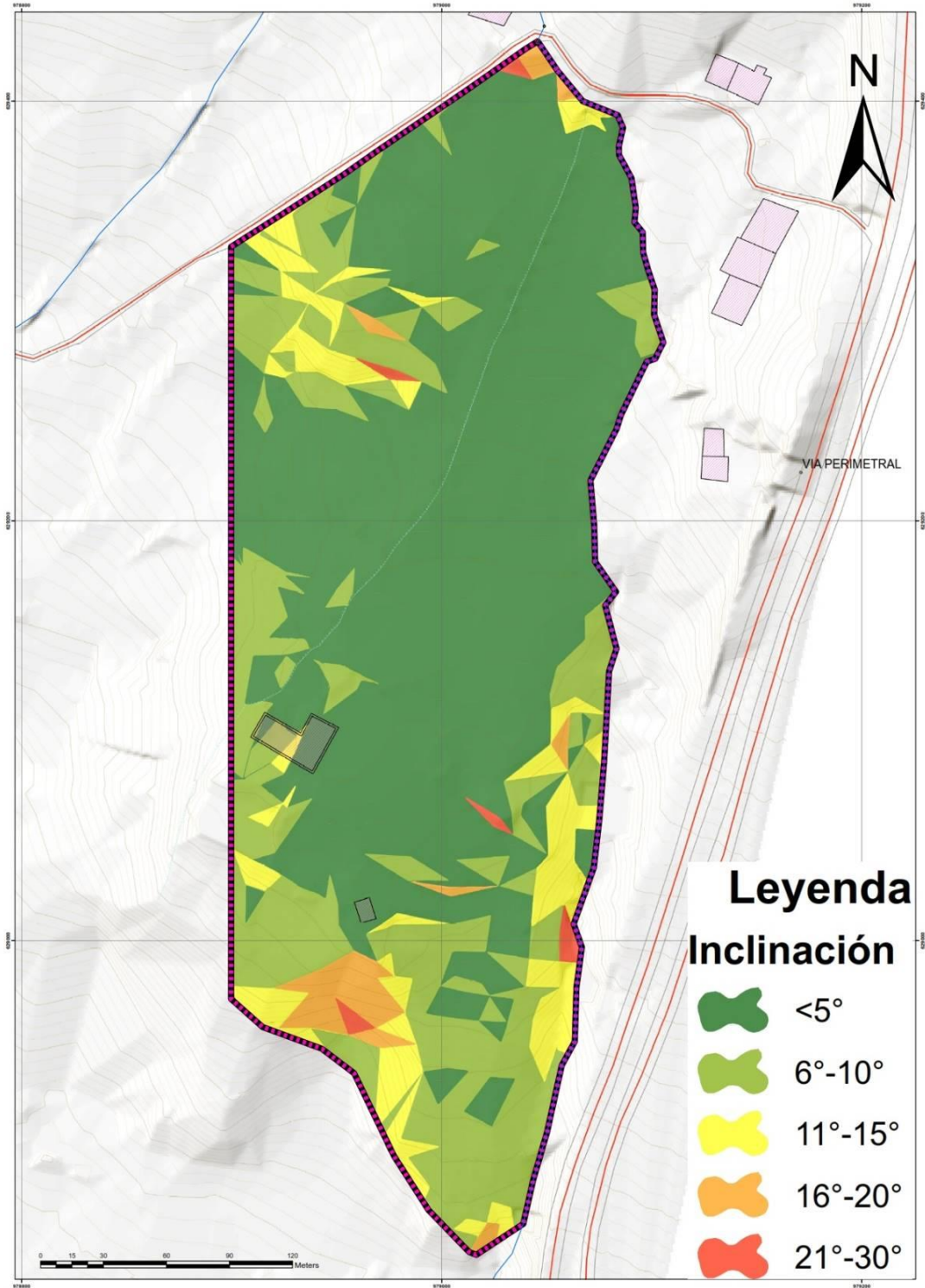




Figura 59. Mapa de pendientes zona de estudio.

- Geomorfología

En el área de estudio se identificó cuatro elementos geomorfológicos que se han formado en los ambientes morfogenéticos denudativo y fluvial, los cuales se han modelado en depósitos volcánicos principalmente y el origen de su morfometría se ha dado a partir de procesos erosivos y sedimentarios. En este sentido y como se muestra en la Tabla 29, a cada elemento identificado se le asignó un valor de ponderación de acuerdo con la influencia que tiene cada uno en la posible generación de movimientos en masa.

Tabla 29. Ponderación elementos geomorfológicos.

Elementos geomorfológicos	Ponderación
Lomeríos denudados en depósitos piroclásticos	0.18
Valles estrechos en V en depósitos de vertiente	0.33
Planicies onduladas en depósitos piroclásticos	0.2
Laderas erosivas cortas en depósitos piroclásticos	0.29

- Unidades de Geología para Ingeniería

Las unidades de geología para ingeniería se tomaron de los insumos de Plan Parcial Aranda (CIDETER, 2019), a partir de la exploración indirecta por métodos geofísicos desarrollado por los mismos, analizando dicha información se pudo determinar que los perfiles LSR4 y LSR5 se elaboraron en el área de estudio como se muestra en la Figura 61, y por tanto, se tomó los resultados que se muestran en la Tabla 30, para describir las UGI, así como algunos parámetros que se requieren para el presente análisis.

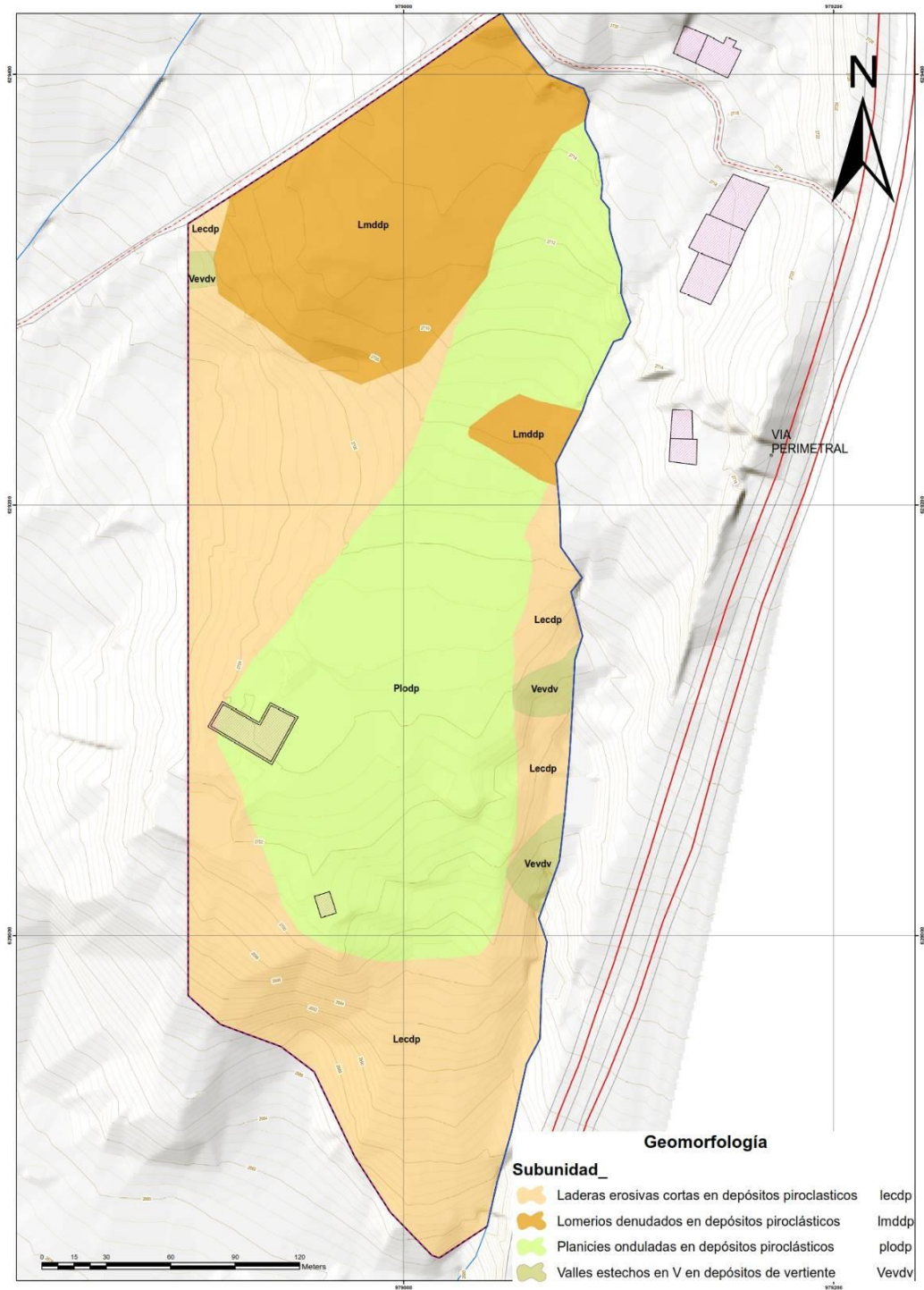


Figura 60. Mapa de Elementos geomorfológicos área de estudio.

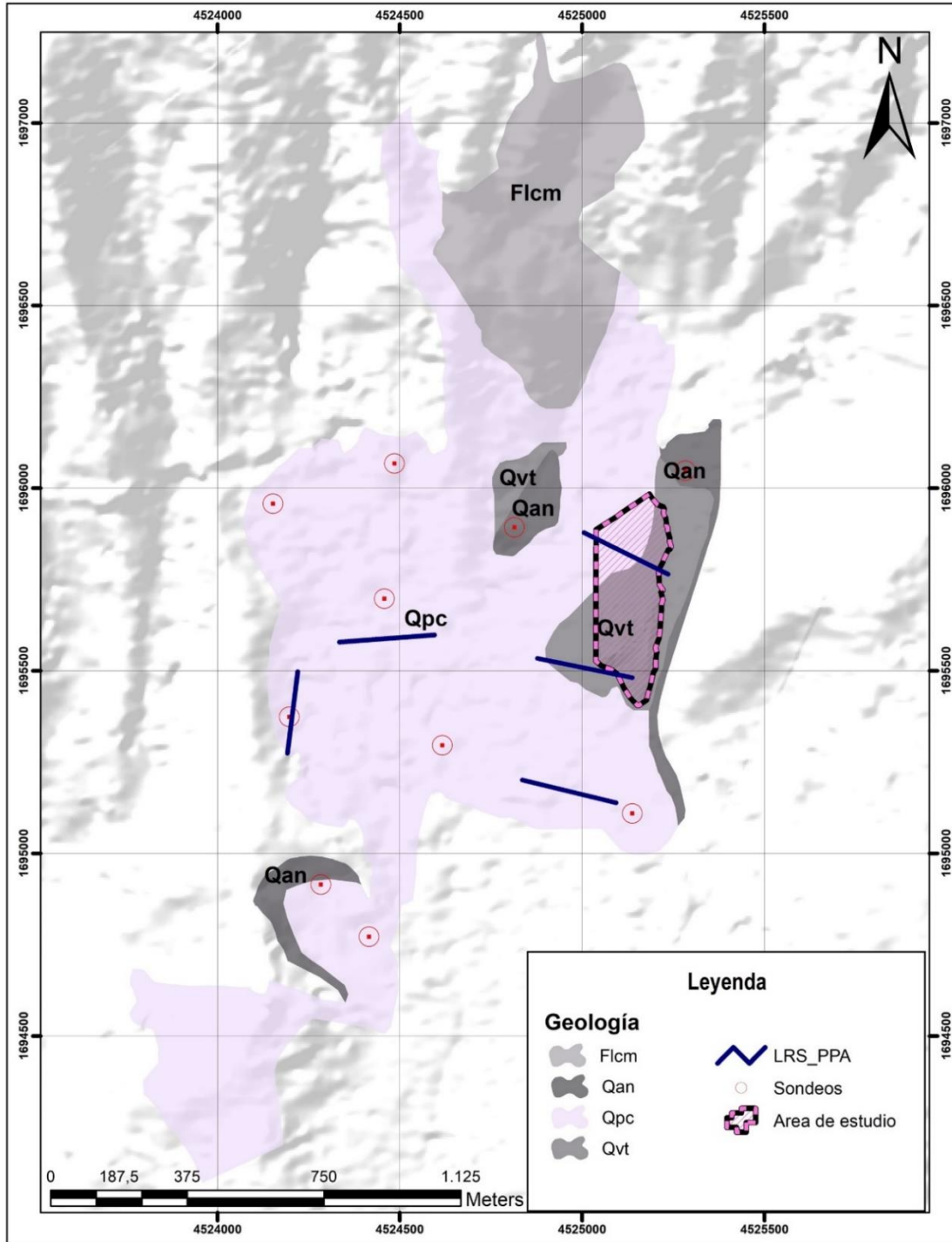


Figura 61. Perfiles de exploración indirecta por métodos geofísicos tomado de (CIDETER, 2019) y ajustado para el presente estudio.



Tabla 30 Resultados exploración indirecta (CIDETER, 2019).

PARAMETROS ELASTOMECÁNICOS LINEA AP - 04										
Capa	VeLocidades		Espesor (m)	Modulo de Poison	Modulo de Elasticidad Kg/m2	Modulo de onda P (Kpa)	Densidad g/cm3	Modulo Cortante (Kpa)	G max (Ton/m2)	Formacion /Litologia
	vP (m/s)	vS (m/s)								
1	600	346.4	1.81	0.25	7,200.0	468,000.0	1.30	390,000.00	15,907.57	Suelo
2	1,500	918.6	13.67	0.20	45,000.0	4,725,000.0	2.10	4,252,500.00	180,680.88	Depósitos de vertiente (Qvt)
3	1,600	979.8	>10	0.20	51,200.0	5,632,000.0	2.20	5,068,800.00	215,363.96	Depósitos tipo flujo de cenizas (Qpc-2)
PARAMETROS ELASTOMECÁNICOS LINEA AP - 05										
Capa	VeLocidades		Espesor (m)	Modulo de Poison	Modulo de Elasticidad Kg/m2	Modulo de onda P (Kpa)	Densidad g/cm3	Modulo Cortante (Kpa)	G max (Ton/m2)	Formacion /Litologia
	vP (m/s)	vS (m/s)								
1	100	57.7	1.52	0.25	200.0	15,000.0	1.50	12,500.00	509.86	Suelo
2	1,500	918.6	>10	0.20	45,000.0	5,625,000.0	2.50	5,062,500.00	215,096.29	Depósitos tipo flujo de cenizas (Qpc-2)

De acuerdo con estos resultados, se puede determinar que en el área de estudio se encuentran dos unidades que corresponden a depósitos de vertiente con espesores de hasta 13 m y a depósitos tipo flujo de cenizas con un espesor mayor a 10 metros, las dos unidades cuentan con capas de suelo blando con espesores que varían entre 1,5 y 1.8 m, como se aprecia en la Figura 62.

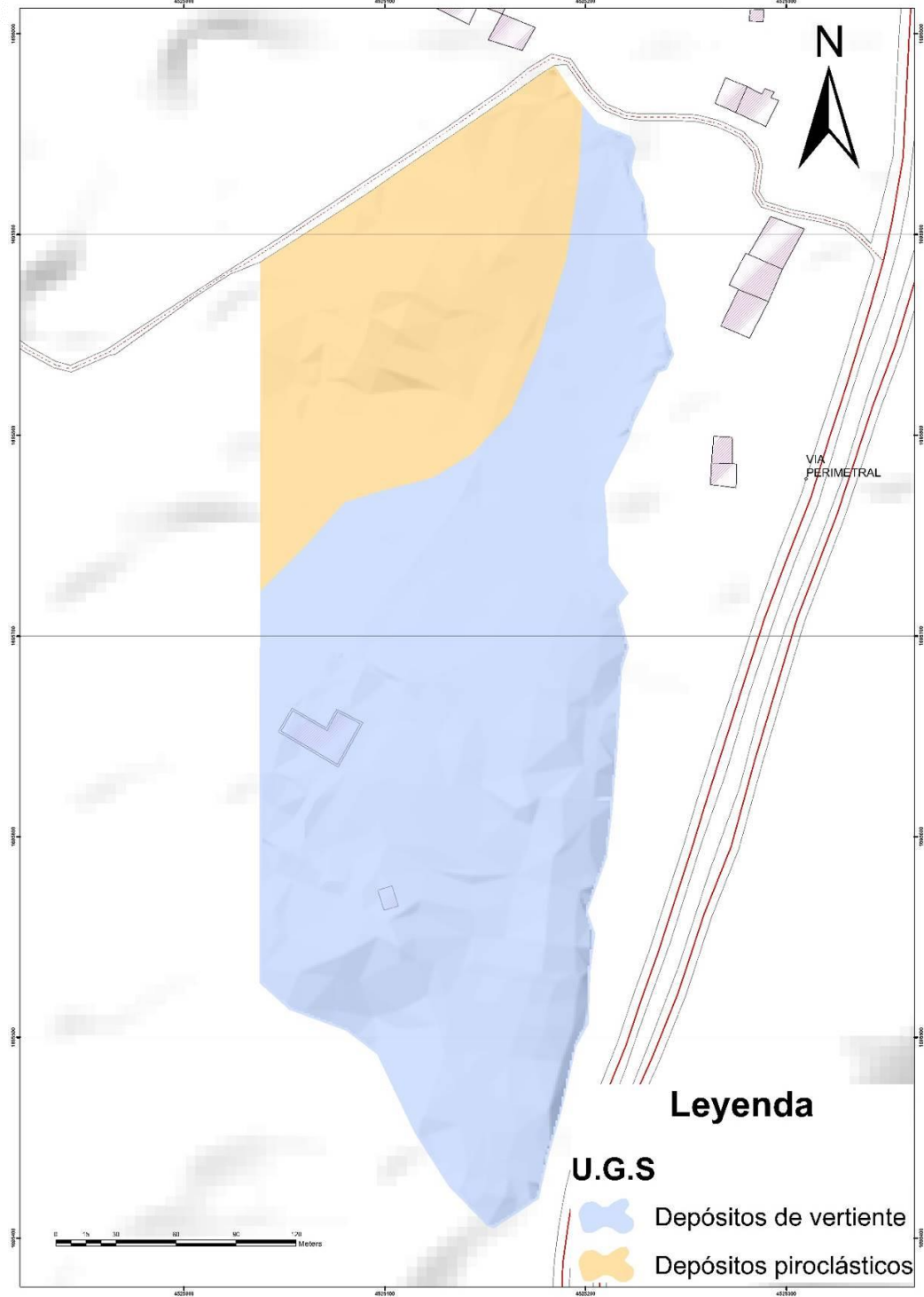


Figura 62. Mapa de Unidades de Geología para Ingeniería.





Conforme a lo anterior se asignó un valor de ponderación a las dos unidades de geología para ingeniería que se encuentran en el área de estudio, como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31. Ponderación UGI.

<b>UGI</b>	<b>Ponderación</b>
Depósito de Vertiente	0.55
Depósitos Flujo de Cenizas	0.45

- Exploración básica del subsuelo y ensayos de laboratorio.

Los productos y resultados de la exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio se tomaron del documento de Plan Parcial Aranda (CIDETER, 2019), para lo cual se utilizó la información de los sondeos de exploración geotécnica y los ensayos de laboratorio que tienen relación con las UGI que se presentan en la zona de estudio, como se muestra en la Figura 61.

De acuerdo al documento generado por (CIDETER, 2019), por medio de métodos directos se ejecutaron 10 sondeos distribuidos en toda el área de Plan Parcial Aranda, como se muestra en la Figura 61, y en la Tabla 32, a partir de los cuales se elaboró diferentes ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades presentes en el área de estudio, donde los sondeos del SM1 al SM6, se toman para el presente análisis, puesto que corresponden a la unidad Qpc – flujos de ceniza, la cual que se presenta en el área de estudio. De igual manera se realizó exploración geotécnica por métodos indirectos tomando cinco líneas de refracción sísmica como se muestra en la Tabla 33 donde se toma los datos LRS 4 y 5, puesto que estos perfiles se ubican en el área del presente estudio.



Tabla 32. Localización Exploración Geotécnica directa Plan Parcial Aranda en el Municipio de Pasto tomado de (CIDETER, 2019).

SONDEOS			COORDENADAS FINALES	
Numero	Profundidad [m]	Nivel Freático [m]	Latitud	Longitud
SM-1	15	S.N.F	1°14'7.06"N	77°16'26.15"O
SM-2	15	S.N.F	1°14'21.93"N	77°16'28.98"O
SM-3	15	0.5	1°14'19.47"N	77°16'15.47"O
SM-4	15	6.0	1°14'32.53"N	77°16'20.59"O
SM-5	15	6.0	1°14'40.97"N	77°16'30.47"O
SM-6	15	7.0	1°14'44.52"N	77°16'19.75"O
SM-7	15	5.0	1°14'43.91"N	77°15'54.03"O
S-1	3	S.N.F	1°14'2.44"N	77°16'21.93"O
S-2	3	S.N.F	1°14'13.41"N	77°15'58.66"O
S-3	3	S.N.F	1°14'38.86"N	77°16'9.12"O

Tabla 33. Localización de Líneas de refracción sísmica fuente (CIDETER, 2019).

LRS No.	Coordenadas iniciales		Coordenadas Finales		Longitud [m]	Sondeos de Calibración
	Latitud (N)	Longitud (W)	Latitud (N)	Longitud (W)		
LRS No. 1	1°14'18.9"	77°16'28.7"	1°14'25.8"	77°16'27.8"	213.75	SM-2
LRS No. 2	1°14'28.6"	77°16'24"	1°14'29.3"	77°16'15.9"	251.33	SM-4
LRS No. 3	1°14'16.3"	77°16'07.8"	1°14'14.4"	77°15'59.8"	243.06	S-2
LRS No. 4	1°14'27.1"	77°16'06.5"	1°14'25.5"	77°15'58.5"	254.11	S-2
LRS No. 5	1°14'38.3"	77°16'02.5"	1°14'34.7"	77°15'55.2"	251.31	S-3

Finalmente, la susceptibilidad es definida con base en la expresión presentada a continuación:

$$IS = \sum_{i=0}^n (Pend * 0.30 + Cobert * 0.18 + UGI * 0.3 + Geomorf * 0.22)$$

Los rangos para la clasificación de la susceptibilidad se presentan en la Tabla 34 y en la Figura 63 se presenta su espacialización.



Tabla 34. Rangos y nivel de susceptibilidad.

RANGO	NIVEL	SUSCEPTIBILIDAD
0.21 – 0.29	1	Baja
0.30 – 0.35	2	Media
> 35	3	Alta



Figura 63. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa



- Análisis de la Amenaza

Siguiendo la metodología del SGC, 2015 se realiza la identificación de zonas geotécnicamente homogéneas realizando el cruce de los mapas de elementos geomorfológicos y de UGI obteniendo como resultado tres zonas homogéneas en la zona de estudio como se muestra en la Figura 64.

Tomando los resultados de exploración geotécnica de Plan Parcial Aranda que se muestran en la Tabla 35, Tabla 36 y Tabla 37, se asignó los parámetros geotécnicos a las tres zonas homogéneas determinadas en el presente estudio, así como el nivel freático a un Tr 20 y los valores de CN y Cv como se describe en la Guía metodológica del (SGC, 2015) y se muestra en la Tabla 38.

Tabla 35. Resultados LRS, (CIDETER, 2019).

LRS	Coordenadas iniciales		Coordenadas Finales		Longitud (m)	Sondeos de Calibración
	Latitud (N)	Longitud (W)	Latitud (N)	Longitud (W)		
LRS No. 4	1°14'27.1"	77°16'06.5"	1°14'25.5"	77°15'58.5"	254.11	S-2
LRS No. 5	1°14'38.3"	77°16'02.5"	1°14'34.7"	77°15'55.2"	251.31	S-3

Tabla 36. Resultados de laboratorio, (CIDETER, 2019).

Sondeo	Muestra	Profundidad			Und Geol	NOMBRE / DESCRIPCIÓN	Compresión Inconfinada qu (kPa)	Resistencia al corte (Cu) (kPa)	Corte directo	
		DE	A	PROM					Phi°	c (kPa)
SM4	1	0.50	1.00	0.75	Qpc-1			25.30	49.70	
SM4	2	2.00	2.50	2.25	Qpc-1	65.20	32.60	22.74	67.50	
SM5	1	0.50	1.00	0.75	Qpc-1			21.58	39.80	
SM6	1	0.50	1.00	0.75	Qpc-1			19.89	64.80	
SM6	2	1.00	1.50	1.25	Qpc-1	230.00	115.00	20.06	47.80	
SM7	2	1.00	1.50	1.3	Qpc-1	100.0	50.0	23.4	41.0	

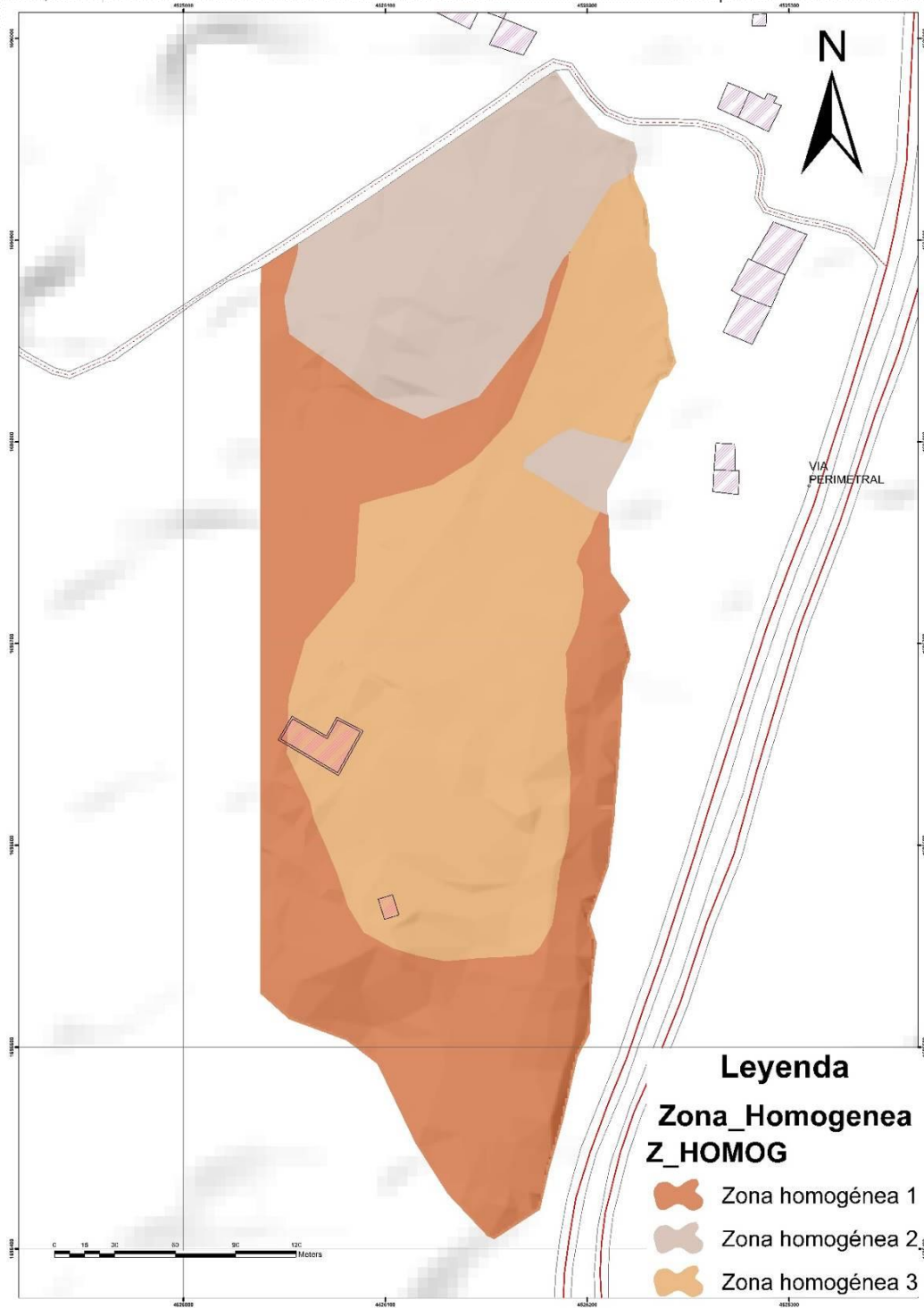


Figura 64. Zonas geotécnicamente homogéneas.



Tabla 37. Características geotécnicas de los materiales geotécnicamente homogéneos, (CIDETER, 2019).

NOMBRE	Unidad Geológica	Peso Unitario	Parámetros de resistencia	
		$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	Cohesión $c'$ Kpa	Angulo de fricción $\phi'$ (°)
Depósitos antrópicos (Qan)	Qan*	18.95	24.4***	16.24***
Depósitos de piroclastos (Qpc-1)- Material Blando	Qcp-1	17.56	51.77	22.16
Depósitos de piroclastos (Qpc-2)- Material Duro	Qcp-2	18.48	121.1***	15.68***
Depósitos de vertiente (Qvt)	Qvt**	18.48**	121.1**	15.68**

\*Parámetros adoptados a partir de la experiencia del consultor de manera conservadora

\*\*Parámetros adoptados de unidades geológica similares en la zona de estudio, correlacionados a partir de parámetros obtenidos del ensayo de refracción sísmica.

\*\*\*Parámetros adoptados de correlaciones con SPT

Tabla 38. Características Zonas geotécnicas Homogéneas.

Numero	Unidades Geológicas		Nivel Freático	CN	Cv	Nivel Freático Tr20
1	Qvt	Depósitos de Vertiente	1	71	0.38	0.32
	Qpc	Depósitos de flujo de cenizas				
2	Qvt	Depósitos de Vertiente	7	71	0.38	2.49
	Qpc	Depósitos de flujo de cenizas				
3	Qvt	Depósitos de Vertiente	1	71	0.38	0.32

Finalmente siguiendo la guía metodología para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC, 2015), se realizó el cálculo de amenaza por movimientos en masa calculando el factor de seguridad.

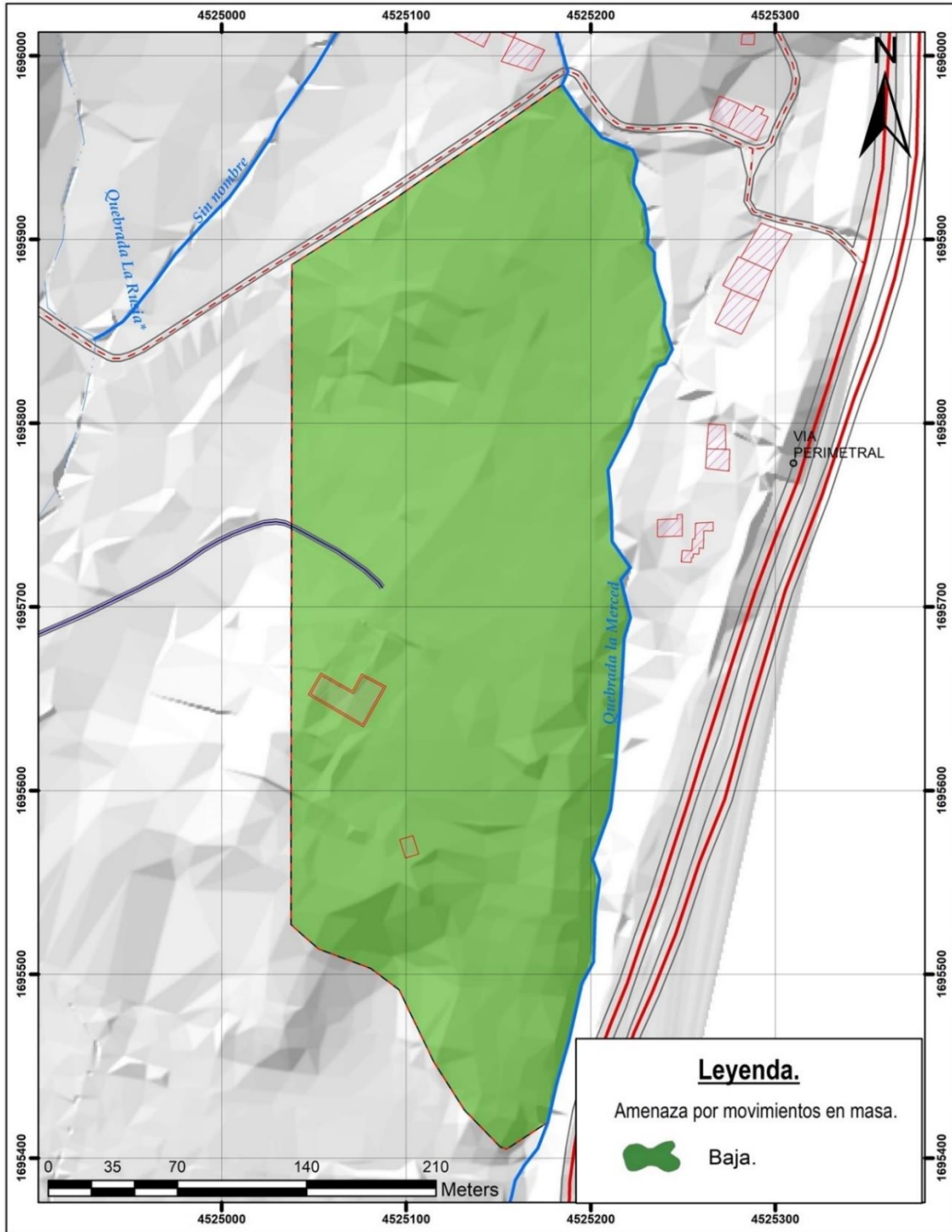


Figura 65. Mapa de Amenaza por movimientos en masa.



#### 4.1.4. Amenaza por inundaciones.

##### 4.1.4.1. Metodología

La amenaza por inundaciones metodológicamente es abordada inicialmente, con el análisis de susceptibilidad basada en la presencia de sub-unidades geomorfológicas para posteriormente utilizar un modelo hidráulico que defina las variables de profundidad y velocidad que el análisis de frecuencia son el fundamento para su categorización.

##### 4.1.4.2. Susceptibilidad ante el fenómeno de inundación

Para el análisis de la amenaza por inundaciones se inicia determinando la susceptibilidad ante el fenómeno, para lo cual se inicia con la con la identificación de elementos geomorfológicos que corresponde al máximo nivel de detalle de una unidad geomorfológica, definida por los rasgos de relieve, por la morfometría detallada del terreno y por los microrrelieves asociados con una característica litológica con base en análisis detallados (Carvajal, 2011) (SGC, 2015).

Para realizar el mapa de elementos geomorfológicos se llevó a cabo dos fases, en la primera se realizó la fotointerpretación de imágenes satelitales disponibles y el MDT generado para el presente estudio Figura 66, lo cual permitió identificar las principales formas del relieve definiendo polígonos que finalmente corresponde a los elementos geomorfológicos del predio de estudio.

En la segunda fase se realizó la verificación y corrección de los elementos encontrados con información cartográfica base como curvas de nivel Figura 67 y Figura 68, modelo de sombras Figura 69 y el mapa de pendientes Figura 70.



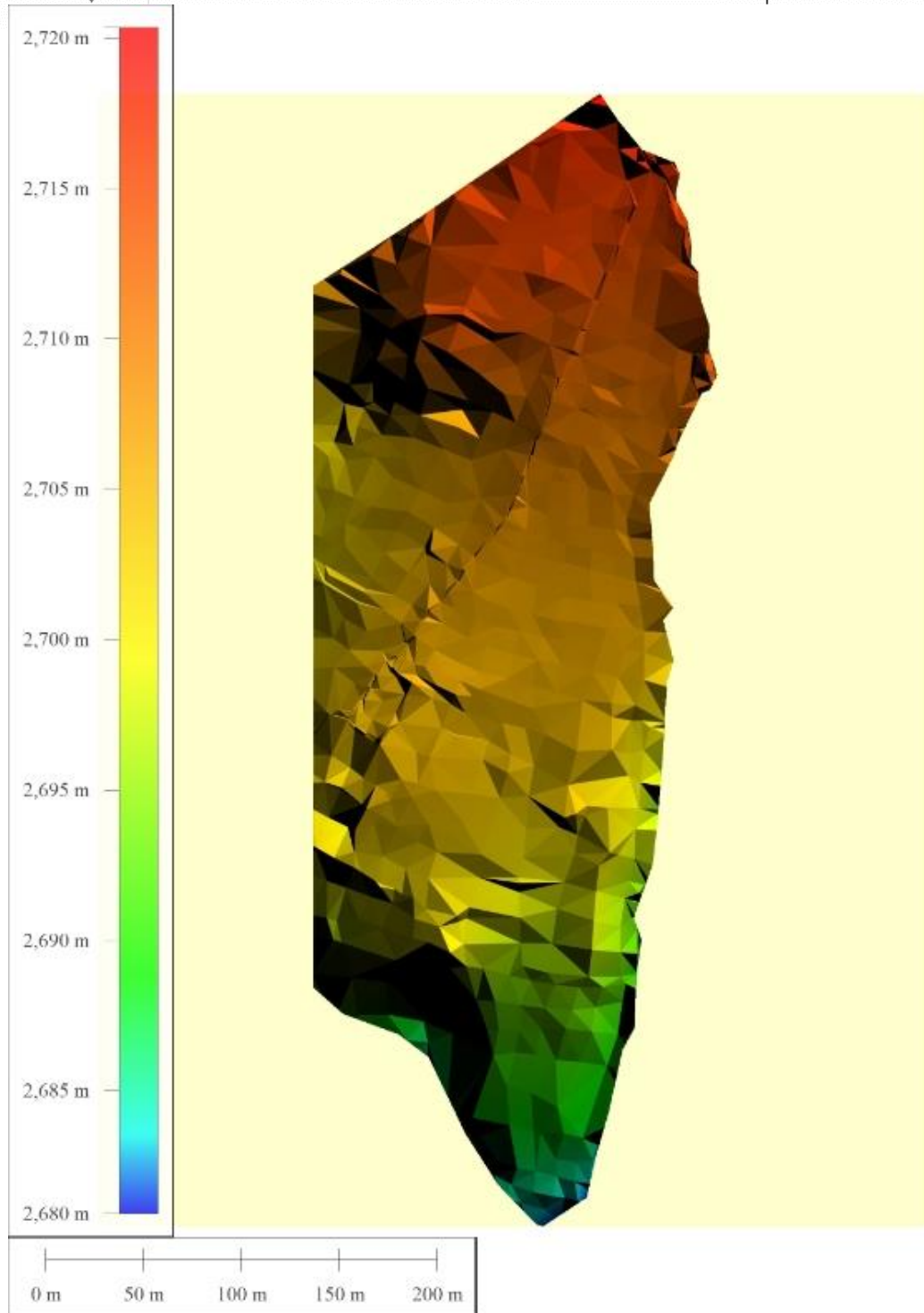


Figura 66. DEM 1X1

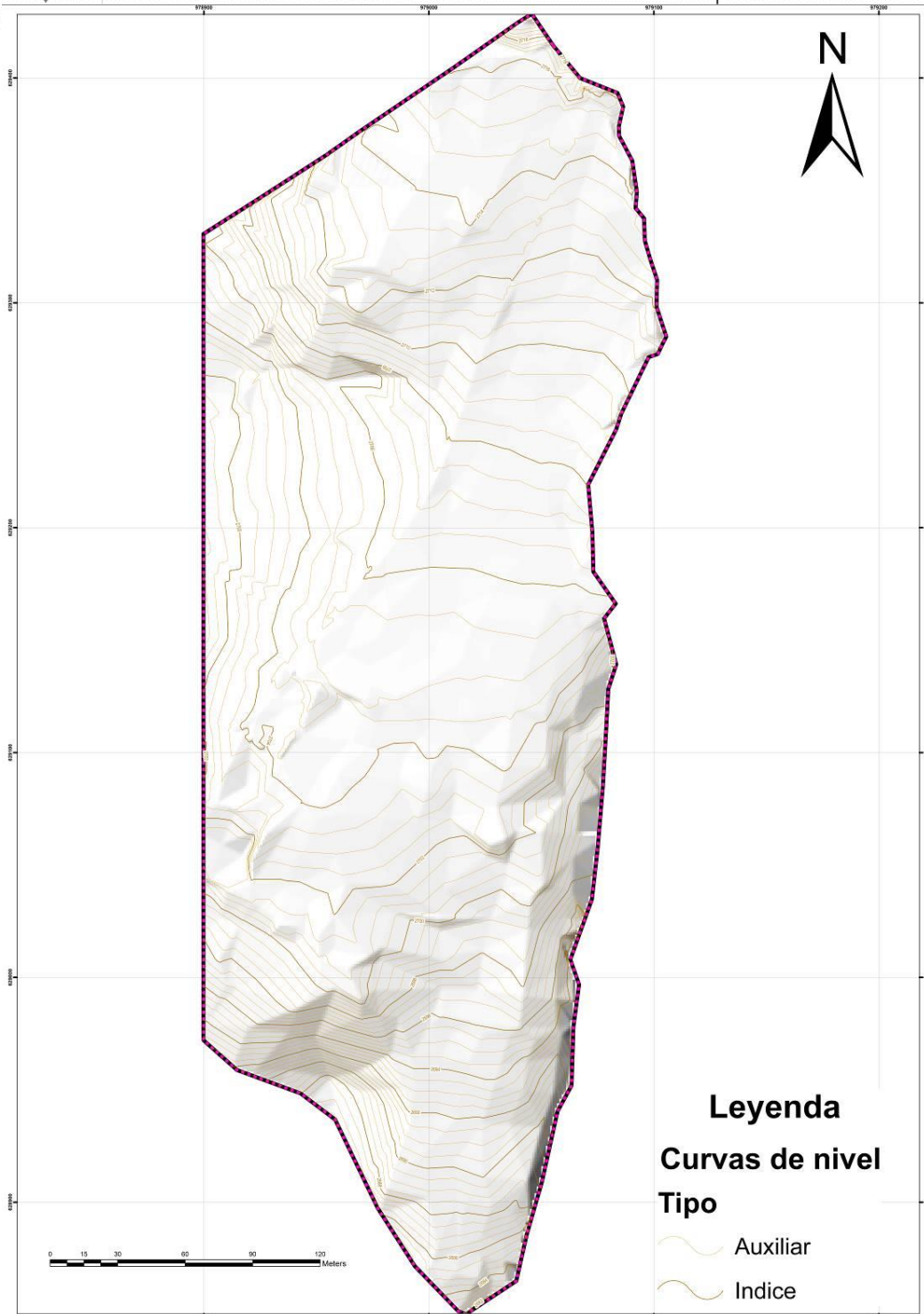
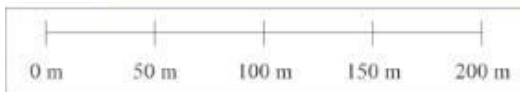
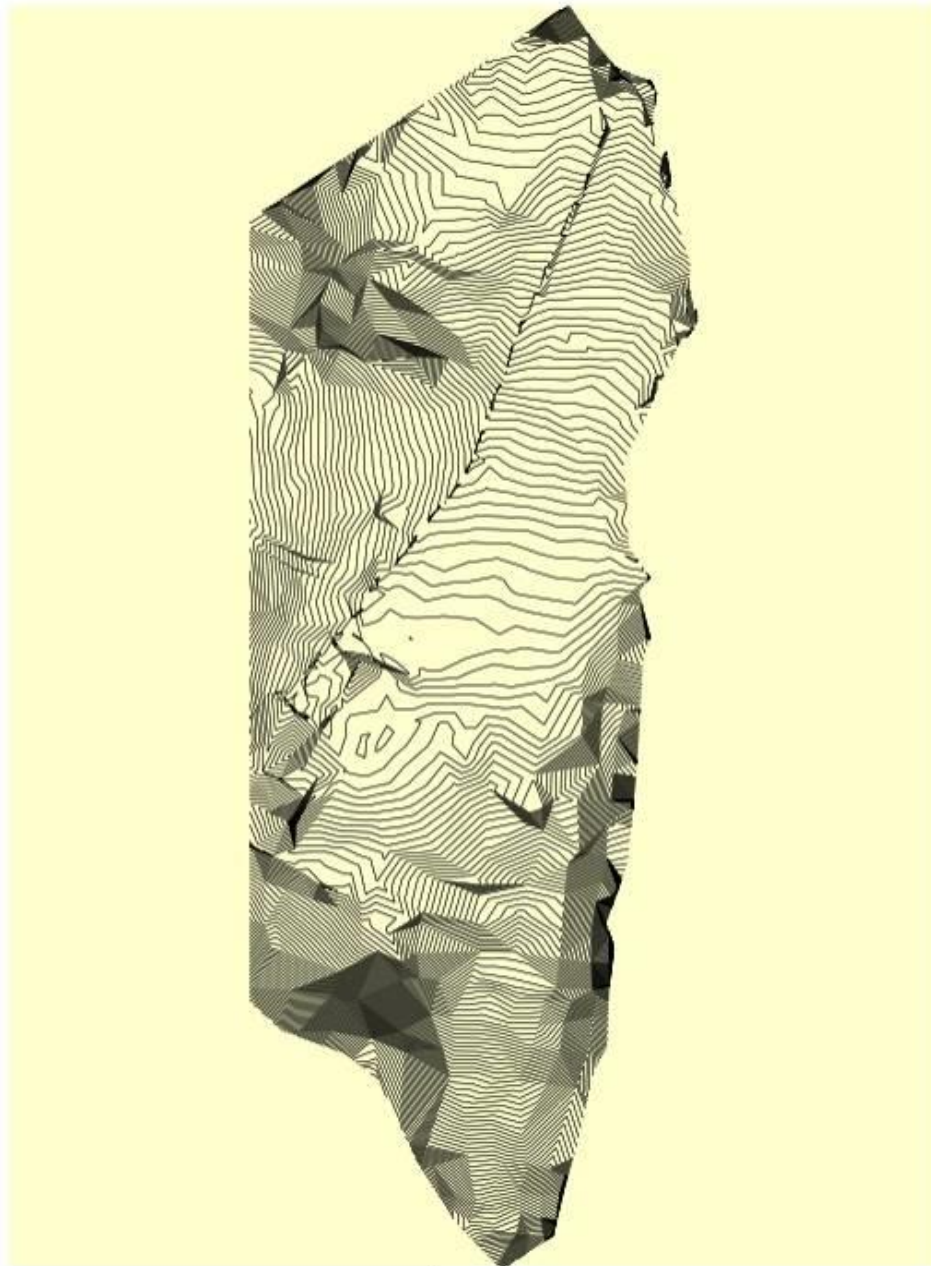


Figura 67. Curvas de Nivel.



— Unknown Line Type

Figura 68. Curvas de Nivel vistas desde Global Mapper

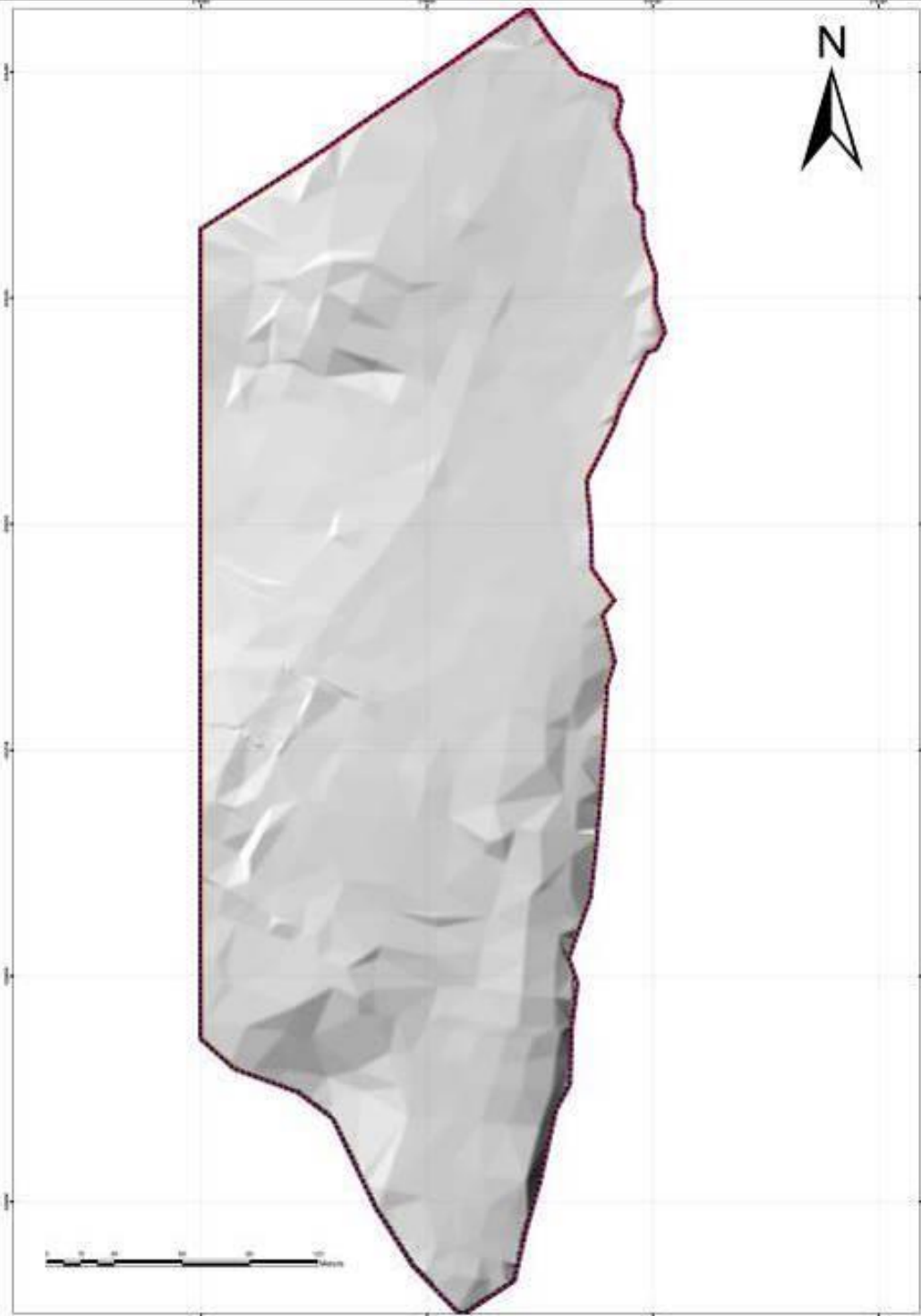


Figura 69. Modelo de Sombras

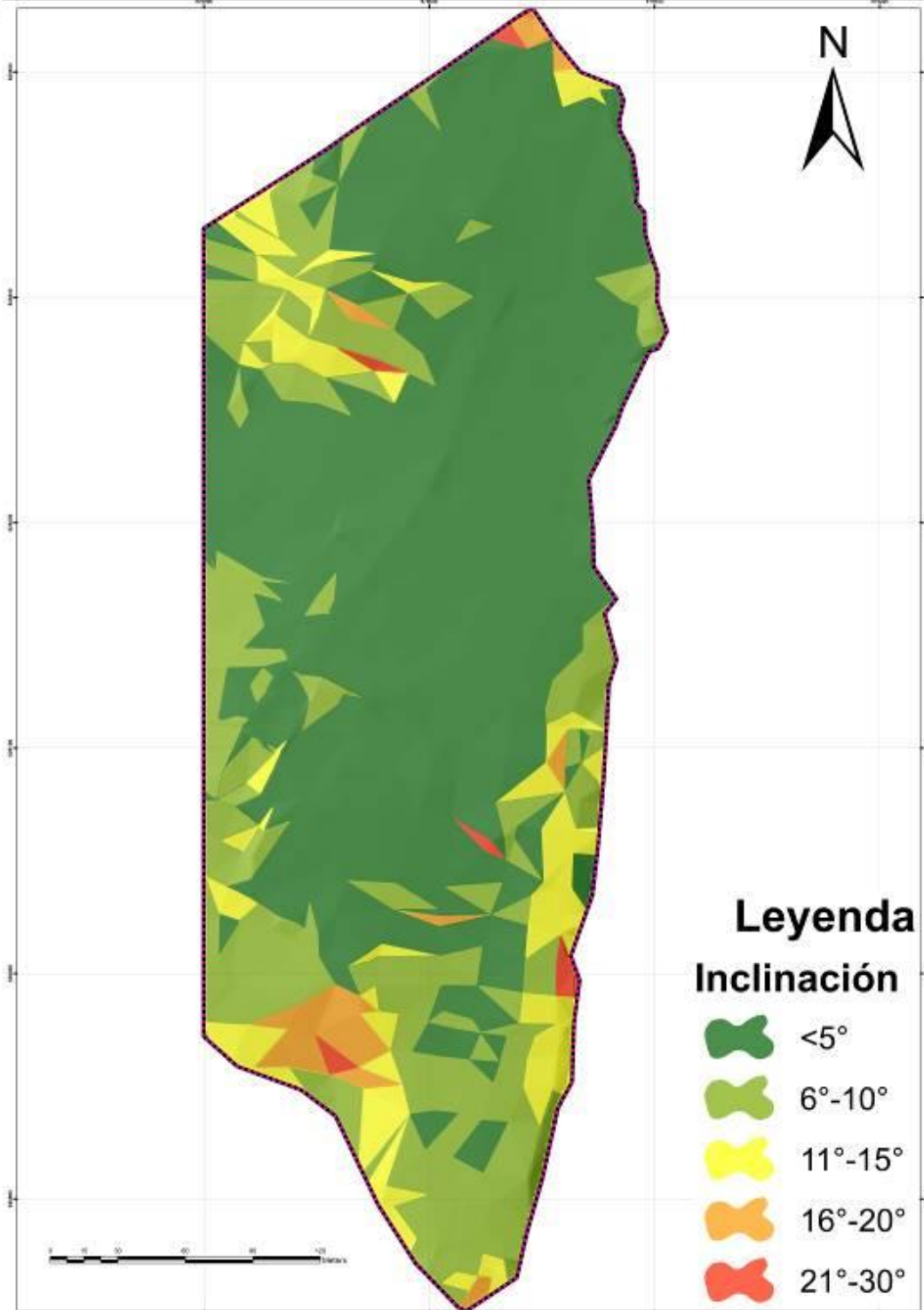


Figura 70. Mapa de pendientes.

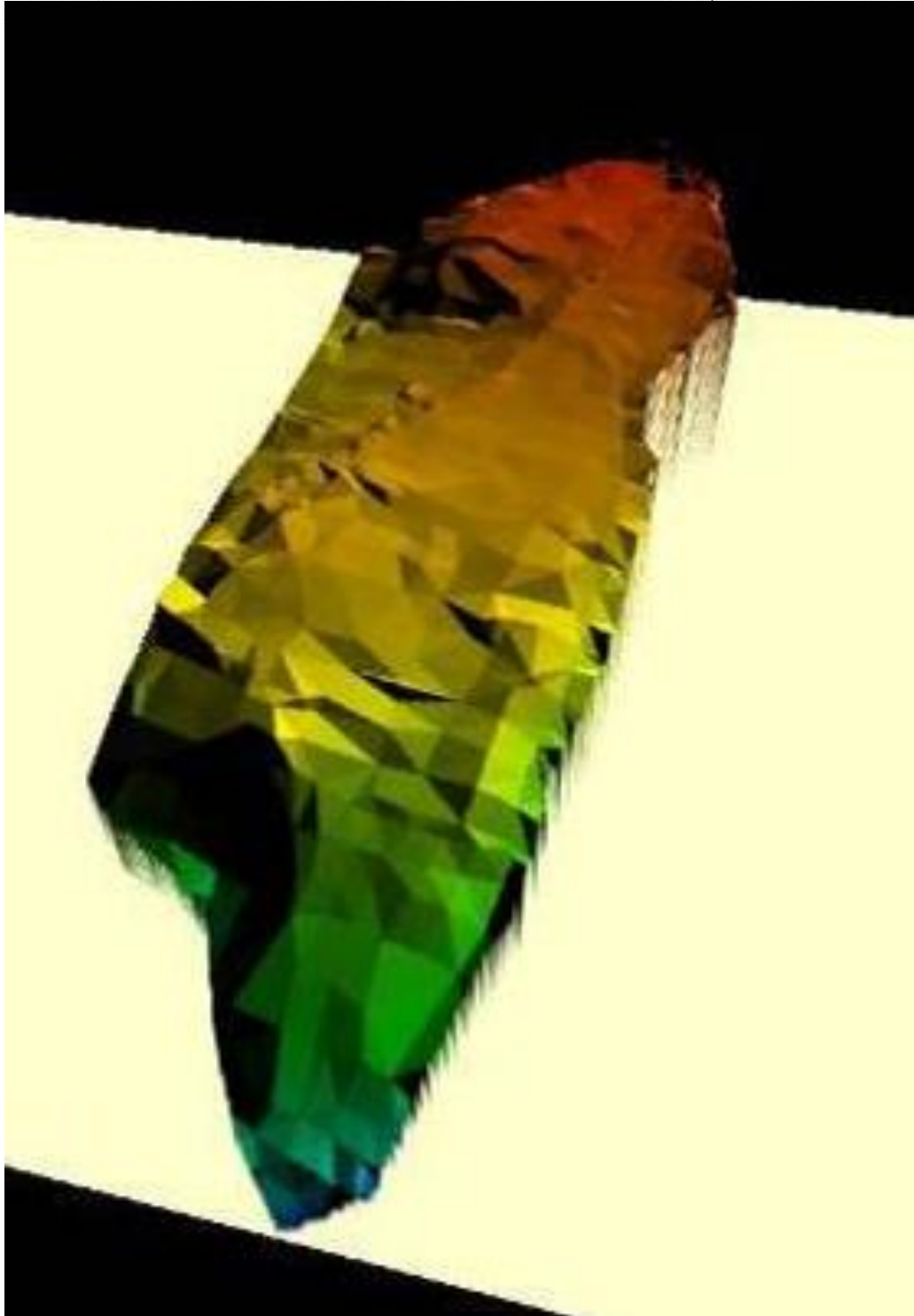


Figura 71. Vista 3D Modelo Digital de Elevación y Curvas de Nivel Global Mapper



#### 4.1.4.3. Bases Conceptuales Para La Estimación De Lluvia De Proyecto

##### - Información de Precipitación Disponible

La estimación de la lluvia de proyecto parte del análisis de la precipitación diaria anual de las estaciones meteorológicas pertenecientes al IDEAM, Wilquipamba (52045070), Universidad de Nariño (La Terraza- 52045080) y Obonuco (52045010), considerándose las estaciones más cercanas y con características similares al área de estudio. Para todas las estaciones, se tomó toda la serie completa de datos, es decir, desde el año de su instalación.

En la Tabla 39 se puede observar las coordenadas geográficas de las estaciones analizadas en este estudio y en la Figura 72, se puede observar la localización geográfica de las mismas.

Tabla 39. Coordenadas geográficas, sistema de referencia CTM-12, estaciones meteorológicas en estudio.

ID	X	Y	Altura m.s.n.m
Wilquipamba	987161.72	624232.91	2850
Universidad de Nariño	977086.59	627234.40	2626
Obonuco	974894.45	624261.32	2710

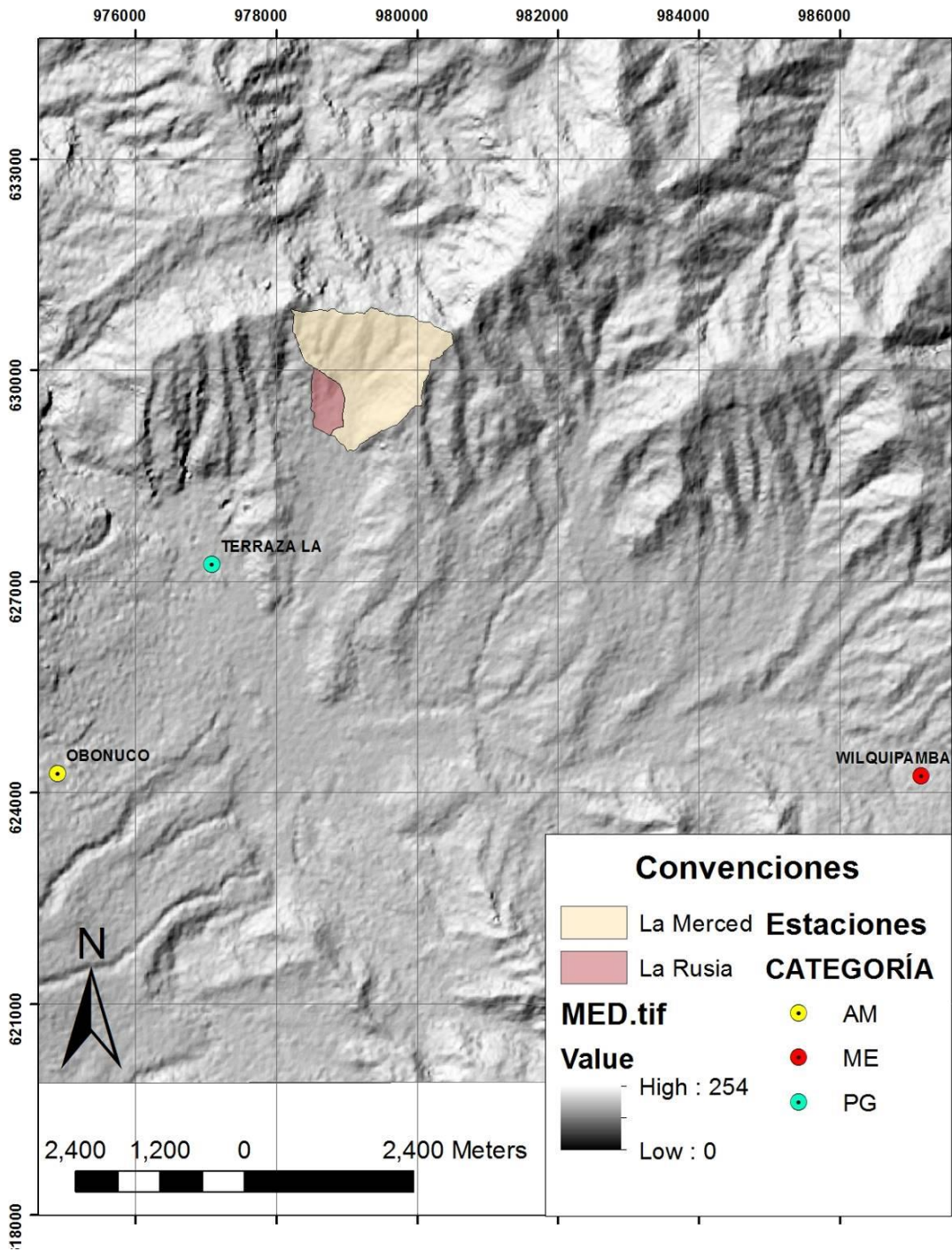


Figura 72. Localización geográfica cuencas en estudio y estaciones meteorológicas utilizadas





## - Pruebas de Hipótesis

El estudio de frecuencia de series de precipitaciones diarias máximas anuales es uno de los tópicos más estudiados de la Hidrología, dada la necesidad de estimar la probabilidad de ocurrencia de crecidas para el diseño de obras hidráulicas, protección de ciudades, delimitación de márgenes de ríos, lagunas o embalses, entre otros.

El enfoque clásico del análisis de frecuencia se basa en el empleo de una serie de histórica de datos observados de manera sistemática en una sección o punto de interés de un río o una cuenca. Para el adecuado empleo de dicha serie, es necesario verificar en primera instancia el cumplimiento de dos tipos de pruebas de hipótesis: Pruebas de Independencia y Pruebas de Homogeneidad.

Las pruebas de Independencia son utilizadas para demostrar que los valores que conforman la serie son aleatorios. Esta afirmación implica que la probabilidad de ocurrencia de uno cualquiera de ellos no depende de la ocurrencia del o de los valores precedentes, y no afecta de ninguna manera a la probabilidad de ocurrencia de los datos posteriores.

Por su parte las pruebas de Homogeneidad evalúan si todos los valores que conforman la muestra, provienen estadísticamente de una misma población. Para ello es necesario dividir la muestra en dos o más grupos de tamaños iguales (o diferentes), y se comparan los estadísticos de la muestra: media, mediana, varianza, entre otros.

La aceptación de las pruebas de independencia y homogeneidad de la muestra estará dada en función de un nivel de significancia propuesto, por lo general del 5%. (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005).



## - Nivel de Significancia

En problemas estadísticos, al afirmar cierta hipótesis que se desea contrastar, la misma recibe el nombre de hipótesis nula  $H_0$ . El nombre de “nula” indica que  $H_0$  representa la hipótesis que se mantiene como verdadera a menos que los datos indiquen su falsedad, y puede entenderse, por tanto, en el sentido de “neutra”.

La hipótesis  $H_0$ , nunca se considera probada, aunque puede ser rechazada por los datos. Por ejemplo, la hipótesis de que dos poblaciones tienen la misma media puede ser rechazada fácilmente cuando ambas difieren considerablemente, analizando muestras suficientemente grandes de ambas poblaciones. Sin embargo, no puede ser “demostrada” mediante muestreo, puesto que siempre cabe la posibilidad de que las medias difieran en una cantidad  $\delta$  lo suficientemente pequeña para que no pueda ser detectada, aunque la muestra sea muy grande.

A partir de una muestra de la población en estudio, se extrae un estadístico, esto es, un valor que es función de la muestra, cuya distribución de probabilidad esté relacionada con la hipótesis en estudio y sea conocida. Se toma entonces el conjunto de valores que es más improbable bajo la hipótesis, como región de rechazo, esto es, el conjunto de valores para el cual se considera que, si el valor del estadístico obtenido pertenece a él, se rechazará la hipótesis nula.

Es importante destacar que la probabilidad de que se obtenga un valor del estadístico que pertenezca a la región de rechazo, aun siendo cierta la hipótesis, puede calcularse. De esta manera, se puede escoger dicha región de tal forma que la probabilidad de cometer este error sea suficientemente pequeña.

Actualmente se considera siempre una hipótesis alternativa a la hipótesis nula. De manera explícita o implícita, la hipótesis nula, a la que se denota habitualmente por  $H_0$ , se enfrenta a otra hipótesis denominada hipótesis alternativa y que se denota



$H_1$ . En los casos en los que no se especifica  $H_1$  de manera explícita, se puede considerar que la misma ha quedado definida implícitamente como “ $H_0$  es falsa”.

Si por ejemplo se desea comprobar la hipótesis de que dos distribuciones tienen la misma media, se considera implícitamente como hipótesis alternativa “ambas poblaciones tienen distinta media”. Es posible, sin embargo, considerar casos en los que  $H_1$  no es la simple negación de  $H_0$ .

Un test de hipótesis se entiende, en el enfoque moderno, como una función de la muestra, corrientemente basada en un estadístico. Puede suponerse que se tiene una muestra de una población en estudio y que se han formulado hipótesis sobre un parámetro  $\theta$  relacionado con la distribución estadística de la población. Supongamos que se dispone de un estadístico  $T(X)$  cuya distribución con respecto a  $\theta$ ,  $F_0(T)$  se conoce. Supongamos, también, que las hipótesis nula y alternativa tienen la siguiente formulación:

$$\begin{cases} H_0 : \theta \in \Theta_0 \\ H_1 : \theta \in \Theta_1 \end{cases}$$

Un contraste, prueba o test para dichas hipótesis sería una función de la muestra de la siguiente forma:

$$\phi(X) = \begin{cases} 1,0 & \text{SI } T(X) \in \Omega \\ 0,0 & \text{SI } T(X) \notin \Omega \end{cases}$$

Donde  $\phi(x) = 1,0$  significa que se debe rechazar la hipótesis nula,  $H_0$  (aceptar  $H_1$ ) y  $\phi(x) = 0,0$ , que debemos aceptar  $H_0$  (o que no hay evidencia estadística contra  $H_0$ ). A  $\Omega$  se la denomina región de rechazo. En esencia, para construir el test deseado, basta con escoger el estadístico del contraste  $T(X)$  y la región de rechazo  $\Omega$ .



Se escoge  $\Omega$  de tal manera que la probabilidad de que  $T(X)$  caiga en su interior sea baja cuando se da  $H_0$ . Una vez realizado el contraste de hipótesis, se habrá optado por una de las dos hipótesis,  $H_0$  o  $H_1$ , y la decisión escogida coincidirá o no con la que en realidad es cierta. Se pueden dar los cuatro casos que se exponen a continuación.

		$H_0$ es cierta	$H_1$ es cierta
Se escogió $H_0$		No hay Error	Error de Tipo II
Se escogió $H_1$		Error de Tipo I	No hay Error

En el cuadro, los errores se definen de la siguiente manera: Si uno decide que la hipótesis nula:  $H_0$  es verdadera y efectivamente  $H_0$  es cierta, entonces no se ha cometido ningún error, correspondiendo la posición superior izquierda de la tabla precedente. Por el contrario, si uno afirma la validez de  $H_0$  y ésta en realidad no es verdadera, entonces se estaría incurriendo en un error. A este tipo de error de aceptar  $H_0$  cuando esta no es verdadera se lo denomina Error de Tipo II (cuadro superior derecho).

De igual modo, al elegir como verdadera la hipótesis alternativa  $H_1$ , cuando en realidad es válida  $H_0$ , se comete un error al cual se denomina error de Tipo I (cuadro inferior izquierdo). Por último, al elegir como cierta  $H_1$  y resultar ésta verdadera no se comete ningún error y se encuentra en el cuadrante inferior derecho de la tabla precedente.



Si la probabilidad de cometer un error de tipo I está unívocamente determinada, su valor se suele denotar por la letra griega  $\alpha$ , y en las mismas condiciones, se denota por  $\beta$  la probabilidad de cometer el error de tipo II, esto es:

$$P(\text{escoger } H_1 \mid H_0 \text{ es cierta}) = \alpha$$

$$P(\text{escoger } H_0 \mid H_1 \text{ es cierta}) = \beta$$

El valor  $\alpha$  es también conocido como nivel de significancia de la prueba. Se denomina potencia del contraste al valor  $1-\beta$ , esto es, a la probabilidad de escoger  $H_1$  cuando esta es cierta.

Cuando es necesario diseñar un contraste de hipótesis, sería deseable hacerlo de tal manera que las probabilidades de ambos tipos de error fueran tan pequeñas como fuera posible. Sin embargo, con una muestra de tamaño prefijado, disminuir la probabilidad del error de tipo I,  $\alpha$ , conduce a incrementar la probabilidad del error de tipo II,  $\beta$ .

Usualmente, se diseñan los contrastes de tal manera que la probabilidad  $\alpha$  sea el 5% (0,05), aunque a veces se usan el 10% (0,1) o 1% (0,01) para adoptar condiciones más relajadas o estrictas. El recurso para aumentar la potencia del contraste, esto es, disminuir  $\beta$ , probabilidad de error de tipo II, es aumentar el tamaño de la muestra, lo que en la práctica conlleva un incremento de los costos del estudio que se quiere realizar, ver Figura 73. (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005).

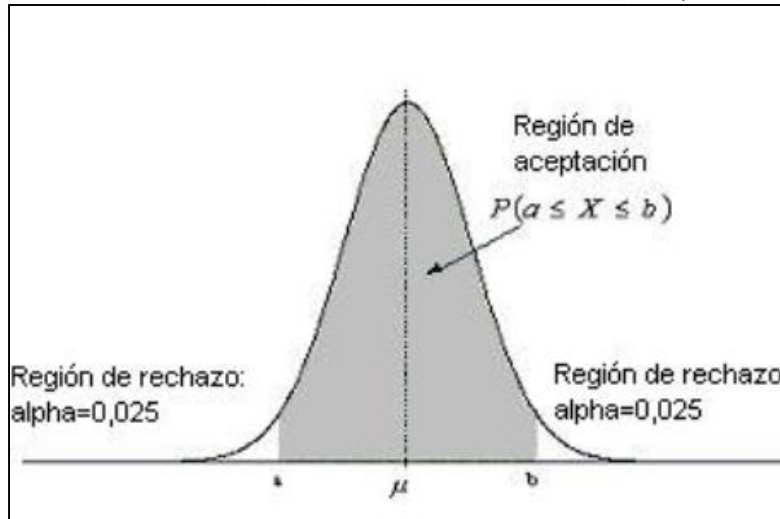


Figura 73. Región de rechazo y aceptación en la distribución normal Fuente: (Tucci, 1993).

#### - Prueba Estadística De Datos Dudosos De Chow (OUTLIERS)

Los outliers son datos que se alejan significativamente de la tendencia de la información y que afectan de una manera considerable la magnitud de los parámetros estadísticos de la serie (ver Tabla 40), especialmente en muestras pequeñas. Para detectar los datos dudosos, se calculan umbrales superiores e inferiores para cada serie de datos. Para ello se emplean las ecuaciones recomendadas por (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

$$y_H = \mu_y + K_n \cdot \sigma_y$$

$$y_L = \mu_y - K_n \cdot \sigma_y$$

Donde:

$y_L$  Umbral inferior para datos dudosos en unidades logarítmicas.



$\mu_y$  Media de los logaritmos de los caudales.

$\sigma_y$  Desviación estándar de los logaritmos de los caudales.

$K_n$  Valor tabulado para una muestra de tamaño n.

Tabla 40.  $K_n$  para prueba de datos atípicos de Chow, (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Tamaño muestra n	$K_n$	Tamaño muestra n	$K_n$	Tamaño muestra n	$K_n$	Tamaño muestra n	$K_n$
10	2.036	18	2.335	26	2.502	34	2.616
11	2.088	19	2.361	27	2.519	35	2.628
12	2.134	20	2.385	28	2.534	36	2.639
13	2.175	21	2.408	29	2.549	37	2.650
14	2.213	22	2.429	30	2.563	38	2.661
15	2.247	23	2.448	31	2.577	39	2.671
16	2.279	24	2.467	32	2.591	40	2.682
17	2.309	25	2.486	33	2.604		

#### - Prueba de Independencia De Anderson

La prueba que se propone para determinar si las variables que integran las series de las estaciones seleccionadas son independientes es la de: Anderson. La misma se presenta a continuación:

La prueba de independencia de Anderson (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005) hace uso del coeficiente de auto correlación serial  $r_k^j$  para diferentes tiempos de retraso k. En el caso de analizar un solo registro, entonces  $j = 1$ .

La expresión para obtener el coeficiente de auto correlación serial de retraso k se presenta a continuación.

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j-k} (q_i^j - \bar{q}^j) \cdot (q_{i+k}^j - \bar{q}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (q_i^j - \bar{q}^j)^2}$$



Para:  $k = 1, 2, \dots, \frac{n_j}{3}$

Donde:

$$\bar{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}$$

Además, los límites al 95% de confianza para  $r_k^j$  se pueden obtener mediante:

$$r_k^j(95\%) = \frac{-1 \pm 1,96 \sqrt{(n_j - k - 1)}}{n_j - k}$$

La gráfica de los valores estimados para  $r_k^j$  (ordenadas) contra los tiempos de retraso  $k$  (abscisas), junto con sus correspondientes límites de confianza, se denomina correlograma de la muestra.

Si no más del 10% de los valores  $r_k^j$  sobrepasan los límites de confianza, se dice que la serie  $Q_i^j$  es independiente y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad. (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).

#### - Pruebas de Homogeneidad

Durante el desarrollo de este Estudio se han aplicado dos pruebas de Homogeneidad. Dichas pruebas permiten determinar si las variables que integran cada una de las series de las estaciones seleccionadas pertenecen estadísticamente a una misma población (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005). Estas pruebas han sido las de  $t$  de Student y Cramer.





▪ **Prueba Estadística *t* de Student**

Si se considera una serie  $Q_i^j$  para  $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$ , del sitio  $j$ , la cual se divide en dos conjuntos de tamaño  $n_1 = n_2 = \frac{n_j}{2}$ . En el caso de que no se cuente con muestras pares las submuestras no tendrán igual número de datos, difiriendo por uno, lo cual no afecta la validez de la prueba (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005).

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[ \frac{n_1 \cdot s_1^2 + n_2 \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

Donde:

$\bar{x}_1, s_1^2$ : son la media y la varianza de la primera parte del registro de tamaño  $n_1$

$\bar{x}_2, s_2^2$ : son la media y la varianza de la segunda parte del registro de tamaño  $n_2$

El valor absoluto de  $t_d$  se compara con el valor de la distribución  $t$  de Student de dos colas y con  $\nu = n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad y para un nivel de significancia:  $\alpha = 0,05$ .

Si y solo si el valor absoluto de  $t_d$  es mayor que aquel de la distribución  $t$  de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia, y por lo tanto la serie  $Q_i^j$  se considera no homogénea. En caso contrario la serie es Homogénea. (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005).



▪ **Prueba Estadística de Cramer**

Esta prueba se utiliza con el propósito de verificar homogeneidad en el registro  $Q_i^j$  de la serie  $j$  para  $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$ , y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un período de tiempo a otro (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005). Con este propósito se consideran tres bloques, el primero del tamaño total de la muestra,  $n_j$ , el segundo de tamaño  $n_{60}$  (últimos 60% de los valores de la muestra) y el tercero de tamaño  $n_{30}$  (últimos 30% de los valores de la muestra). La prueba compara el valor  $\bar{Q}^j$  del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos  $\bar{Q}_{60}^j$  y  $\bar{Q}_{30}^j$ . Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los dos bloques (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).

$$\bar{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}$$

Para una sola muestra analizada  $j = 1$ .

$$S_Q^j = \left[ \frac{1}{(n_j - 1)} \cdot \sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{Q}_{60}^j = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{Q_k^j}{n_{60}}$$

$$\bar{Q}_{30}^j = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{Q_k^j}{n_{30}}$$



$$\tau_{60}^j = \frac{\overline{Q}_{60}^j - \overline{Q}^j}{S_Q^j}$$

$$\tau_{30}^j = \frac{\overline{Q}_{30}^j - \overline{Q}^j}{S_Q^j}$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w \cdot (n_j - 2)}{n_j - n_w \cdot [1 + (\tau_w^j)^2]} \right\}^{\frac{1}{2}} |\tau_w^j|$$

En las ecuaciones precedentes:

$\overline{Q}^j$  : Valor medio de la serie analizada,

$S_Q^j$  : Desvío,

$\overline{Q}_{60}^j, \overline{Q}_{30}^j$  : Medias de las submuestras de 60% y 30% de los datos

$\tau_{60}^j, \tau_{30}^j$  : Estadísticos de cada una de las submuestras

$t_w$  : Estadístico de la prueba para cada una de las submuestras (30 y 60%).

El estadístico  $t_w$  tiene distribución t de Student de dos colas con  $\nu = n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad y para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . Si y solo si el valor absoluto de  $t_w$  para  $w = 60$  y  $w = 30$ , es mayor que el de la distribución t de Student se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie  $Q_i^j$  se considera no homogénea. En caso contrario la serie es Homogénea. (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).



### - Análisis de Frecuencia Puntual

El análisis de frecuencia de las precipitaciones diarias máximas anuales de una muestra  $Q_i$ , con  $i = 1, 2, \dots, n$ , se emplea para proveer la magnitud de un evento  $Q_T$ , de cierto período de retorno  $T$ , por medio del ajuste de una distribución de probabilidad, la cual se selecciona como la mejor de un grupo de ellas (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005). El procedimiento empleado durante el desarrollo de este estudio, para cada una de las series determinadas para las estaciones seleccionadas, ha sido el siguiente: Se ordenaron los caudales máximos medios diarios anuales de cada una de las series de mayor a menor; se asignó a cada serie una distribución de probabilidad empírica, siguiendo la ley de Weibull; y para cada una de las series se determinaron los parámetros de ajuste de las siguientes distribuciones de probabilidad:

- Uniforme,
- Exponencial de parámetro  $\beta$ ,
- Exponencial de parámetros  $x_0$  y  $\beta$ ,
- Normal,
- Log normal de 2 parámetros,
- Log normal de 3 parámetros,
- Gamma de 2 parámetros,
- Gamma de 3 parámetros,
- Gumbel,

Los parámetros de ajuste de cada una de estas distribuciones de probabilidad se obtuvieron según los procedimientos adaptados para cada una de ellas, entre los que se cuentan:

- Momentos.



- Máxima Verosimilitud.
- Máxima Entropía.
- Momentos L.
- Momentos de Probabilidad Pesada, y Mínimos Cuadrados.

(Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).

#### **- Métodos de Selección de Distribuciones**

La calidad de los valores de precipitación o caudal estimados para un cierto período de retorno, con distribuciones de probabilidad teórica, está dado principalmente por la comparación de dichos valores estimados con los valores realmente observados o medidos.

Para ello es posible utilizar diferentes técnicas denominadas Técnicas de Evaluación o Métodos de Bondad de Ajuste. Entre los diferentes métodos más difundidos se encuentran los de: Chi Cuadrado, Kolmogorov – Smirnov, Papeles probabilísticos y Error Estándar de Ajuste.

Durante el desarrollo de este estudio, se ha considerado que el mejor de los métodos indicados es el del Error Estándar de Ajuste. Esta afirmación se justifica al considerar que el método del error estándar de ajuste, al incluir en el cálculo de su valor de comparación el número de parámetros que emplea la distribución seleccionada, evita cometer errores por sesgo, dándole a todas las distribuciones un mismo peso para ser comparadas. Con ello se logra una comparación entre métodos de ajuste más equilibrada.

A continuación, por lo expresado precedentemente, serán presentadas, de manera resumida las primeras tres técnicas y de forma más extensa la técnica del error estándar de ajuste (Escalante Sandoval & Reyes Chávez , 2005).



▪ **Técnica Chi-Cuadrado**

La prueba de Chi - Cuadrado es considerada como una prueba no paramétrica que mide la discrepancia entre una distribución observada y otra teórica (bondad de ajuste), indicando en qué medida las diferencias existentes entre ambas; de haberlas, se deben al azar en el contraste de hipótesis. También se utiliza para probar la independencia de dos variables entre sí, mediante la presentación de los datos en tablas de contingencia.

En esta prueba, para aceptar una función de distribución dada, se debe cumplir la siguiente ecuación.

$$\frac{\sum(\theta_i - \varepsilon_i)^2}{\varepsilon_i} < \chi_{1-\alpha; k-1-n}^2$$

Donde  $\chi_{1-\alpha; k-1-n}^2$  es el valor de una variable aleatoria con distribución Chi<sup>2</sup> Cuadrado para  $k-1-n$  grados de libertad y un nivel de significancia  $\alpha$ , k es el número de intervalos y n es el número de parámetros empleados por la función de distribución (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).

▪ **Técnica Kolmogorov – Smirnov**

La prueba Kolmogorov - Smirnov consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia entre la función de distribución observada  $F_o(x_i)$  y la estimada  $\hat{F}_n(x_i)$ , con un valor crítico " $D_\alpha$ " que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado.

La expresión de comparación para la prueba de Kolmogorov – Smirnov está dada por (Tucci, 1993).



$$D = \sup_{1 \leq i \leq n} |\hat{F}_n(x_i) - F_o(x_i)|$$

Donde:

$x_i$ : Valor i-ésimo observado en la muestra (ordenada de mayor a menor).

$\hat{F}_n(x_i)$ : Función de probabilidad estimada.

$F_o(x_i)$ : Función de probabilidad observada.

Si los valores observados  $F_o(x_i)$  son similares a los esperados  $\hat{F}_n(x_i)$ , el valor de D será pequeño. Cuanto mayor sea la discrepancia entre la distribución empírica y la distribución teórica, mayor será el valor de D. Por tanto, el criterio para la toma de la decisión entre las dos hipótesis será de la forma:

Si  $D < D_\alpha$ : Aceptar que los datos observados siguen la distribución probada

Si  $D > D_\alpha$ : Rechazar que los datos observados siguen la distribución probada

Donde el valor  $D_\alpha$  se elige de tal manera que:  $P(\text{Rechazar } H_0 / H_0 \text{ es cierta}) = P(D > D_\alpha / \text{Los datos siguen la distribución probada}) = \alpha$ , siendo  $\alpha$  el nivel de significancia seleccionado para la prueba de bondad de ajuste (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).

#### ▪ Técnica de papeles Probabilísticos

La probabilidad acumulada de una distribución teórica puede representarse gráficamente en un papel de probabilidad diseñado para la distribución. En uno de estos papeles las ordenadas usualmente representan el valor de x en una cierta



escala y la abscisa representa la probabilidad  $P(X \geq x)$  o  $P(X < x)$ , el período de retorno  $T$  o la variable reducida  $y_T$ .

Las escalas para las ordenadas y las abscisas están diseñadas de tal manera que se espera que los datos que van a ser ajustados se ubiquen próximos a una línea recta. El propósito del uso del papel de probabilidad es el de linealizar la relación de probabilidad de tal manera que los datos graficados puedan ser fácilmente utilizados para interpolación, extrapolación o con propósitos de comparación. Para aquella distribución de probabilidad en donde los datos observados se pueden ubicar más próximos a una recta, será la distribución que mejor represente a la serie de datos (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).

#### - Técnica del Error Estándar de Ajuste

(Kite, 1988) propuso un estadístico que permite seleccionar la mejor opción, entre diferentes modelos en competencia, para el ajuste de una muestra de datos  $Q_i^j$  para  $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$ , de un sitio  $j$ . Este estadístico es conocido como el error estándar de ajuste y se obtiene con la siguiente ecuación.

$$EEA = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (\hat{Q}_T^j - Q_T^j)^2}{n_j - m_p} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$Q_T^j$  Son los eventos  $Q_i^j$  ordenados de mayor a menor con un período de retorno asignado:  $T = \frac{n_j + 1}{m}$  y una probabilidad de no excedencia  $P = 1 - \frac{1}{T}$





$n_j$  : Longitud en años del registro analizado

$m$  : Número de orden del registro.

$\hat{Q}_T^j$  Eventos estimados por cierta distribución de probabilidad para cada período de retorno T asignado a la muestra ordenada  $Q_i^j$  .

$m_p$  : Número de parámetros de la distribución ajustada.

La distribución de mejor ajuste será aquella que proporcione el mínimo valor del estadístico E.E.A. Si una o más distribuciones tienen valores similares del E. E. A, entonces se deberá optar por aquella distribución que tenga el menor número de parámetros (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005).

#### 4.1.4.4. Caracterización Fisiográfica de la Cuenca de Aporte

Para la delimitación de las cuencas, se utiliza la información cartográfica del plan parcial Aranda, Plan de ordenamiento territorial del municipio de Pasto y de la información generada para el desarrollo del plan parcial metropolitana, la cual incluye la rectificación de cauces, los detalles se presentan en el inciso correspondiente a la base cartográfica utilizada.

#### 4.1.4.5. Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda una gota de lluvia que cae en el punto más distante de la corriente de agua de una hoya, hasta llegar al punto de salida o de interés. Es decir, el tiempo de concentración mide el tiempo que necesita para que toda la hoya contribuya con escorrentía superficial en una sección considerada (Monsalve, 1995).



El tiempo de concentración, depende principalmente de las condiciones fisiográficas de cada cuenca, es así, como varios autores han desarrollado distintas ecuaciones empíricas. Este estudio consideró estimar diferentes tiempos de concentración a través de las siguientes ecuaciones:

- **Kirpich**

$$T_c = 0.02L^{0.77}S^{-0.385}$$

Dónde:

T: tiempo de concentración (min)

L: longitud máxima del cauce principal (m)

S: pendiente media del cauce principal (m/m)

- **California Culverts Practice**

$$t_c = 60 \left[ \frac{0.87075 L^3}{H} \right]^{0.385}$$

Donde:

tc: tiempo de concentración (minutos)

L: longitud en millas

H: diferencia de nivel entre las divisorias de aguas y la salida (m)

- **Ramser-Kerby**

$$t_c = 0.02Lc^{0.77} * \frac{DH^{-0.385}}{Lc} + \frac{2 \beta Lo^{0.467}}{S^{0.50.467}}$$



Donde:

tc: tiempo de concentración (minutos)

Lc: Longitud del cauce en m

DH: diferencia de nivel entre las divisorias de aguas y la salida (m)

$\beta$ : Párametro = 0.04

Lo: Longitud del flujo escorrentía en m

S: Pendiente media del cauce

– **Método Racional Generalizado**

$$tc = 0.3 * \frac{H^{0.19}}{L} * l * 60$$

Donde

tc: tiempo de concentración (minutos)

L: longitud cauce principal (m)

l: Longitud cauce principal (Km)

H: diferencia de nivel entre las divisorias de aguas y la salida (m)

– **Federal Aviation Agency (FAA)**

$$tc = \frac{1.8 (1.1 - M \frac{L^{0.5}}{0.3048})}{100 S^{0.33}}$$

Donde:

tc: tiempo de concentración (minutos)



S: pendiente media del cauce principal (m/m)

M: MOPU (0.5)

L: longitud cauce principal (m)

- **Carter**

$$tc = 1.7 * \frac{L^{0.6}}{\frac{H}{0.3048}^{0.3}} * 60$$

Donde:

tc: tiempo de concentración (min)

L: Longitud cauce principal (Millas)

H: diferencia de nivel entre las divisorias de aguas y la salida (m)

- **Dooge**

$$tc = \frac{21.88 * A^{0.41}}{\frac{H}{L}^{-0.17}}$$

Donde:

tc: tiempo de concentración (min)

L: Longitud cauce principal (m)

H: diferencia de nivel entre las divisorias de aguas y la salida (m)



A: área cuenca (Km<sup>2</sup>)

#### 4.1.4.6. Construcción Curva IDF

La recurrencia de la lluvia analizada, en función de lo requerido será de 2, 25 y 100 años. La duración crítica estará asociada al tiempo de concentración de la cuenca y su intensidad proviene de una curva IDF de las estaciones Wilquipamba, Universidad de Nariño y Obonuco, las cuales, las dos primeras fueron obtenidas mediante desagregación de datos diarios y ajustadas en forma no lineal, mientras que la estación Obonuco se obtuvo de la información oficial de la curva IFD del IDEAM.

#### 4.1.4.7. Distribución de Lluvia

La discretización temporal interna de la lluvia analizada se efectuó mediante la metodología de bloque alterno. Este, consiste en primera instancia, en estimar la duración de la tormenta de diseño para cada cuenca en análisis, que por lo general y no siendo este estudio la excepción, corresponde al tiempo de concentración de la hoya.

Posteriormente, se divide la duración de la tormenta en al menos 5 segmentos de tiempo, cada uno con igual duración, para el presente estudio se dividió en sextiles (6), y para cada incremento de tiempo se determina la precipitación respectiva a partir de las curvas IDF. Los incrementos son reordenados por el método de arreglo 1/4, para tal fin se ubica el mayor valor de los incrementos en el segundo intervalo de tiempo, el segundo valor en magnitud se ubicó en el lado derecho (tercer intervalo de tiempo), el tercer valor en orden creciente se colocó en el lado izquierdo (primer intervalo de tiempo), el cuarto, quinto y sexto valor en magnitud en orden de mayor a menor, en el cuarto, quinto y sexto intervalo de tiempo, respectivamente. Adicionalmente, se consideró una atenuación areal del 3 % de acuerdo con las



curvas atenuación areal citadas por (Chow, Maidment, & Mays, 1994) ver Figura 74, considerando la duración de la lluvia y el área de la cuenca.

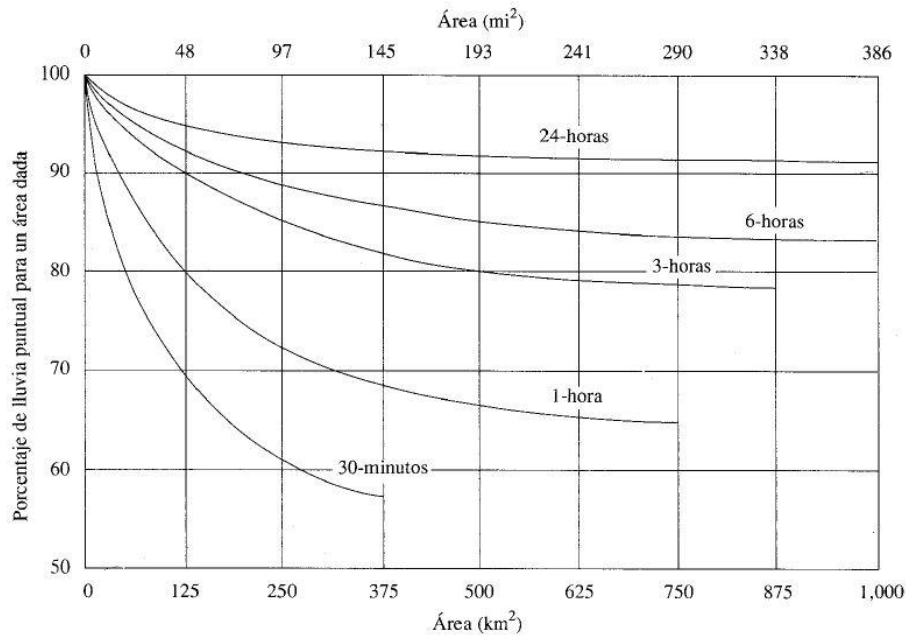


Figura 74. Atenuación areal, (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

#### 4.1.4.8. Estimación Hidrogramas de Crecidas

Teniendo, por un lado, la cuenca delimitada y sus características fisiográficas definidas y, por otro, las lluvias de diseño, es posible efectuar el proceso de transformación lluvia caudal para la obtención del hidrograma correspondiente que represente una condición crítica para una lluvia con tiempo de retorno de 2, 25 y 100 años.

Para la modelación matemática de la cuenca se empleó el Modelo HEC-HMS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos. Éste es un modelo ampliamente difundido y probado por profesionales en todo el mundo.



La transformación lluvia caudal se desarrolló considerando una sola unidad de cuenca por cada sector en estudio. En todos los casos, los algoritmos a emplear para la cuenca, en función de la transformación, de pérdida y del flujo base, serán los siguientes:

- Pérdidas. Método del Número de Curva del SCS.

Es un modelo empírico desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos, el cual, determina un umbral de escorrentía ( $P_0$ ) a través de un número hidrológico o número de curva (CN) agregado de la cuenca. El Número de Curva toma un valor de 0 a 100 según sea su capacidad de generar escorrentía superficial. Valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta, mientras que, valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad (Agua y SIG, 2017).

El tipo de suelo se clasifica en uno de los cuatro grupos hidrológicos existentes. Estos grupos van desde A hasta D, representando el grupo A un potencial de escurrimiento mínimo y el D un potencial de escurrimiento alto (Aguilar & Díaz, 2016).

Según (Chow, Maidment, & Mays, 1994), los números curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service (SCS) con base en el tipo de suelo y el uso de este. Para ello, esta metodología define cuatro grupos de suelo:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.



El procesamiento se realiza a través del software ArcGIS y la extensión HEC GEOHMS, partiendo de lo indicado anteriormente. El cálculo del número de curva del SCS se realiza mediante tres insumos: Modelo digital de elevación corregido, el tipo hidrológico de suelo y el uso del suelo.

Se Construye el mapa del tipo hidrológico de suelo de acuerdo con la metodología del SCS. Cabe destacar que se consideró que los suelos de la zona de estudio pertenecen al grupo hidrológico B de acuerdo al mapa de suelos del departamento de Nariño del IGAC y citado por (Mafla Chamorro, 2014). Una vez definido este, se reclasificó el uso hidrológico del suelo con respecto a la Tabla 42

Tabla 42. Valores de CN según uso de suelo (Chow, Maidment, & Mays, 1994) , la cual es un promedio ponderado de los valores iniciales propuestos para Estados Unidos adaptada para el resto del mundo.

Posteriormente, se adecuaron los campos de atributos de cada capa para realizar una intersección a través de código común ponderando los valores, Se calculó el número de la curva con el HEC-GeoHMS. A través de la herramienta “Utility” seguido de la herramienta “Generate CN Grid”. Para ello se tuvieron en cuenta el valor hidrológico para cada clase de suelo A, B, C Y D. de acuerdo con la Tabla 42.

Tabla 41. Reclasificación uso hidrológico del suelo, (Agua y SIG, 2017)





Clasificación original		Reclasificación	
Número	Descripción	Número	Descripción
11	Agua a cielo abierto	1	Agua
90	Humedales leñosos		
95	Humedales herbáceos emergentes		
21	Poblados en espacios abiertos	2	Residencial media
22	Poblados de baja densidad		
23	Poblados de mediana densidad		
24	Poblados de alta densidad		
41	Bosques secos	3	Bosque
42	Bosques verdes		
43	Bosques mixtos		
31	Suelo fértil	4	Agricultura
52	Arbustos/matorrales		
71	Pastizales/herbáceas		
81	Pasto/heno		
82	Cultivos		

Tabla 42. Valores de CN según uso de suelo (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

DESCRIPCIÓN	A	B	C	D
Agricultura	67	77	85	86
Agua	100	100	100	100
Residencial media	57	72	81	85
Bosque	30	58	71	78

Finalmente, se consideró un escenario posible aún más crítico, con una condición de saturación del suelo, estimando el CN (III) a través de la siguiente fórmula (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

- Transformación: Hidrograma Unitario del SCS.

El método de transformación del SCS fue desarrollado para estimar el volumen de salida a través de una precipitación en un área determinada. Este principalmente se utiliza para evaluar las inundaciones en cuencas pequeñas y medianas que cuentan



con poca información meteorológica e hidrológica, y son de pequeño drenaje (Collado, 2010).

El hidrograma adimensional SCS es un hidrograma unitario sintético en el cual se expresa por la relación del caudal  $q$  con respecto al caudal pico  $q_p$  y el tiempo por la relación del tiempo  $t$  con respecto al tiempo de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario  $T_p$ . Dado el  $q_p$  y el tiempo de retardo para la duración de exceso de precipitación, el hidrograma unitario adimensional puede calcularse para cada cuenca en estudio o puede emplearse el propuesto por el SCS, que se muestra en la Figura 75a, y que ha sido preparado utilizando los hidrogramas unitarios de gran variedad de cuencas. Los valores de  $q_p$  y  $T_p$  pueden estimarse utilizando un modelo simplificado de un hidrograma unitario triangular tal como se observa en la Figura 75b.

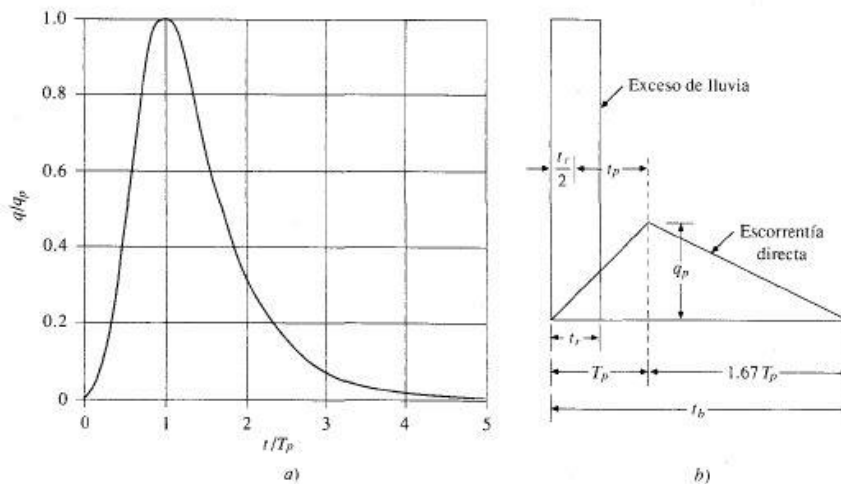


Figura 75. Hidrogramas unitarios sintéticos del SCS. a) Hidrograma adimensional y b) hidrograma unitario triangular. Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)



- Impermeabilidad: basada en el porcentaje de área intervenida y/o urbanizada con respecto al área total de cada cuenca, para ello se introdujo en el modelo un valor de 2% para la cuenca La Rusia y 0.2% para la cuenca La Merced.
- Initial abstraction: 0, se consideró un escenario crítico donde no existen pérdidas iniciales debido a la saturación del suelo y la superficie.

#### 4.1.4.9. Modelo hidráulico para definición de amenaza

- Conceptos y definiciones

Amenaza. Es la probabilidad de que se puedan presentar eventos de origen natural o antrópico que pueden afectar de forma parcial, temporal o total, los procesos naturales del agua y su aprovechamiento por el ser humano (IDEAM, 2013).

Inundaciones (agua clara). Según la guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación (IDEAM, 2017), el término <<inundación>> tiene diversas definiciones entre las que se destacan:

- Según el Diccionario de la Real Academia Española Proviene del latín (inundatio-onis), es la acción y efecto de inundar, es decir, cubrir los terrenos y a veces las poblaciones.
- En el Glosario Hidrológico Internacional (OMM N°385 2012) se define inundación como el desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua y/o la acumulación de agua.
- La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones en España (MIJ, 1995), define inundación como la sumersión temporal de terrenos normalmente secos, como consecuencia de la



aportación inusual y más o menos repentina de una cantidad de agua superior a la que es habitual en una zona determinada.

Si bien la definición de términos como “normalmente secos” en lo que la mayoría de las organizaciones e investigadores están de acuerdo, es en el carácter excepcional de las inundaciones desde el punto de vista de las actividades humanas cotidianas, probablemente sea el desastre natural más devastador, extendido y frecuente para las sociedades humanas.

Aunque, cabe resaltar, que el impacto de las inundaciones no siempre es negativo, dado que, normalmente forma parte de un ciclo natural y puede tener grandes beneficios medioambientales, especialmente en las zonas que han sufrido una sequía prolongada o en lugares en donde las inundaciones son periódicas y por tanto, son cruciales para los ecosistemas en la mayoría de los humedales ribereños y costeros (Teng, y otros, 2017).

– Simulación hidráulica

Para las simulaciones hidráulicas, se empleó el software Flo-2D, el cual, según Hübl and Steinwendtner citado por (Mattos, Parodi, & Damiano, S. F) es un modelo matemático que desarrolla los procesos físicos en grillas con rutinas de lluvia-escurrimiento e hidrogramas sobre superficies y/o canales empleando ecuaciones cinemáticas, difusivas o dinámicas. Una de las características importantes del Flo-2D, es que a medida que realiza las simulaciones, el software realiza las rutas del flujo en ocho direcciones, norte, noreste, este, sureste, sur, suroeste, oeste y noroeste, tal como se observa en la Figura 76.

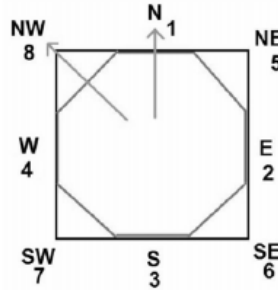


Figura 76. Esquema de rutas de trabajo para cada celda

Según (Wu, Liu, & Chen, 2013) en cada dirección se asume que, la densidad del fluido hidrostático es constante. Las ecuaciones gobernantes son continuidad y onda dinámica de la ecuación de momento, en cada dirección. Por ejemplo, Las ecuaciones constitutivas bidimensionales incluyen la ecuación de continuidad;

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} + \frac{\partial h V_y}{\partial y} = i$$

Así mismo, las ecuaciones bidimensionales de movimiento son:

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_y}{\partial t}$$

Donde X, Y, y t, son independientes espacial y temporalmente variables, respectivamente, h corresponde a la profundidad de flujo (variable dependiente); por otro lado, V<sub>x</sub> y V<sub>y</sub> corresponden a componentes de velocidad promediada en profundidad a lo largo de las coordenadas X e Y, g es la aceleración gravitacional. El exceso de intensidad *i* de lluvia puede ser distinto de cero en el abanico aluvial o en la llanura de inundación.



Los componentes de la pendiente de fricción  $S_{fx}$  y  $S_{fy}$  están escritos en las ecuaciones anteriores en función de la pendiente del lecho  $S_{ox}$  y  $S_{oy}$ , gradiente de presión y términos de aceleración convectiva y local. Una aproximación de onda difusa a las ecuaciones de movimiento se define descuidando los últimos tres términos de aceleración de las dos últimas ecuaciones. Además, al descuidar el término de presión, se deriva una representación de onda cinemática.

Estas aproximaciones son válidas para abanicos aluviales empinados. La opción de usar una onda cinemática o una ecuación de onda difusa está disponible en FLO-2D (O'Brien, Julien, & Fullerton, 1993).

En este orden de ideas, el modelo en resumen el modelo matemático sigue las siguientes rutinas:

- Estimación del promedio geométrico entre celdas vecinas, coeficiente de rugosidad ( $n$  Manning) y pendiente.
- El cálculo se realiza a partir del paso anterior y de la entrada de caudal, la profundidad del flujo para calcular la velocidad a través del límite entre celdas para el siguiente lapso.
- La primera estimación de la velocidad es calculada empleando la ecuación de onda difusiva.
- La velocidad de onda difusiva predicha para el actual lapso es empleada para resolver la ecuación total de onda dinámica y así obtener la nueva velocidad.
- El caudal que atraviesa los límites entre celdas es calculado multiplicando la velocidad por el flujo de área seccional.



- El caudal incremental para el lapso a través de los ocho límites de la celda es sumado y el cambio de volumen es distribuido sobre el área almacenada disponible para determinar el incremento en la profundidad del flujo.
- Los criterios numéricos de estabilidad son revisados para la celda. Si algún criterio se excede, el tiempo de simulación se reduce, y se recalcula. Este proceso es un indicador de posibles inestabilidades.
- El proceso continúa en las siguientes celdas con el paso de tiempo original siempre que los criterios de estabilidad no sean excedidos.

– Datos de entrada

Las entradas principales se presentan a continuación:

- Topografía: con topografía levantada en campo, se elaboró un DEM en formato ASCII, con resolución de 1x1 m, los detalles se presentaron en el ítem de la cartografía base del proyecto.
- Ítem de Se procedió a definir el DEM obtenido anteriormente como dominio donde se desarrollará la simulación.
- Una vez definido el dominio, se procedió a realizar la interpolación de elevación de puntos.
- Coeficientes de rugosidad: este se elaboró a partir de un mapa de coberturas, que contenía la clasificación de la Tabla 43.



Tabla 43. Coeficiente de rugosidad n de Manning en superficie (Extraído del Manual de Epa SWMM)

Tipo de superficie	n
Smooth asphalt	0.011
Smooth concrete	0.012
Ordinary concrete lining	0.013
Good wood	0.014
Brick with cement mortar	0.014
Vitrified clay	0.015
Cast iron	0.015
Corrugated metal pipes	0.024
Cement rubble surface	0.024
Fallow soils (no residue)	0.05
Cultivated soils	0.035
Residue cover < 20%	0.06
Residue cover > 20%	0.17
Range (natural)	0.13
Grass	0.035
Short, prarie	0.15
Dense	0.24
Bermuda grass	0.41
Light underbrush	0.40
Dense underbrush	0.80

Posteriormente, se procedió a ejecutar el cálculo de n de Manning para cada celda de la grilla.

- El siguiente paso, consistió en adicionar las condiciones hidrológicas, donde primero se estableció la salida de flujo (outflow), con la herramienta “element by element”. También, se procedió a incluir el hidrograma de entrada de flujo (inflow) en formato “.HYD” y se lo ubicó en el inicio del predio, sector norte de este. Los hidrogramas introducidos corresponden los tiempos de retorno 2, 25 y 100 años.
- Finalmente, en el CON.DAT, se estableció un cambio de porcentaje de profundidad de 0.2, recomendado por el manual (FLO-2D Software, Inc.,





2018), un ajuste de  $n$  de Manning de 0.001, un intervalo de tiempo  $\Delta t$  de 0.05 horas.

#### 4.1.4.10. Categorización de la amenaza.

La categorización de la amenaza por inundación se realizará con base en la metodología desarrollada por (García et al, 2003, 2005). Los criterios del mapa de delimitación de la amenaza se propusieron por primera vez en el proyecto PREVENE, 2001, donde se aplicaron a dos abanicos aluviales en Caracas, Venezuela. El enfoque sigue los problemas suizos y austriacos que determinan tres zonas (Alto, medio y bajo) para delinear el nivel de amenaza de inundación.

La intensidad de la inundación está definida por la profundidad y el producto de profundidad por la velocidad del flujo. La probabilidad de ocurrencia es inversamente proporcional a la magnitud de la inundación. Por eso, los grandes eventos ocurren con menor frecuencia pero poseen alta intensidad relativa a la profundidad y a la velocidad del flujo, mientras que los eventos pequeños son más frecuentes pero menos dañinos, ver Tabla 44 (Flo2D, 2017).

El nivel de la amenaza se define, entonces, como una función discreta que combina la intensidad (magnitud del evento) y el periodo de retorno (frecuencia).

Para fenómeno de inundaciones el mapa de amenaza se presenta en tres colores para definir el nivel de amenaza: nivel alto (rojo), nivel medio (naranja) y nivel bajo (amarillo), ver Tabla 44. Nivel de Intensidad por inundaciones

Los colores de los mapas se traducen en áreas con características específicas de amenaza potencial por avenidas torrenciales descritas en la



Tabla 46.

Tabla 44. Nivel de Intensidad por inundaciones

DEFINICIÓN DE LA INTENSIDAD ANTE INUNDACIONES			
Intensidad	Máxima profundidad h(m)		Producto de la máxima profundidad h (m) por la máxima velocidad v (m <sup>2</sup> /s)
Alta	$h > 1.5 \text{ m}$	ó	$v h > 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$
Media	$0.5 \text{ m} < h < 1.5 \text{ m}$	o	$0.5 \text{ m}^2/\text{s} < v h < 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$
Baja	$0.1 < h < 0.5 \text{ m}$	y	$0.1 \text{ m}^2/\text{s} < v h < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$

Tabla 45. Nivel de amenaza por Inundaciones

<b>INTENSIDAD</b>	Alta			
	Media			
	Baja			
<b>FRECUENCIA</b>		Alta	Media	Baja
Periodo de Retorno		2	25	100
Probabilidad de ocurrencia		50%	5%	1%

Tabla 46. Definición de las categorías de Amenaza por Inundaciones (FLO-2D Software, Inc., 2018)

Nivel de Amenaza	Color	Descripción
------------------	-------	-------------



Alta		Las personas están en peligro tanto dentro como fuera de sus casas. Las estructuras están en peligro de ser destruidas.
Media		Las personas están en peligro fuera de sus casas. Los edificios pueden sufrir daños y posible destrucción dependiendo de características de construcción
Baja		El peligro para las personas es bajo o inexistente. Los edificios pueden sufrir pequeños daños, pero las inundaciones o la sedimentación pueden afectar los interiores de las estructuras

#### 4.1.4.11. Resultados

El análisis de amenaza por inundación inicia con la determinación de la susceptibilidad para posteriormente, si en esta se identificase sub unidades geomorfológicas asociadas a un origen aluvial, proceder con la definición de la amenaza frente a este fenómeno.

- Susceptibilidad ante inundaciones

La geomorfología regional en la que se encuentra el área de estudio es compleja puesto que hace parte del Nudo de los Pastos, el cual es un macizo montañoso donde comienzan a individualizarse las cordilleras colombianas (Murcia & Cepeda, 1991). Dentro del macizo montañoso se presentan geoformas muy complejas y variadas, debido a la presencia de diferentes unidades geológicas y depósitos superficiales de distintos ambientes morfogenéticos.

Las rocas están formando estructuras geológicas, las cuales han sido el resultado de los procesos orogénicos y volcánicos, asociados a la actividad tectónica, como respuesta a la acción de la dinámica interna de la tierra y que han sido las responsables de la generación de fracturas, plegamientos y levantamientos. Por otra parte, existen otros factores y procesos de origen exógeno que han influido, en el modelado, de las geoformas tales como: la erosión, transporte y sedimentación, a los cuales han estado sometidos los diferentes paisajes y geoformas antiguas y actuales (POMCH, 2009).



De acuerdo con el Plan Parcial Aranda 2019, el área de estudio corresponde a un valle de relleno volcánico, que hace parte del Altiplano Nariñense, de igual manera se encuentra rodeada de un relieve montañoso de origen volcánico con cimas de gran altura y pendientes moderada a alta que esta localmente escarpada, y Según (CIDETER, 2019), indica que esta área se encuentra ubicada en una unidad geomorfológica denominada Valle de Topografía Suave.

El área de estudio se comporta como una cuenca donde se depositan sedimentos de origen volcánico y aluvial, que se ha visto influenciada por acción de procesos erosivos y actividad fluvial que hacen que se modelen los microrelieves, como se los conoce actualmente.

A partir del procesamiento de la base cartográfica y siguiendo la metodología del Servicio Geológico Colombiano (Carvajal, 2011; SGC, 2012), se identificó 5 subunidades geomorfológicas que se pueden observar en la Figura 77, las cuales, a nivel regional se han modelado en dos ambientes morfogenéticos como lo indica el Mapa Geomorfológico de la Plancha 429 (SGC, 2015), uno de ellos corresponde a un ambiente denudativo donde se identificó planicies onduladas en depósitos piroclásticos, laderas erosivas cortas en depósitos piroclásticos, lomeríos denudados en depósitos piroclásticos y lomeríos denudados en depósitos piroclásticos, que se describen a continuación y son producto la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial (SGC, 2015). El otro ambiente corresponde al fluvial donde se identificaron valles estrechos en forma de V en depósitos de vertiente y llanuras aluviales de depósitos de vertiente, que se originan por procesos de erosión de las corrientes de fuentes hídricas y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, sin importar las variaciones que tiene el comportamiento de la dinámica fluvial (SGC, 2015).

- Planicies onduladas en depósitos piroclásticos (Plodp).



Esta unidad esta modelada en depósitos piroclásticos y posiblemente se forma a partir de movimientos en masa antiguos que se originaron por procesos erosivos a gran escala en el cuaternario en las laderas de los cerros de composición volcánica que se encuentran alrededor del área de estudio, donde el material se transporta y deposita sobre el valle, aprovechando geoformas ya existentes y fuentes hídricas que permiten su disposición final, modelando el relieve actual; cabe aclarar que estos movimientos en masa no se han registrado en los últimos años puesto que hace parte de procesos erosivos antiguos. Esta subunidad cubre el 32% del área de estudio y tiene formas planas y onduladas de releve bajo y son suavemente inclinadas a inclinadas.

- Laderas erosivas cortas en depósitos piroclásticos Lecdp.

Esta geoforma ocupa el 46% del área de estudio, se modela sobre depósitos volcánicos y corresponde a superficies de longitud corta suavemente inclinada a inclinada de morfología planas y en algunos sectores es cóncava y convexa. Estas formas se originan a partir de procesos erosivos debido a la incisión y profundización de las redes de drenaje que se presentan en área.

- Lomeríos denudados en depósitos piroclásticos Lmddp.

Esta subunidad tiene una morfología colinada, con un relieve moderado y las pendientes varían de inclinada a muy inclinada. Se forma a partir de procesos denudativos como movimientos en masa antiguos, que depositan el material formando estos relieves.

- Valles estrechos en forma de V en depósitos de vertiente.

Esta unidad cubre el 2% del área, y corresponde a un canal estrecho en forma de V, que se forma por la erosión que generan las corrientes hídricas constante como intermitentes. Son canales de ladera recta y corta.



- Llanuras aluviales de depósitos de vertiente Lladv.

Esta unidad cubre el 6% del área y se genera por el transporte y depositación de sedimentos de diferentes tamaños de composición volcánico sedimentaria, asociados a la dinámica de la red de drenaje presentes en el área. Corresponde a terrenos planos de baja pendiente, eventualmente inundable y se encuentra limitado por geoformas de laderas cortas que modelan el relieve en la zona.

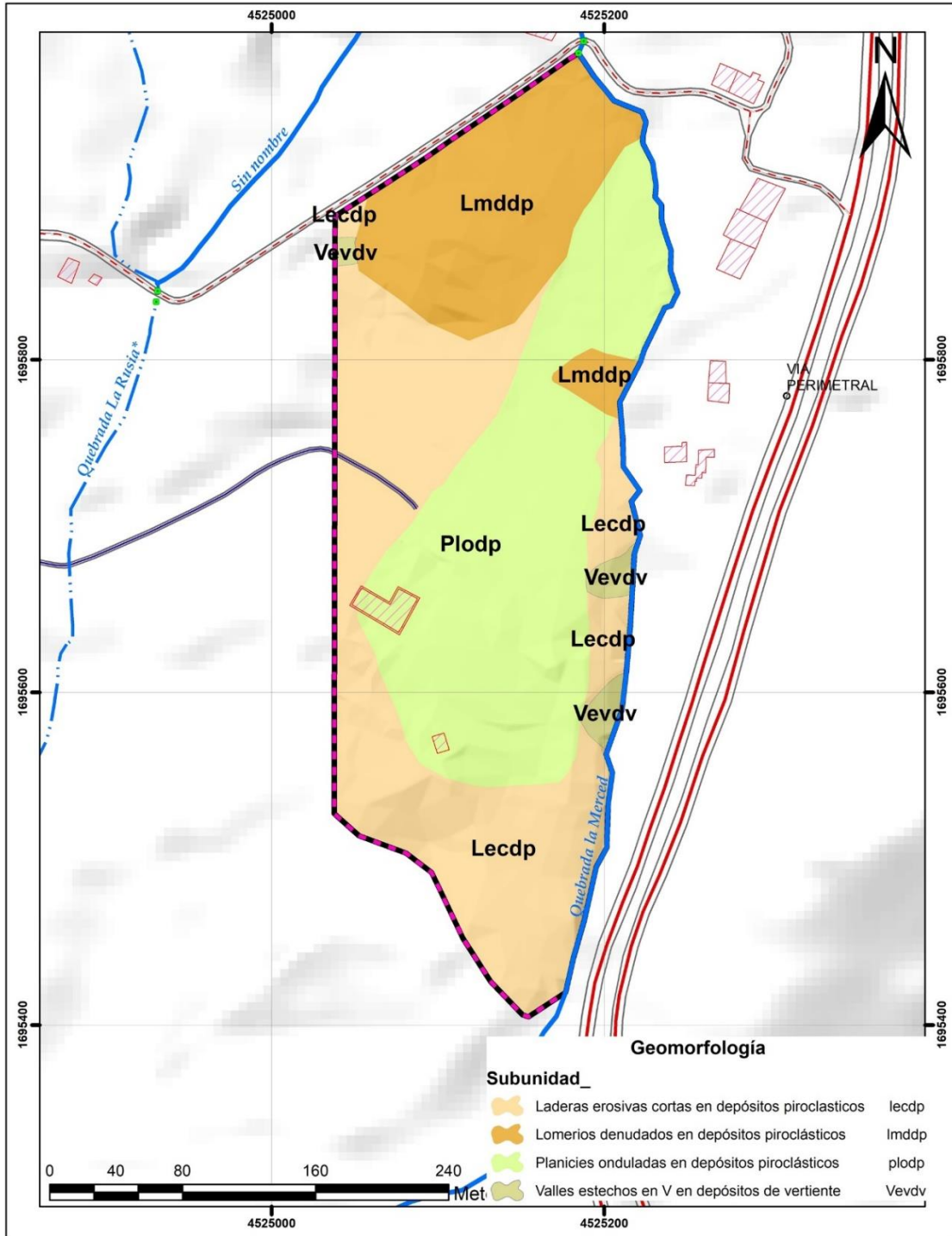


Figura 77. Mapa Geomorfológico

- Amenaza ante Inundaciones

Debido a que en el análisis de susceptibilidad se identificaron valles estrechos en forma de V y llanuras aluviales en depósitos de vertiente se entiende que el fenómeno es susceptible de presentarse, razón por la cual a continuación se procede a realizar la identificación de la amenaza ante inundaciones en el predio.

– **Información de Precipitación Disponible**

Las series seleccionadas de las estaciones Wilquipamba (1991-2019) y Universidad de Nariño (2005-2019), los valores de las series se presentan en la Tabla 47.

Tabla 47. Serie de Precipitaciones Máximas Diarias Estación Wilquipamba y Universidad de Nariño

Año	Precipitación max diaria anual Wilquipamba	Precipitación max diaria anual Universidad de Nariño
1991	35.3	NA*
1992	28.4	NA
1993	30.1	NA
1994	41.1	NA
1995	49	NA
1996	64.2	NA
1997	43.2	NA
1998	39.5	NA
1999	44.3	NA
2000	41.4	NA
2001	39	NA
2002	39.5	NA
2003	44.2	NA
2004	35.3	NA
2005	37.7	34.8
2006	41.9	60
2007	35.1	34.8
2008	57	37.3
2009	48.5	29.1





2010	67.3	37.1
2011	31.7	28.8
2012	30.6	33.9
2013	29.1	43
2014	39.8	30.3
2015	42.2	45.5
2016	30.5	25.2
2017	36.5	35.8
2018	55.6	45.5
2019	44.9	27

Nota: **NA\***: No Asignado, la serie de esa estación no tiene información disponible para esos años.

– **Aplicación Prueba de Hipótesis**

- Análisis de valores atípicos, Homogeneidad e independencia.

El análisis de valores atípicos en las series de máximas dio como resultados que las series de precipitaciones máximas diarias anuales no presentan valores atípicos encontrándose en un ajuste a la distribución normal, ya que el mínimo del estadístico de la serie se encuentra fuera del rango de la distribución normal para un nivel de significancia del 5%, tal como se muestra en la Tabla 48 para la estación Wilquipamba y

Tabla 49 para la estación Universidad de Nariño.

Tabla 48. Resultados pruebas de Datos Dudosos o Outliers serie Wilquipamba

<b>Valor</b>	<b>Máximo</b>	<b>Minimo</b>
<b>Serie</b>	67	28.4
<b>Rango de Aceptación</b>	73.84	22.16



Tabla 49. Resultados pruebas de Datos Dudosos o Outliers serie Universidad de Nariño.

Valor	Máximo	Minimo
Serie	60	25.2
Rango de Aceptación	66.06	19.19

Los análisis de Independencias realizados mediante, la prueba de Anderson de las series dio como resultados que los datos de precipitaciones máximas diarias anuales son independientes para ambas estaciones, con un nivel de significancia del 5 %, en las Figura 78 y Figura 79, se puede apreciar que los coeficientes de autocorrelación se encuentran por lo menos en un 95 % dentro del límite de confianza establecido.

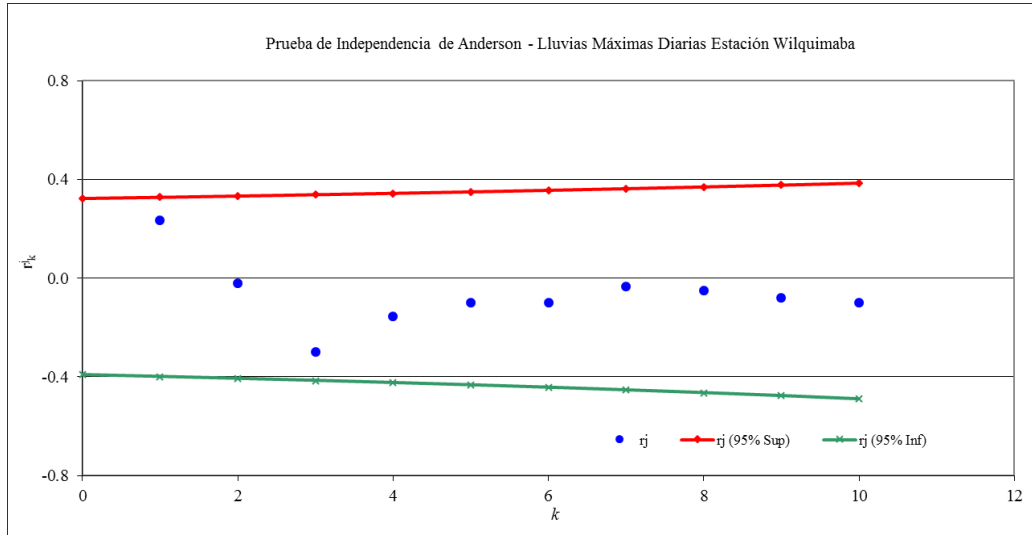


Figura 78. Resultado de prueba de independencia Correlograma de Anderson serie Wilquipamba

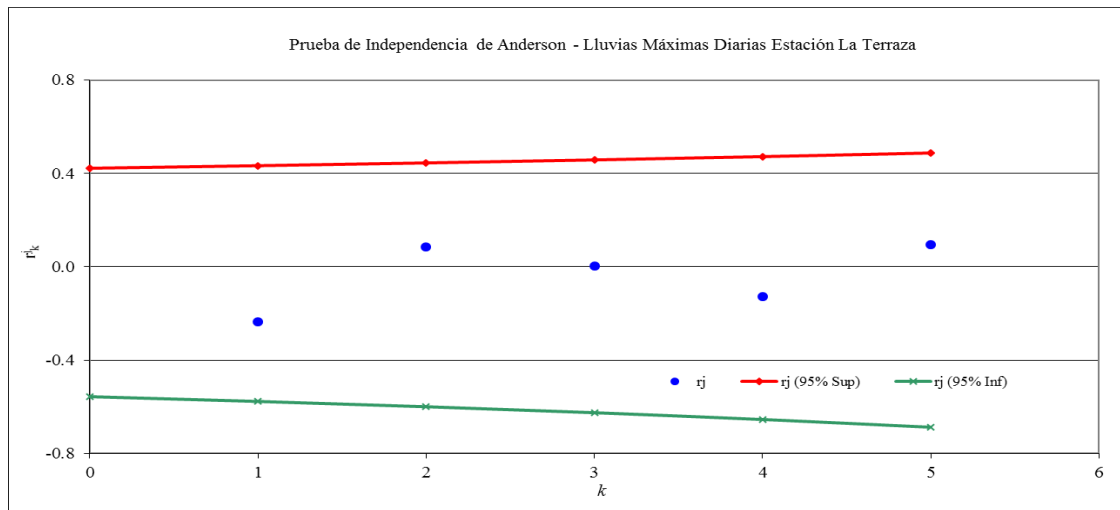


Figura 79. Resultado de prueba de independencia Correlograma de Anderson serie Universidad de Nariño

Por su parte la prueba de homogeneidad de la serie Wilquipamba fue realizada con las pruebas de Helmert, t de Student y Cramer, el resultado obtenido indica que los datos de la serie son homogéneos. Los estadísticos de cada una de las pruebas se presentan en la

Tabla 50.

Por otro lado, la prueba de homogeneidad de la serie Universidad de Nariño fue realizada con las pruebas de Helmert, t de Student y Cramer, el resultado obtenido por la prueba de Helmert indica que los datos de la serie son no homogéneos, mientras que las pruebas t de Student y Cramer, considerándose pruebas más



rigurosas indican que los datos de la serie son homogéneos. Los estadísticos de cada una de las pruebas se presentan en la Tabla 51.

Tabla 50. Resultados de las pruebas de homogeneidad serie Wilquipamba

Serie de Precipitaciones Máximas Diarias Estación Wilquipamba							
Prueba de Homogeneidad de Helmert			Prueba t de Student		Prueba de Cramer		
Nº de S	Nº de C	S - C	Estadístico t:	-0.36	$\tau_{60}$	-0.00911	
15	13	2	Grados de Libertad	27	$\tau_{30}$	-0.36533	
Estadístico:			De tabla: t =	2.0520	$t_{60}$	0.06527	
n	29		El valor absoluto del estadístico t esta entre el rango de aceptación de t para 27 grados de libertad y para un nivel de significancia del 5%. Por lo tanto la serie es Homogénea		$t_{30}$	1.31348	
$-(nj-1)^{0,5}$	-5.29				De tabla: t =	2.0520	
$+(nj-1)^{0,5}$	5.29				El valor absoluto del t30 es menor que el valor de tabla de t para 27 grados de libertad y para un nivel de significancia del 5% y t60 es menor por lo tanto la serie es Homogénea		
El estadístico (S - C) No está comprendido entre $-(nj-1)^{0,5}$ y $+(nj-1)^{0,5}$ . Por lo tanto la serie es Homogénea							

Tabla 51. Resultados de las pruebas de homogeneidad serie Universidad de Nariño

Serie de Precipitaciones Máximas Diarias Estación La Terraza Udenar							
Prueba de Homogeneidad de Helmert			Prueba t de Student		Prueba de Cramer		
Nº de S	Nº de C	S - C	Estadístico t:	0.33	$\tau_{60}$	-0.14733	
2	12	-10	Grados de Libertad	13	$\tau_{30}$	-0.08197	
Estadístico:			De tabla: t =	2.1600	$t_{60}$	0.76808	
n	15		El valor absoluto del estadístico t esta entre el rango de aceptación de t para 13 grados de libertad y para un nivel de significancia del 5%. Por lo tanto la serie es Homogénea		$t_{30}$	0.20934	
$-(nj-1)^{0,5}$	-3.74				De tabla: t =	2.1600	
$+(nj-1)^{0,5}$	3.74				El valor absoluto del t30 es menor que el valor de tabla de t para 13 grados de libertad y para un nivel de significancia del 5% y t60 es menor por lo tanto la serie es Homogénea		
El estadístico (S - C) No está comprendido entre $-(nj-1)^{0,5}$ y $+(nj-1)^{0,5}$ . Por lo tanto la serie es No Homogénea							



## - Aplicación Análisis de Frecuencia

La evaluación del ajuste de distribuciones para realizar el análisis de frecuencia se realizó por medio de los métodos Error Estándar de Ajuste y Gráfico. Entre ocho diferentes distribuciones de probabilidad evaluadas, se encontró que la serie de precipitaciones máximas diarias anuales de la estación Wilquipamba, se ajustó mejor con la distribución de probabilidades de Exponencial  $X_0$  y  $\beta$ , ajustada por el método de Momentos (utilizando conjuntamente criterios estadísticos y gráficos), los resultados se presentan en la Figura 80 y Tabla 52.

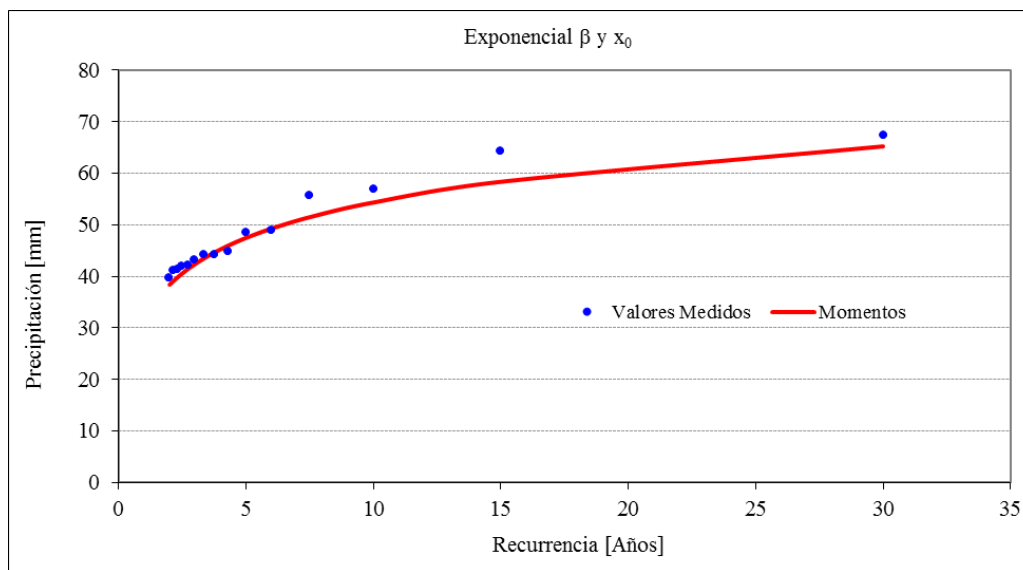


Figura 80. Ajuste gráfico de la distribución Exponencial  $X_0$  y  $\beta$  ajustada por Momentos



Tabla 52. Valores de Error Estándar de Ajuste de las distribuciones que mejor representan a los datos de la estación Wilquipamba.

Distribución	Método de Ajuste	EEA. [m]
Uniforme	Momentos	3.4297
Uniforme	Máxima Verosimilitud	7.1067
Exponencial $\beta$	Momentos y M. Verosimilitud	20.4075
Exponencial $x_0$ y $\beta$	Momentos	1.6868
Exponencial $x_0$ y $\beta$	Máxima Verosimilitud	1.8593
Normal	Momentos L	7.9711
Normal	Momentos y M. Verosimilitud	2.9581
Log Normal 2 parámetros	Momentos y M. Verosimilitud	2.6002
Log Normal 3 parámetros	Momentos	2.3081
Log Normal 3 parámetros	Máxima Verosimilitud	2.0119
Gamma de 2 parámetros	Momentos	2.5475
Gamma de 2 parámetros	Máxima Verosimilitud	2.8071
Gamma de 2 parámetros	Momentos L	8.3449
Gamma de 3 parámetros	Momentos	2.2354
Gamma de 3 parámetros	Máxima Verosimilitud	1.6863
Gamma de 3 parámetros	Momentos de probabilidad pesada	12.3437
Gumbel	Momentos	1.8616
Gumbel	Máxima Verosimilitud	2.1238
Gumbel	Momentos L	9.0921
Gumbel	Máxima Entropía	2.0080

Por otro lado, la evaluación del ajuste de distribuciones para realizar el análisis de frecuencia se realizó por medio de los métodos Error Estándar de Ajuste y Gráfico. Entre ocho diferentes distribuciones de probabilidad evaluadas, se encontró que la serie de precipitaciones máximas diarias anuales de la estación Universidad de Nariño, se ajustó mejor con la distribución de probabilidades de Gumbel, ajustada por el método de Momentos (utilizando conjuntamente criterios estadísticos y gráficos), los resultados se presentan en la Figura 81 y Tabla 51 a Tabla 56.

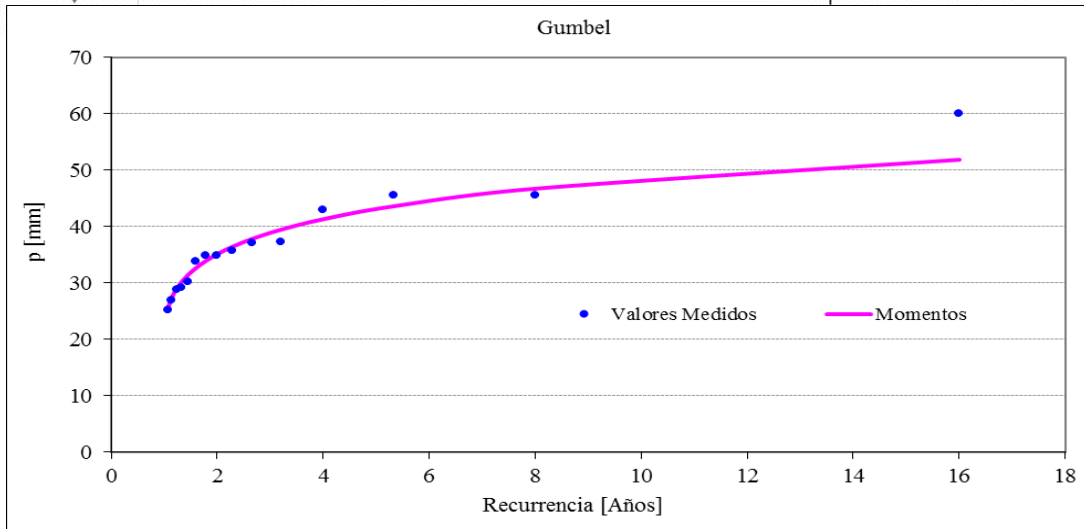


Figura 81. Ajuste gráfico de la distribución Gumbel ajustada por el método de Momentos.

Tabla 53. Valores de Error Estándar de Ajuste de las distribuciones que mejor representan a los datos de la estación Universidad de Nariño

Distribución	Método de Ajuste	E.E.A. [m]
Uniforme	Momentos	3.6127
Uniforme	Máxima Verosimilitud	7.5714
Exponencial $\beta$	Momentos y M. Verosimilitud	20.0739
Exponencial $x_0$ y $\beta$	Momentos	2.7479
Exponencial $x_0$ y $\beta$	Máxima Verosimilitud	2.2635
Normal	Momentos L	3.7612
Normal	Momentos y M. Verosimilitud	3.3543
Log Normal 2 parámetros	Momentos y M. Verosimilitud	3.0840
Log Normal 3 parámetros	Momentos	2.9390
Log Normal 3 parámetros	Máxima Verosimilitud	2.9154
Gamma de 2 parámetros	Momentos	2.9799
Gamma de 2 parámetros	Máxima Verosimilitud	3.2885
Gamma de 2 parámetros	Momentos L	3.5044
Gamma de 3 parámetros	Momentos	2.8645
Gamma de 3 parámetros	Máxima Verosimilitud	2.7456
Gamma de 3 parámetros	Momentos de probabilidad pesada	15.6498
Gumbel	Momentos	2.5757
Gumbel	Máxima Verosimilitud	3.0378
Gumbel	Momentos L	3.0574
Gumbel	Máxima Entropía	2.8764



Las precipitaciones máximas diarias anuales para los diferentes tiempos de retorno de la estación Wilquipamba se presentan en la Tabla 54, y para la estación Universidad de Nariño se presentan en la Tabla 55.

Tabla 54. Precipitación [mm] asociados a distintos tiempos de retorno. Estación Wilquipamba. Distribución: Exponencial  $X_0$  y  $\beta$  ajustada por Momentos

Recurrencia: T	Valor de Caudal: $X_T$
	Momentos
2	38
5	47
10	54
20	61
25	63
50	70
100	77

Tabla 55. Precipitación [mm] asociados a distintos tiempos de retorno. Estación Universidad de Nariño. Distribución: Gumbel ajustada por Momentos

Recurrencia: T	Valor de Caudal: $X_T$
	Momentos
2	35
5	43
10	48
20	53
25	55
50	60
100	65

- Caracterización fisiográfica de la cuenca

En la Figura 82 se muestra de manera esquemática la delimitación de la cuenca de aporte y las características fisiográficas de mayor importancia para esta cuenca de aporte se presentan en la Tabla 56.



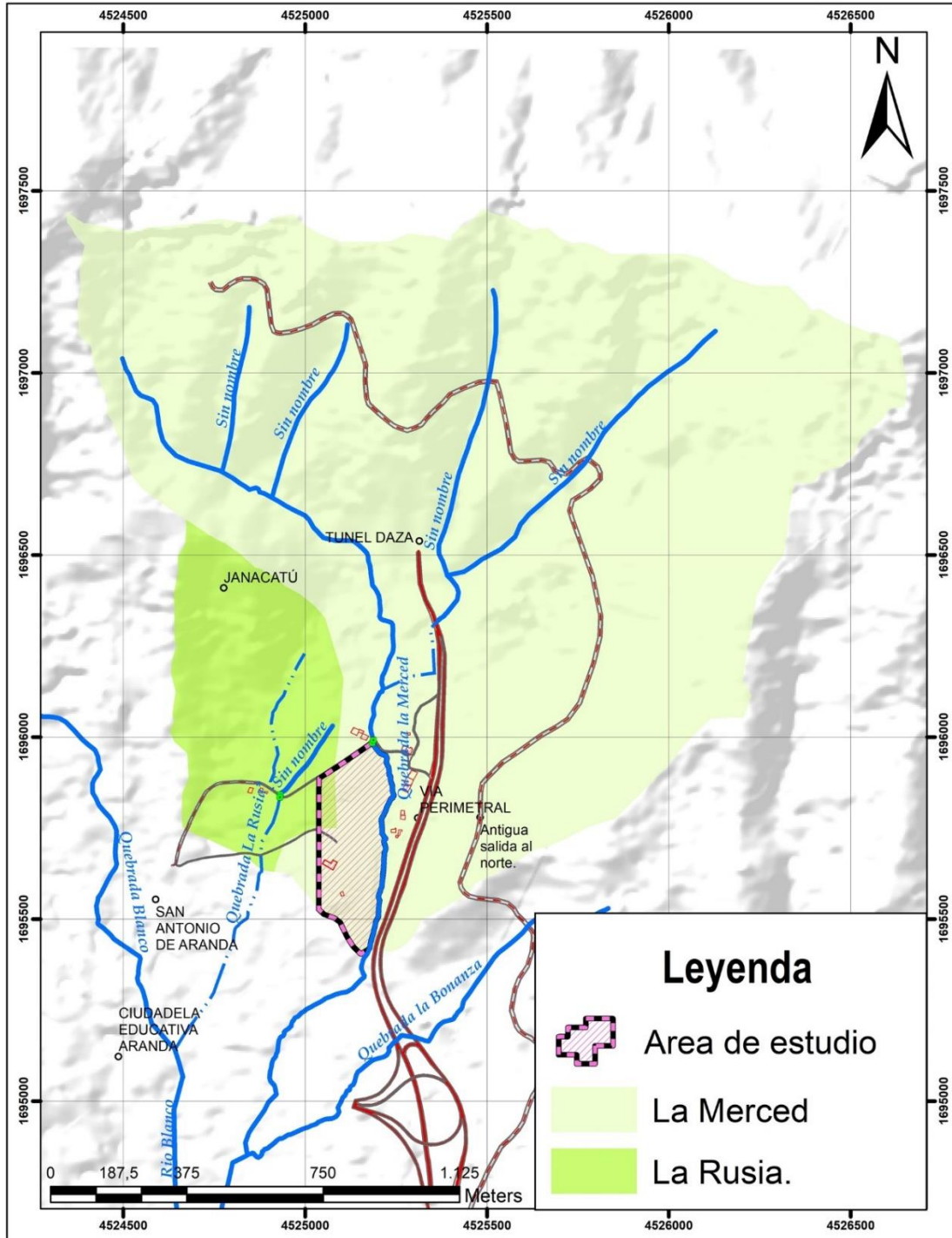


Figura 82. Delimitación cuencas de aporte al predio de estudio



Tabla 56. Características fisiográficas de las cuencas en estudio

Nombre de Cuenca	Área [Km <sup>2</sup> ]	Longitud escurrimiento principal [m]	Desnivel [m]	Pendiente Cauce Principal [m/m]
La Merced	2.67	2165	630	0.208
La Rusia	0.33	651	220	0.077

- Tiempo de Concentración

En la Tabla 57 se presentan los valores de los tiempos de concentración de las cuencas en estudio obtenidos por diferentes métodos. En función de las condiciones fisiográficas de las cuencas en estado natural se considera, según la bibliografía consultada (Bertoni, Chevallier, Bouvier, & Desbordes, 2000) y la información suministrada por los moradores de estas, que la ecuación que mejor representa las mismas, es la ecuación de Dooge. el cual, para la cuenca La Merced es de 30 minutos y para la cuenca La Rusia es de 12 minutos.

Pese a su influencia sobre la incertidumbre total en la estimación de caudales no existe en la práctica un método único para predecir con exactitud  $T_c$ . Existen métodos que tienden a contemplar las características de la cuenca y de la lluvia. Estos se basan en hipótesis simplificadas tales como: comportamiento lineal de la cuenca, ocurrencia de un flujo uniforme, unicidad del valor del coeficiente de resistencia, unicidad del valor del radio hidráulico, distribución homogénea de la lluvia, entre otras.

Por otra parte, un mismo método utilizado por usuarios diferentes puede arrojar resultados diferentes debido a la subjetividad en la adopción de los valores de algunos coeficientes. Los métodos basados en las características del conjunto hietograma-hidrograma también presentan limitaciones. Las principales de ellas se asocian a la inexistencia de métodos universales consagrados tanto para realizar la



separación del hidrograma como para establecer la distribución temporal exacta de la lluvia neta.

Por consiguiente, la combinación de distintos métodos conduce a la estimación de distintos valores de  $T_c$ . Otras limitaciones asociadas al hidrograma corresponde a su heterogeneidad espacial y a la variación de su frecuencia o tiempo de retorno.

Es preciso considerar también que no existe una definición única y universal de cada uno de los parámetros de tiempo característicos del escurrimiento. Las diferencias residen en los instantes que son considerados por cada autor para describir el inicio y o fin de cada período. Por ejemplo, Hall (1984) cita siete definiciones diferentes del tiempo de retardo. Finalmente,  $T_c$  es función del caudal. Una única estimación del mismo solo representa a cierto nivel del flujo, ya sea este bajo, medio o alto. El interés por representar frecuentemente situaciones de crecidas ha relacionado a algunas funciones o métodos clásicos de transferencia con condiciones de caudales alto.

Es por ello que con base en el tránsito de flujo a una velocidad estimada en las modelaciones hidráulicas se ha corroborado que el orden de tiempo de viaje sea el más próximo al asumido desde la literatura. Considerando que esta velocidad de tránsito es de 1.5 m/s (obtenida de la modelación hidráulica) y la longitud del tramo de 2.17 Km para el caso de la cuenca de la merced, se estima que el tiempo de viaje es aproximadamente de 24 minutos sin considerar el flujo en superficie, por lo cual es razonable seleccionar tiempos de concentración próximos a este valor, rectificando la coherencia de los valores asumidos.

Por su parte el lag a ser utilizado en la transformación lluvia caudal para las cuencas La Merced y Rusia tienen un valor de 18 y 9 minutos respectivamente, el cual, corresponde al método de transformación del hidrograma unitario del SCS. Cabe



resaltar que el tiempo de concentración no se asume como el valor medio de la estimación realizada por los diferentes métodos, puesto que estos al ser empíricos están desarrollados para condiciones específicas, razón por la cual, se selecciona el método más apropiado considerando los criterios mencionados anteriormente.

Tabla 57. Cálculo del tiempo de concentración para la cuenca de aporte La Merced y La Rusia

Número	ID, Unidad Hidrológica	Kirpich	California Culverts Practice	Ramser - Kerby	Método Racional Generalizado	FAA	Carter	Doogel
1	La Merced	13 min	12 min	25 min	26 min	33 min	13 min	27 min
2	La Rusia	8 min	4 min	14 min	11 min	25 min	6 min	12 min

A partir de estos valores de tiempo de concentración se procede a la definición de los valores de lluvias de diseño para cada cuenca.

- **Construcción Curva IDF**

La recurrencia de la lluvia analizada, en función de lo requerido será de 2, 25 y 100 años. La duración crítica estará asociada al tiempo de concentración de cada cuenca y su intensidad proviene de una curva IDF de la estación Obonuco, información que fue priorizada, descartando la de las estaciones Wilquipamba, y Universidad de Nariño, obtenidas mediante desagregación de datos diarios y ajustada en forma no lineal, considerando: Es una curva oficial del IDEAM; es más cercana al área de estudio que la estación Wilquipamba y presenta una intensidad similar; es más crítica en intensidad que la estación universidad de Nariño aunque se encuentra más lejana, esta última presenta un cambio altitudinal abrupto generando incertidumbre en su utilización.

- Curva Ajustada de Forma No Lineal, estación Wilquipamba



$$i = \frac{347.22 \cdot T_R^{0.653}}{(D + 9.43)^{0.719}}$$

- Curva Ajustada de Forma No Lineal, estación Universidad de Nariño

$$i = \frac{322.41 \cdot T_R^{0.143}}{(D + 9.37)^{0.718}}$$

- Curva Ajustada de Forma Lineal, estación Obonuco, en la Tabla 58 se observa los coeficientes para diferentes tiempos de retorno.

$$i = \frac{C1}{(D + X0)^{C2}}$$

Tabla 58. Coeficientes para diferentes tiempos de retorno, estación Obonuco, (IDEAM)

TR (años)	C1	X0	C2
2	324.55	9.852	0.755
3	420.001	9.048	0.784
5	541.556	8.702	0.812
10	712.396	8.593	0.841
25	951.158	8.649	0.87
50	1141.572	8.741	0.888
100	1339.746	8.845	0.903

- Distribución de Lluvia

- **Cuenca La Merced**

Considerando, la discretización temporal interna de la lluvia analizada efectuada mediante la metodología de bloque alterno, la duración de la lluvia (tiempo de



concentración) y el área de la cuenca. Los hietogramas resultantes de la aplicación de esta metodología para un tiempo de retorno de 2 años se presentan en la Tabla 59 y Figura 83.

Tabla 59. Hietograma de Proyecto cuenca La Merced, Tiempo Retorno 2 años

	1	2	3	4	5	6
Duración (min)	5	10	15	20	25	30
Intensidad(mm/h)	42.32	34.00	28.69	24.98	22.23	20.09
Precipitación (mm)	3.53	5.67	7.17	8.33	9.26	10.04
$\delta P$ (mm)	3.53	2.14	1.51	1.15	0.93	0.78
Arreglo (1/4)	1.51	3.53	2.14	1.15	0.93	0.78
Atenuación Areal	1.46	3.42	2.07	1.12	0.91	0.76

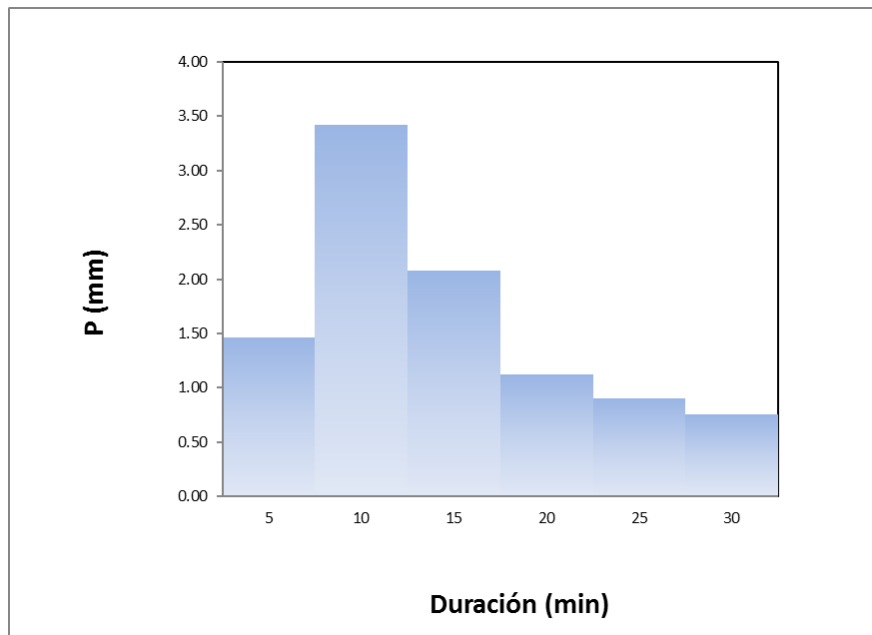


Figura 83. Hietograma de Proyecto Cuenca La Merced, TR 2 años

Los hietogramas resultantes de la aplicación de esta metodología para un tiempo de retorno de 25 años se presentan en la Tabla 60 y Figura 84.



Tabla 60. Hietograma de Proyecto cuenca La Merced, Tiempo Retorno 25 años

	1	2	3	4	5	6
Duración (min)	5	10	15	20	25	30
Intensidad(mm/h)	97.88	74.61	60.68	51.35	44.65	39.58
Precipitación (mm)	8.16	12.43	15.17	17.12	18.60	19.79
$\delta P$ (mm)	8.16	4.28	2.74	1.95	1.48	1.19
Arreglo (1/4)	2.74	8.16	4.28	1.95	1.48	1.19
Atenuación Areal	2.65	7.91	4.15	1.89	1.44	1.15

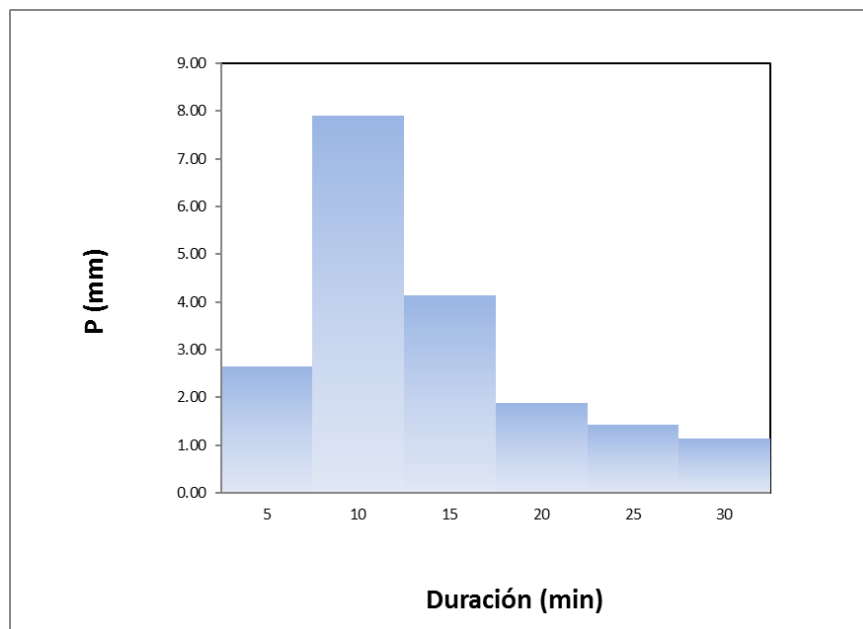


Figura 84. Hietograma de Proyecto Cuenca La Merced, TR 25 años

Los hietogramas resultantes de la aplicación de esta metodología para un tiempo de retorno de 100 años se presentan en la Tabla 61 y Figura 85:



Tabla 61. Hietograma de Proyecto cuenca La Merced, Tiempo Retorno 100 años

	1	2	3	4	5	6
Duración (min)	5	10	15	20	25	30
Intensidad(mm/h)	124.86	94.52	76.42	64.35	55.70	49.19
Precipitación (mm)	10.41	15.75	19.11	21.45	23.21	24.59
$\delta P$ (mm)	10.41	5.35	3.35	2.35	1.76	1.38
Arreglo (1/4)	3.35	10.41	5.35	2.35	1.76	1.38
Atenuación Areal	3.25	10.09	5.19	2.28	1.71	1.34

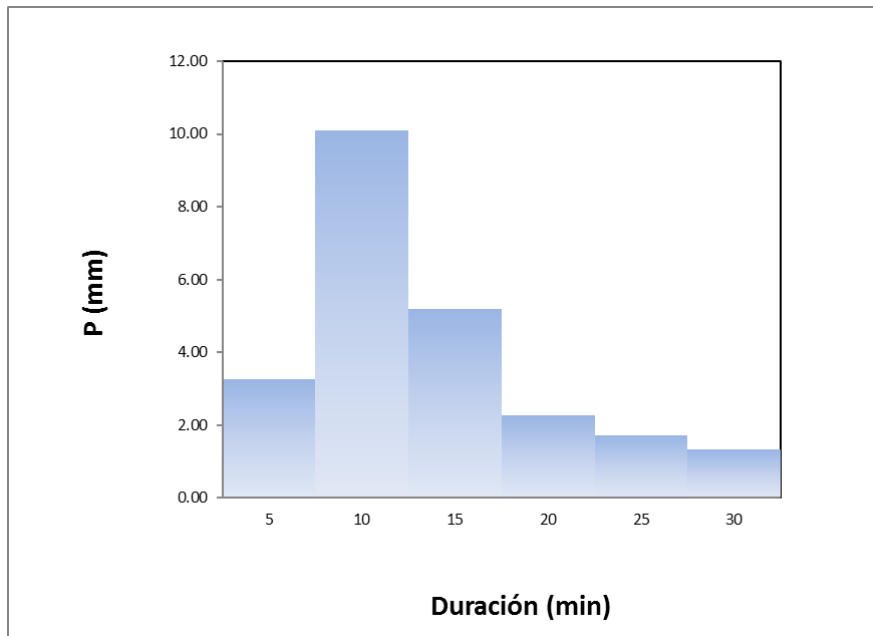


Figura 85. Hietograma de Proyecto Cuenca La Merced, TR 100 años

**- Cuenca La Rusia**

Considerando, la discretización temporal interna de la lluvia analizada efectuada mediante la metodología de bloque alterno, la duración de la lluvia (tiempo de concentración) y el área de la cuenca. Los hietogramas resultantes de la aplicación de esta metodología para un tiempo de retorno de 2 años se presentan en la Tabla 62 y Figura 86.





Cabe resaltar que, para esta cuenca, al tener un tiempo de concentración menor a 15 minutos, se toma como referencia según (Chow, Maidment, & Mays, 1994), solo un intervalo de tiempo de 15 minutos.

Tabla 62. Hietograma de Proyecto cuenca La Rusia, Tiempo Retorno 2 años

	1
Duración (min)	15
Intensidad(mm/h)	28.69
Precipitación (mm)	7.17
$\delta P$ (mm)	7.17
Arreglo (1/4)	7.17
Atenuación Areal	6.96

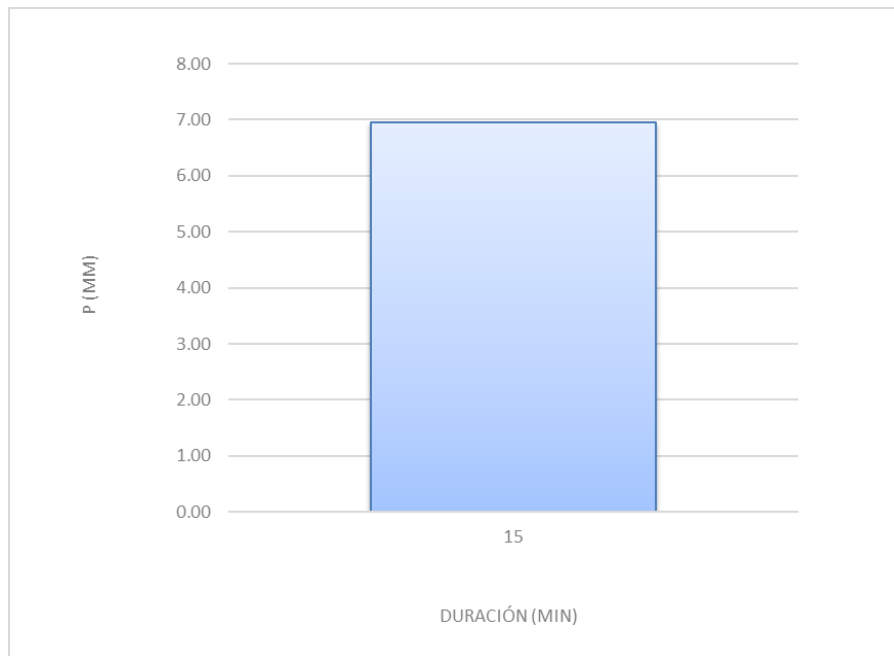


Figura 86. Hietograma de Proyecto Cuenca La Rusia, TR 2 años

Los hietogramas resultantes de la aplicación de esta metodología para un tiempo de retorno de 25 años se presentan en la Tabla 63 y Figura 87.



Tabla 63. Hietograma de Proyecto cuenca La Rusia, Tiempo Retorno 25 años

	1
Duración (min)	15
Intensidad(mm/h)	60.68
Precipitación (mm)	15.17
$\delta P$ (mm)	15.17
Arreglo (1/4)	15.17
Atenuación Areal	14.71

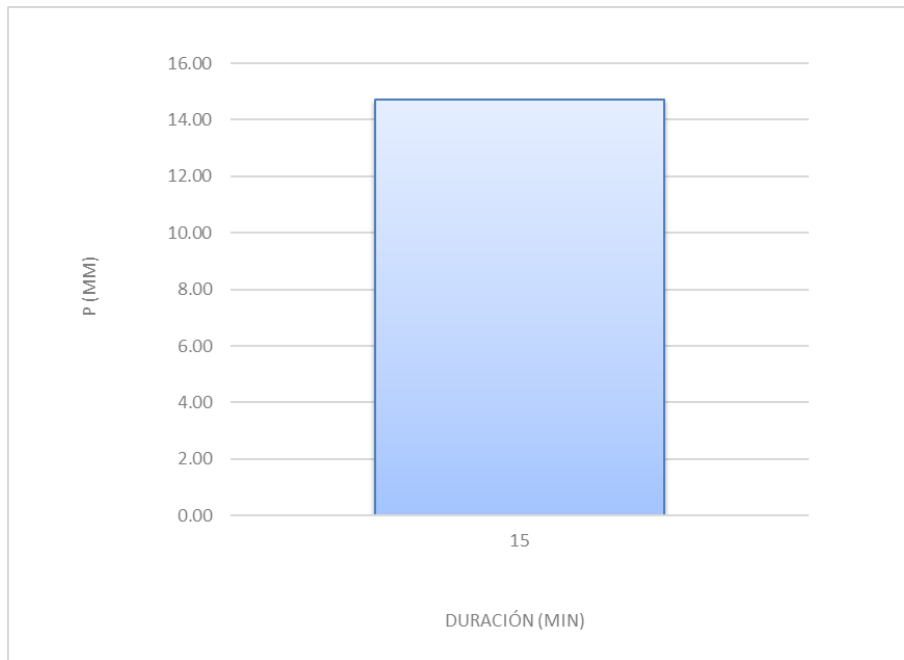


Figura 87. Hietograma de Proyecto Cuenca La Rusia, TR 25 años

Los hietogramas resultantes de la aplicación de esta metodología para un tiempo de retorno de 100 años se presentan en la Tabla 64 y Figura 88.



Tabla 64. Hietograma de Proyecto cuenca La Rusia, Tiempo Retorno 100 años

	1
Duración (min)	15
Intensidad(mm/h)	76.42
Precipitación (mm)	19.11
$\delta P$ (mm)	19.11
Arreglo (1/4)	19.11
Atenuación Areal	18.53

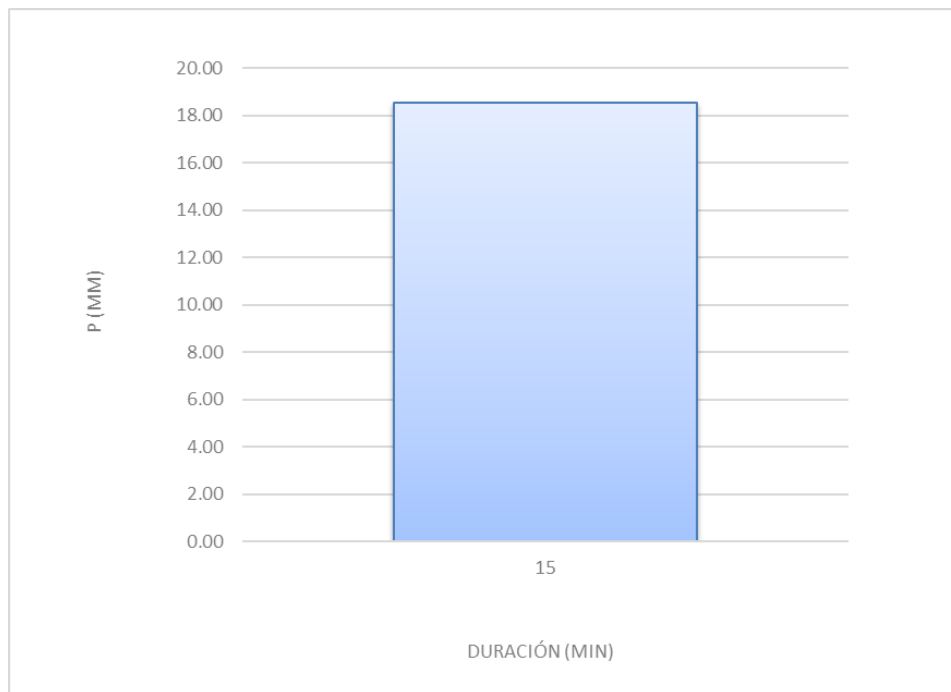


Figura 88. Hietograma de Proyecto Cuenca La Rusia, TR 100 años

- Estimación Hidrograma de Crecida

En la Figura 89, se presenta de manera esquemática el resultado de la clasificación de suelos por el método S.C.S. Una vez obtenido este, se estimaron los valores de



pérdidas del método de CN(II) del SCS, los cuales se presentan en la Tabla 65 y Figura 90.

Tabla 65. Valores de CN (II) y CN (III) para las cuencas en estudio

Cuenca	CN (II)	CN (III)
La Merced	70	83
La Rusia	61	78

Cabe resaltar que, para todas modelaciones se tomó en cuenta el valor de CN (III), considerando una situación crítica de saturación de suelo.

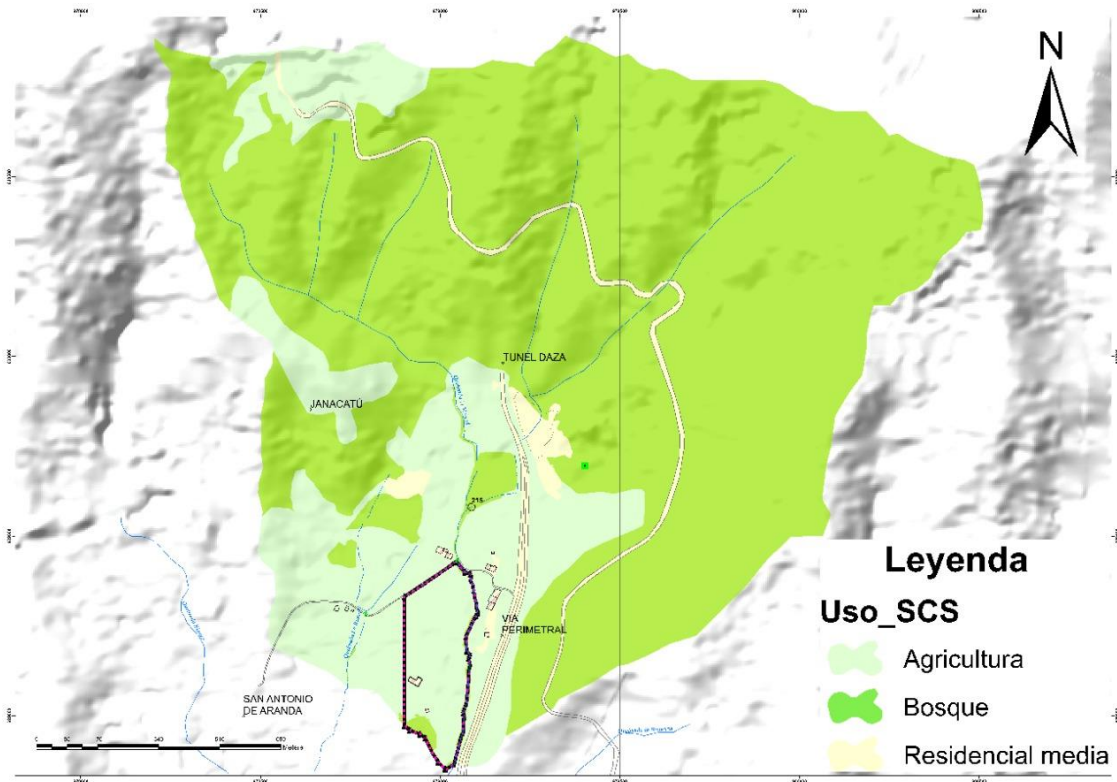


Figura 89. Mapa de Clasificación de Suelos S-C-S

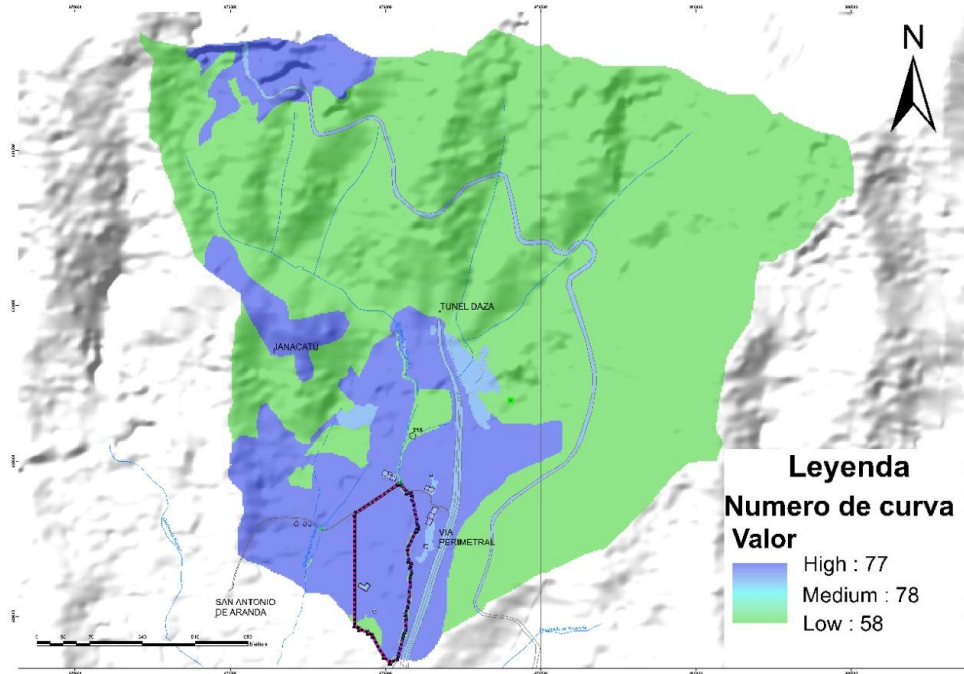


Figura 90. Valores CN(II) Ponderado

#### - Cuenca La Merced

El hidrograma crítico al cierre de la cuenca en estudio correspondiente a un Tiempo de Retorno de 2 años se presenta en la Tabla 66 y Figura 91. El caudal máximo asociado a este tiempo es de 1.59 m<sup>3</sup>/s.



Tabla 66. Hidrograma de salida cuenca de aporte La Merced, TR de 2 años

Fecha	Hora	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fecha	Hora	Q (m <sup>3</sup> /s)
01-abr-20	0:00	0	01-abr-20	1:02	0.32
01-abr-20	0:02	0	01-abr-20	1:04	0.27
01-abr-20	0:04	0.002	01-abr-20	1:06	0.228
01-abr-20	0:06	0.008	01-abr-20	1:08	0.192
01-abr-20	0:08	0.024	01-abr-20	1:10	0.162
01-abr-20	0:10	0.059	01-abr-20	1:12	0.136
01-abr-20	0:12	0.121	01-abr-20	1:14	0.115
01-abr-20	0:14	0.214	01-abr-20	1:16	0.097
01-abr-20	0:16	0.345	01-abr-20	1:18	0.081
01-abr-20	0:18	0.51	01-abr-20	1:20	0.069
01-abr-20	0:20	0.696	01-abr-20	1:22	0.058
01-abr-20	0:22	0.889	01-abr-20	1:24	0.049
01-abr-20	0:24	1.073	01-abr-20	1:26	0.041
01-abr-20	0:26	1.238	01-abr-20	1:28	0.035
01-abr-20	0:28	1.376	01-abr-20	1:30	0.029
01-abr-20	0:30	1.483	01-abr-20	1:32	0.025
01-abr-20	0:32	1.558	01-abr-20	1:34	0.021
01-abr-20	0:34	1.596	01-abr-20	1:36	0.017
01-abr-20	0:36	1.595	01-abr-20	1:38	0.014
01-abr-20	0:38	1.558	01-abr-20	1:40	0.012
01-abr-20	0:40	1.488	01-abr-20	1:42	0.009
01-abr-20	0:42	1.389	01-abr-20	1:44	0.007
01-abr-20	0:44	1.271	01-abr-20	1:46	0.006
01-abr-20	0:46	1.142	01-abr-20	1:48	0.004
01-abr-20	0:48	1.012	01-abr-20	1:50	0.003
01-abr-20	0:50	0.883	01-abr-20	1:52	0.002
01-abr-20	0:52	0.759	01-abr-20	1:54	0.002
01-abr-20	0:54	0.646	01-abr-20	1:56	0.001
01-abr-20	0:56	0.544	01-abr-20	1:58	0.001
01-abr-20	0:58	0.455	01-abr-20	2:00	0
01-abr-20	1:00	0.381	01-abr-20	2:02	0

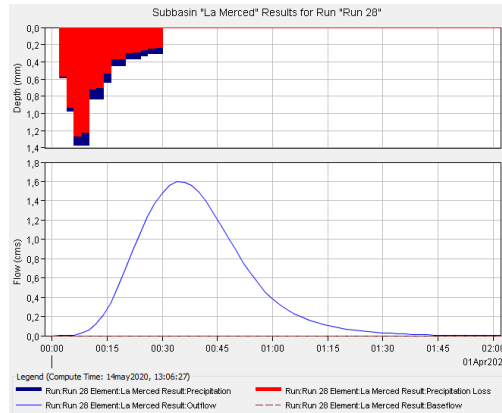


Figura 91. Caudal máximo de salida para la cuenca de aporte La Merced, para una lluvia de TR 2 años.

El hidrograma crítico al cierre de la cuenca en estudio correspondiente a un Tiempo de Retorno igual a 25 años se presenta en la Tabla 67 y Figura 91. El caudal máximo asociado a este tiempo es de 5.63 m<sup>3</sup>/s.



Tabla 67. Hidrograma de salida cuenca de aporte La Merced, TR de 25 años

Fecha	Hora	Q (m³/s)	Fecha	Hora	Q (m³/s)
01-abr-20	0:00	0	01-abr-20	1:02	0.987
01-abr-20	0:02	0.001	01-abr-20	1:04	0.831
01-abr-20	0:04	0.006	01-abr-20	1:06	0.701
01-abr-20	0:06	0.026	01-abr-20	1:08	0.591
01-abr-20	0:08	0.088	01-abr-20	1:10	0.498
01-abr-20	0:10	0.236	01-abr-20	1:12	0.419
01-abr-20	0:12	0.492	01-abr-20	1:14	0.353
01-abr-20	0:14	0.876	01-abr-20	1:16	0.298
01-abr-20	0:16	1.413	01-abr-20	1:18	0.251
01-abr-20	0:18	2.084	01-abr-20	1:20	0.211
01-abr-20	0:20	2.827	01-abr-20	1:22	0.178
01-abr-20	0:22	3.563	01-abr-20	1:24	0.15
01-abr-20	0:24	4.233	01-abr-20	1:26	0.127
01-abr-20	0:26	4.79	01-abr-20	1:28	0.107
01-abr-20	0:28	5.214	01-abr-20	1:30	0.091
01-abr-20	0:30	5.492	01-abr-20	1:32	0.077
01-abr-20	0:32	5.63	01-abr-20	1:34	0.064
01-abr-20	0:34	5.63	01-abr-20	1:36	0.053
01-abr-20	0:36	5.487	01-abr-20	1:38	0.043
01-abr-20	0:38	5.226	01-abr-20	1:40	0.034
01-abr-20	0:40	4.881	01-abr-20	1:42	0.027
01-abr-20	0:42	4.473	01-abr-20	1:44	0.02
01-abr-20	0:44	4.029	01-abr-20	1:46	0.016
01-abr-20	0:46	3.581	01-abr-20	1:48	0.012
01-abr-20	0:48	3.146	01-abr-20	1:50	0.009
01-abr-20	0:50	2.728	01-abr-20	1:52	0.006
01-abr-20	0:52	2.338	01-abr-20	1:54	0.004
01-abr-20	0:54	1.986	01-abr-20	1:56	0.003
01-abr-20	0:56	1.672	01-abr-20	1:58	0.001
01-abr-20	0:58	1.399	01-abr-20	2:00	0.001
01-abr-20	1:00	1.172	01-abr-20	2:02	0

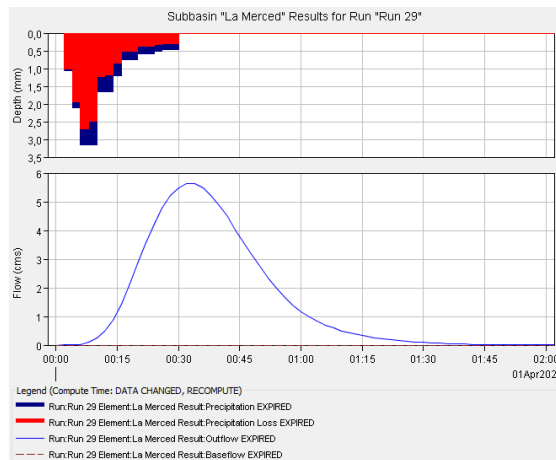


Figura 92. Caudal máximo de salida para la cuenca de aporte La Merced, para una lluvia de TR 25 años

Así mismo, el hidrograma crítico al cierre de la cuenca en estudio correspondiente a un Tiempo de Retorno de 100 años se presenta en Tabla 68 y Figura 90. El caudal máximo asociado a este tiempo es de 8.34 m<sup>3</sup>/s.



Tabla 68. Hidrograma de salida cuenca de aporte La Merced, TR de 100 años

Fecha	Hora	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fecha	Hora	Q (m <sup>3</sup> /s)
01-abr-20	0:00	0	01-abr-20	1:02	1.408
01-abr-20	0:02	0.001	01-abr-20	1:04	1.186
01-abr-20	0:04	0.009	01-abr-20	1:06	1
01-abr-20	0:06	0.038	01-abr-20	1:08	0.843
01-abr-20	0:08	0.134	01-abr-20	1:10	0.711
01-abr-20	0:10	0.36	01-abr-20	1:12	0.598
01-abr-20	0:12	0.753	01-abr-20	1:14	0.504
01-abr-20	0:14	1.34	01-abr-20	1:16	0.425
01-abr-20	0:16	2.159	01-abr-20	1:18	0.358
01-abr-20	0:18	3.18	01-abr-20	1:20	0.301
01-abr-20	0:20	4.302	01-abr-20	1:22	0.254
01-abr-20	0:22	5.404	01-abr-20	1:24	0.214
01-abr-20	0:24	6.396	01-abr-20	1:26	0.181
01-abr-20	0:26	7.207	01-abr-20	1:28	0.153
01-abr-20	0:28	7.807	01-abr-20	1:30	0.13
01-abr-20	0:30	8.183	01-abr-20	1:32	0.109
01-abr-20	0:32	8.344	01-abr-20	1:34	0.092
01-abr-20	0:34	8.299	01-abr-20	1:36	0.076
01-abr-20	0:36	8.042	01-abr-20	1:38	0.061
01-abr-20	0:38	7.615	01-abr-20	1:40	0.049
01-abr-20	0:40	7.074	01-abr-20	1:42	0.037
01-abr-20	0:42	6.454	01-abr-20	1:44	0.029
01-abr-20	0:44	5.792	01-abr-20	1:46	0.022
01-abr-20	0:46	5.133	01-abr-20	1:48	0.016
01-abr-20	0:48	4.5	01-abr-20	1:50	0.012
01-abr-20	0:50	3.896	01-abr-20	1:52	0.008
01-abr-20	0:52	3.336	01-abr-20	1:54	0.006
01-abr-20	0:54	2.832	01-abr-20	1:56	0.004
01-abr-20	0:56	2.384	01-abr-20	1:58	0.002
01-abr-20	0:58	1.996	01-abr-20	2:00	0.001
01-abr-20	1:00	1.673	01-abr-20	2:02	0

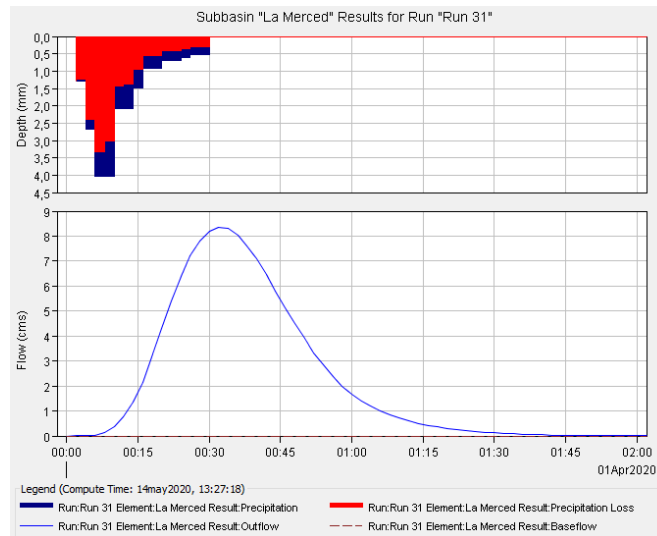


Figura 93. Caudal máximo de salida para la cuenca de aporte La Merced, para una lluvia de TR 100 años





Tabla 69. Hidrograma de salida cuenca de aporte La Merced, TR de 25 años

Fecha	Hora	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fecha	Hora	Q (m <sup>3</sup> /s)
01-abr-20	0:00	0	01-abr-20	1:02	0.987
01-abr-20	0:02	0.001	01-abr-20	1:04	0.831
01-abr-20	0:04	0.006	01-abr-20	1:06	0.701
01-abr-20	0:06	0.026	01-abr-20	1:08	0.591
01-abr-20	0:08	0.088	01-abr-20	1:10	0.498
01-abr-20	0:10	0.236	01-abr-20	1:12	0.419
01-abr-20	0:12	0.492	01-abr-20	1:14	0.353
01-abr-20	0:14	0.876	01-abr-20	1:16	0.298
01-abr-20	0:16	1.413	01-abr-20	1:18	0.251
01-abr-20	0:18	2.084	01-abr-20	1:20	0.211
01-abr-20	0:20	2.827	01-abr-20	1:22	0.178
01-abr-20	0:22	3.563	01-abr-20	1:24	0.15
01-abr-20	0:24	4.233	01-abr-20	1:26	0.127
01-abr-20	0:26	4.79	01-abr-20	1:28	0.107
01-abr-20	0:28	5.214	01-abr-20	1:30	0.091
01-abr-20	0:30	5.492	01-abr-20	1:32	0.077
01-abr-20	0:32	5.63	01-abr-20	1:34	0.064
01-abr-20	0:34	5.63	01-abr-20	1:36	0.053
01-abr-20	0:36	5.487	01-abr-20	1:38	0.043
01-abr-20	0:38	5.226	01-abr-20	1:40	0.034
01-abr-20	0:40	4.881	01-abr-20	1:42	0.027
01-abr-20	0:42	4.473	01-abr-20	1:44	0.02
01-abr-20	0:44	4.029	01-abr-20	1:46	0.016
01-abr-20	0:46	3.581	01-abr-20	1:48	0.012
01-abr-20	0:48	3.146	01-abr-20	1:50	0.009
01-abr-20	0:50	2.728	01-abr-20	1:52	0.006
01-abr-20	0:52	2.338	01-abr-20	1:54	0.004
01-abr-20	0:54	1.986	01-abr-20	1:56	0.003
01-abr-20	0:56	1.672	01-abr-20	1:58	0.001
01-abr-20	0:58	1.399	01-abr-20	2:00	0.001
01-abr-20	1:00	1.172	01-abr-20	2:02	0

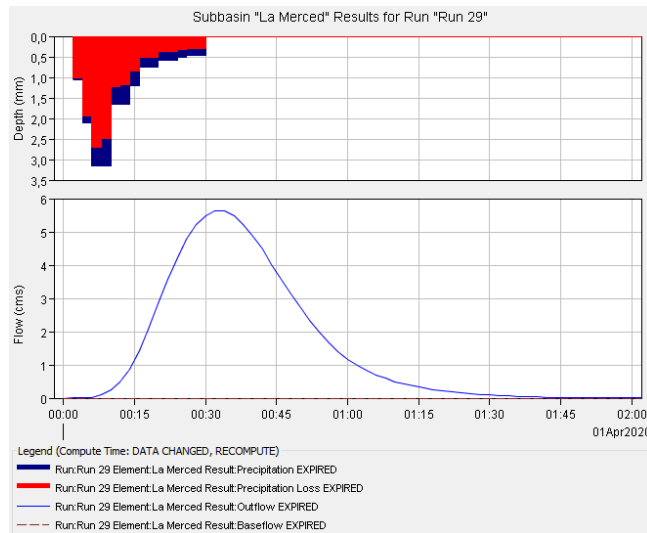


Figura 94. Caudal máximo de salida para la cuenca de aporte La Merced, para una lluvia de TR 25 años



Así mismo, el hidrograma crítico al cierre de la cuenca en estudio correspondiente a un Tiempo de Retorno de 100 años se presenta en Tabla 70 y Figura 95. El caudal máximo asociado a este tiempo es de 8.34 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 70. Hidrograma de salida cuenca de aporte La Merced, TR de 100 años

Fecha	Hora	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fecha	Hora	Q (m <sup>3</sup> /s)
01-abr-20	0:00	0	01-abr-20	1:02	1.408
01-abr-20	0:02	0.001	01-abr-20	1:04	1.186
01-abr-20	0:04	0.009	01-abr-20	1:06	1
01-abr-20	0:06	0.038	01-abr-20	1:08	0.843
01-abr-20	0:08	0.134	01-abr-20	1:10	0.711
01-abr-20	0:10	0.36	01-abr-20	1:12	0.598
01-abr-20	0:12	0.753	01-abr-20	1:14	0.504
01-abr-20	0:14	1.34	01-abr-20	1:16	0.425
01-abr-20	0:16	2.159	01-abr-20	1:18	0.358
01-abr-20	0:18	3.18	01-abr-20	1:20	0.301
01-abr-20	0:20	4.302	01-abr-20	1:22	0.254
01-abr-20	0:22	5.404	01-abr-20	1:24	0.214
01-abr-20	0:24	6.396	01-abr-20	1:26	0.181
01-abr-20	0:26	7.207	01-abr-20	1:28	0.153
01-abr-20	0:28	7.807	01-abr-20	1:30	0.13
01-abr-20	0:30	8.183	01-abr-20	1:32	0.109
01-abr-20	0:32	8.344	01-abr-20	1:34	0.092
01-abr-20	0:34	8.299	01-abr-20	1:36	0.076
01-abr-20	0:36	8.042	01-abr-20	1:38	0.061
01-abr-20	0:38	7.615	01-abr-20	1:40	0.049
01-abr-20	0:40	7.074	01-abr-20	1:42	0.037
01-abr-20	0:42	6.454	01-abr-20	1:44	0.029
01-abr-20	0:44	5.792	01-abr-20	1:46	0.022
01-abr-20	0:46	5.133	01-abr-20	1:48	0.016
01-abr-20	0:48	4.5	01-abr-20	1:50	0.012
01-abr-20	0:50	3.896	01-abr-20	1:52	0.008
01-abr-20	0:52	3.336	01-abr-20	1:54	0.006
01-abr-20	0:54	2.832	01-abr-20	1:56	0.004
01-abr-20	0:56	2.384	01-abr-20	1:58	0.002
01-abr-20	0:58	1.996	01-abr-20	2:00	0.001
01-abr-20	1:00	1.673	01-abr-20	2:02	0

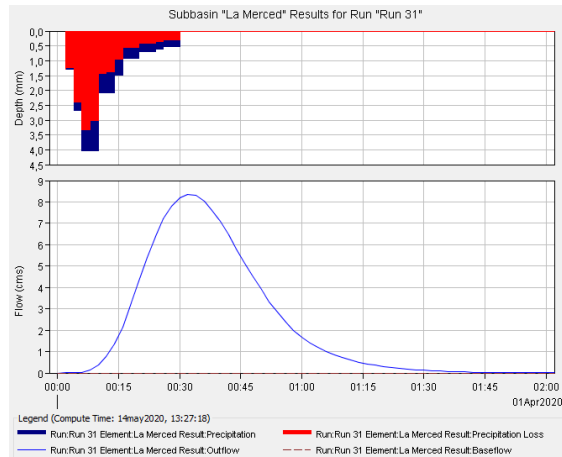


Figura 95. Caudal máximo de salida para la cuenca de aporte La Merced, para una lluvia de TR 100 años



Finalmente, en la Figura 96, se puede observar el resumen de los hidrogramas de crecida para la cuenca La Merced, estimados a diferentes tiempos de retorno.

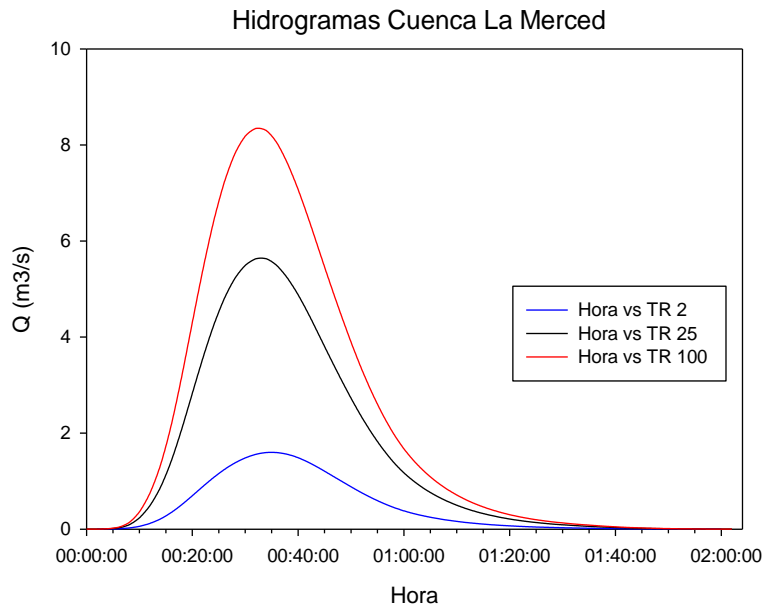


Figura 96. Resumen hidrogramas cuenca La Merced a diferentes TR

#### – Cuenca La Rusia

El hidrograma crítico al cierre de la cuenca en estudio correspondiente al hidrograma de proyecto de Tiempo de Retorno igual a 2 años, Tabla 71 y Figura 97. El caudal máximo asociado al tiempo de retorno de 2 años para la cuenca de aporte La Rusia es de 0.34 m<sup>3</sup>/s.



Tabla 71. Hidrograma de salida cuenca de aporte La Rusia, TR de 2 años

Fecha	Hora	Q (m³/s)	Fecha	Hora	Q (m³/s)
01-abr-20	0:00	0	01-abr-20	0:29	0.123
01-abr-20	0:01	0	01-abr-20	0:30	0.102
01-abr-20	0:02	0.001	01-abr-20	0:31	0.086
01-abr-20	0:03	0.003	01-abr-20	0:32	0.073
01-abr-20	0:00	0.006	01-abr-20	0:33	0.061
01-abr-20	0:00	0.011	01-abr-20	0:34	0.052
01-abr-20	0:00	0.02	01-abr-20	0:35	0.044
01-abr-20	0:00	0.032	01-abr-20	0:36	0.037
01-abr-20	0:01	0.047	01-abr-20	0:37	0.031
01-abr-20	0:01	0.065	01-abr-20	0:38	0.026
01-abr-20	0:10	0.087	01-abr-20	0:39	0.022
01-abr-20	0:11	0.112	01-abr-20	0:40	0.018
01-abr-20	0:12	0.14	01-abr-20	0:41	0.016
01-abr-20	0:13	0.169	01-abr-20	0:42	0.013
01-abr-20	0:14	0.2	01-abr-20	0:43	0.011
01-abr-20	0:15	0.233	01-abr-20	0:44	0.009
01-abr-20	0:16	0.264	01-abr-20	0:45	0.008
01-abr-20	0:17	0.292	01-abr-20	0:46	0.007
01-abr-20	0:18	0.315	01-abr-20	0:47	0.006
01-abr-20	0:19	0.33	01-abr-20	0:48	0.005
01-abr-20	0:20	0.336	01-abr-20	0:49	0.004
01-abr-20	0:21	0.33	01-abr-20	0:50	0.003
01-abr-20	0:22	0.315	01-abr-20	0:51	0.003
01-abr-20	0:23	0.292	01-abr-20	0:52	0.002
01-abr-20	0:24	0.265	01-abr-20	0:53	0.002
01-abr-20	0:25	0.235	01-abr-20	0:54	0.001
01-abr-20	0:26	0.204	01-abr-20	0:55	0.001
01-abr-20	0:27	0.175	01-abr-20	0:56	0.001
01-abr-20	0:28	0.148	01-abr-20	0:57	0.001

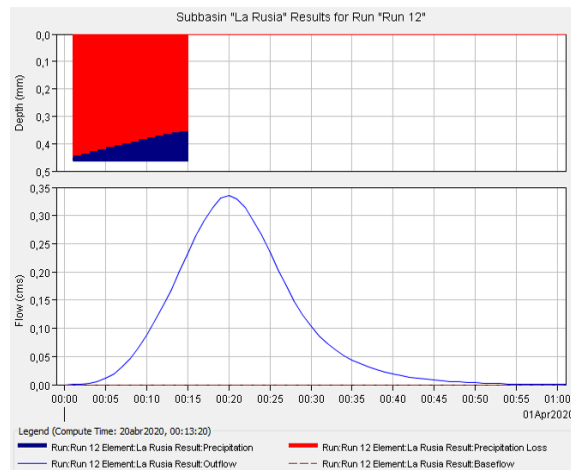


Figura 97. Caudal máximo de salida para la cuenca de aporte La Rusia, para una lluvia de TR 2 años

Mientras que, el hidrograma crítico al cierre de la cuenca en estudio correspondiente al hidrograma de proyecto de Tiempo de Retorno igual a 25 años, Tabla 72 y Figura 98. El caudal máximo asociado al tiempo de retorno de 25 años para la cuenca de aporte La Rusia es de 1.24 m<sup>3</sup>/s.



Tabla 72. Hidrograma de salida cuenca de aporte La Rusia, TR de 25 años

Fecha	Hora	Q (m³/s)	Fecha	Hora	Q (m³/s)
01-abr-20	0:00	0	01-abr-20	0:31	0.315
01-abr-20	0:01	0.001	01-abr-20	0:32	0.266
01-abr-20	0:02	0.003	01-abr-20	0:33	0.224
01-abr-20	0:03	0.008	01-abr-20	0:34	0.19
01-abr-20	0:04	0.019	01-abr-20	0:35	0.16
01-abr-20	0:05	0.038	01-abr-20	0:36	0.134
01-abr-20	0:06	0.068	01-abr-20	0:37	0.113
01-abr-20	0:07	0.11	01-abr-20	0:38	0.095
01-abr-20	0:08	0.166	01-abr-20	0:39	0.08
01-abr-20	0:09	0.236	01-abr-20	0:40	0.068
01-abr-20	0:10	0.318	01-abr-20	0:41	0.057
01-abr-20	0:11	0.411	01-abr-20	0:42	0.048
01-abr-20	0:12	0.514	01-abr-20	0:43	0.04
01-abr-20	0:13	0.625	01-abr-20	0:44	0.034
01-abr-20	0:14	0.742	01-abr-20	0:45	0.029
01-abr-20	0:15	0.862	01-abr-20	0:46	0.024
01-abr-20	0:16	0.977	01-abr-20	0:47	0.02
01-abr-20	0:17	1.079	01-abr-20	0:48	0.017
01-abr-20	0:18	1.162	01-abr-20	0:49	0.014
01-abr-20	0:19	1.217	01-abr-20	0:50	0.012
01-abr-20	0:20	1.236	01-abr-20	0:51	0.01
01-abr-20	0:21	1.212	01-abr-20	0:52	0.008
01-abr-20	0:22	1.154	01-abr-20	0:53	0.007
01-abr-20	0:23	1.07	01-abr-20	0:54	0.005
01-abr-20	0:24	0.97	01-abr-20	0:55	0.004
01-abr-20	0:25	0.86	01-abr-20	0:56	0.003
01-abr-20	0:26	0.748	01-abr-20	0:57	0.002
01-abr-20	0:27	0.64	01-abr-20	0:58	0.001
01-abr-20	0:28	0.539	01-abr-20	0:59	0.001
01-abr-20	0:29	0.449	01-abr-20	1:00	0
01-abr-20	0:30	0.375			

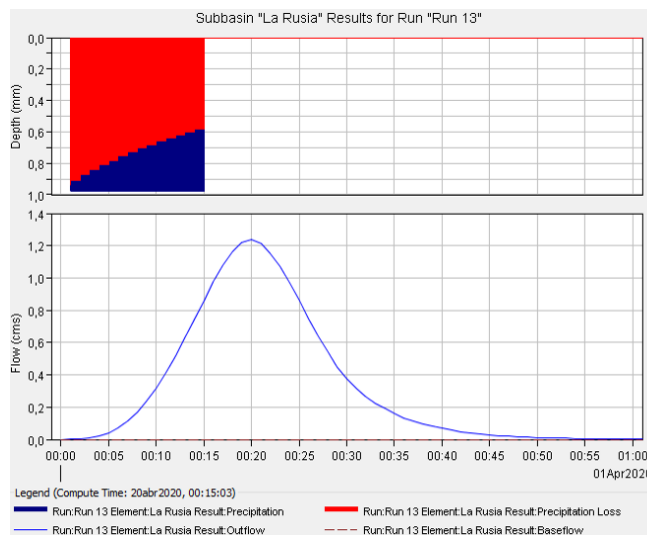


Figura 98. Caudal máximo de salida para la cuenca de aporte La Rusia, para una lluvia de TR 25 años

Así mismo, el hidrograma crítico al cierre de la cuenca correspondiente al hidrograma de proyecto de Tiempo de Retorno de 100 años, El caudal máximo



asociado al tiempo de retorno de 100 años para la cuenca de aporte La Rusia es de 1.82 m<sup>3</sup>/s.

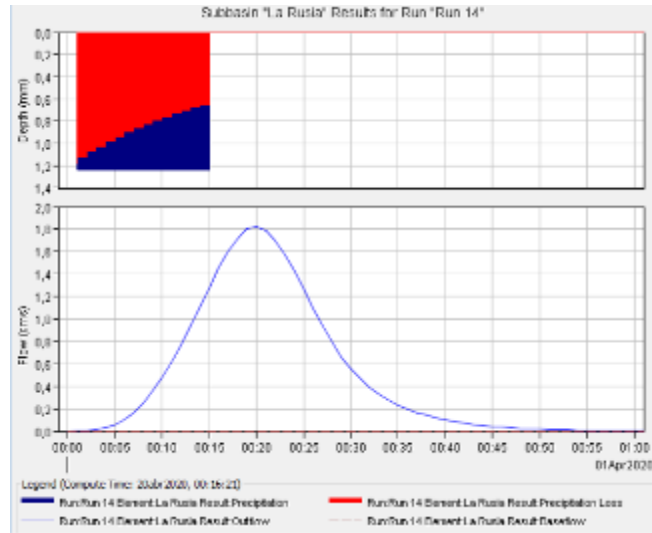


Figura 99. Caudal máximo de salida para la cuenca de aporte La Rusia, para una lluvia de TR 100 años.

Tabla 73 y Figura 97. El caudal máximo asociado al tiempo de retorno de 100 años para la cuenca de aporte La Rusia es de 1.82 m<sup>3</sup>/s.

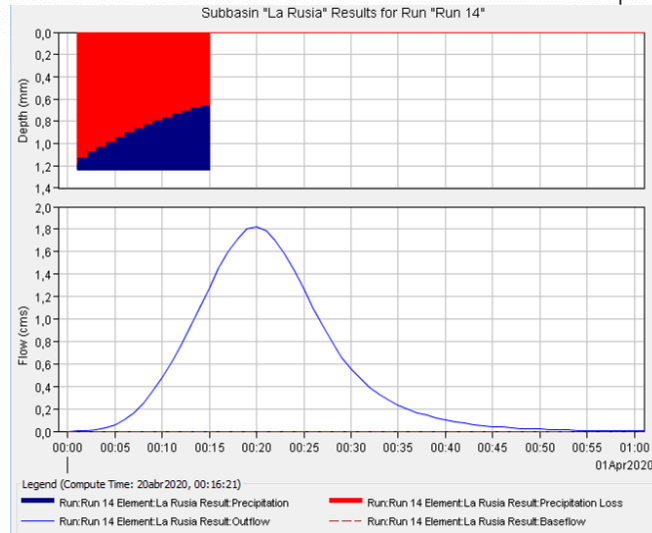


Figura 100. Caudal máximo de salida para la cuenca de aporte La Rusia, para una lluvia de TR 100 años

Tabla 73. Hidrograma de salida cuenca de aporte La Rusia, TR de 100 años

Fecha	Hora	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fecha	Hora	Q (m <sup>3</sup> /s)
01-abr-20	0:00	0	01-abr-20	0:31	0.464
01-abr-20	0:01	0.001	01-abr-20	0:32	0.391
01-abr-20	0:02	0.004	01-abr-20	0:33	0.33
01-abr-20	0:03	0.012	01-abr-20	0:34	0.279
01-abr-20	0:00	0.029	01-abr-20	0:35	0.235
01-abr-20	0:00	0.057	01-abr-20	0:36	0.197
01-abr-20	0:00	0.101	01-abr-20	0:37	0.166
01-abr-20	0:00	0.164	01-abr-20	0:38	0.14
01-abr-20	0:01	0.248	01-abr-20	0:39	0.118
01-abr-20	0:01	0.352	01-abr-20	0:40	0.099
01-abr-20	0:10	0.475	01-abr-20	0:41	0.083
01-abr-20	0:11	0.615	01-abr-20	0:42	0.07
01-abr-20	0:12	0.769	01-abr-20	0:43	0.059
01-abr-20	0:13	0.933	01-abr-20	0:44	0.05
01-abr-20	0:14	1.106	01-abr-20	0:45	0.042
01-abr-20	0:15	1.283	01-abr-20	0:46	0.036
01-abr-20	0:16	1.452	01-abr-20	0:47	0.03
01-abr-20	0:17	1.601	01-abr-20	0:48	0.025
01-abr-20	0:18	1.72	01-abr-20	0:49	0.021
01-abr-20	0:19	1.799	01-abr-20	0:50	0.017
01-abr-20	0:20	1.824	01-abr-20	0:51	0.014
01-abr-20	0:21	1.788	01-abr-20	0:52	0.012
01-abr-20	0:22	1.7	01-abr-20	0:53	0.01
01-abr-20	0:23	1.575	01-abr-20	0:54	0.008
01-abr-20	0:24	1.426	01-abr-20	0:55	0.006
01-abr-20	0:25	1.264	01-abr-20	0:56	0.004
01-abr-20	0:26	1.099	01-abr-20	0:57	0.003
01-abr-20	0:27	0.941	01-abr-20	0:58	0.002
01-abr-20	0:28	0.792	01-abr-20	0:59	0.001
01-abr-20	0:29	0.66	01-abr-20	1:00	0.001
01-abr-20	0:30	0.551	01-abr-20	1:01	0



Por otro lado, en la Figura 101, se puede observar el resumen de los hidrogramas de crecida para la cuenca La Rusia, estimados a diferentes tiempos de retorno.

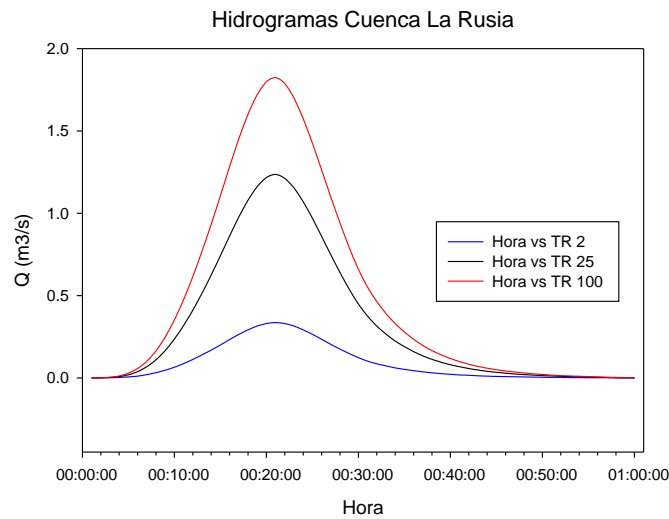


Figura 101. Resumen hidrogramas cuenca La Rusia a diferentes TR

Finalmente, se presenta en la Tabla 74, el resumen de los caudales líquidos de las cuencas aportantes al predio en estudio.

Tabla 74. Resumen de Caudales líquidos en m<sup>3</sup>/s

Cuenca	Tiempos de Retorno		
	2 años	25 años	100 años
La Merced	1.59	5.63	8.34
La Rusia	0.34	1.24	1.82

- Modelamiento hidráulico

El tránsito hidráulico propuesto por FLO-2D se basa en una ecuación cuadrática de pendiente de fricción. La velocidad estimada representa la velocidad de flujo calculada en cada límite de elemento de la zona de circulación de flujo, el n de Manning para el flujo en superficie adoptado estuvo entre un rango de 0.05 y 0.36,





este se obtuvo a través del mapa de coberturas, el cual, fue creado a partir de las coberturas de la Tabla 43, en este orden de ideas, la esquematización del cómputo del coeficiente de Manning para cada celda realizado en el software FLO-2D se puede observar en la Figura 102. Por otra parte, el  $n$  de Manning asignado para el cauce se tuvo en cuenta la clasificación de (Chaudhry, 2008), para este caso se asignó un valor de 0.024-0.032.

– **Quebrada La Merced.**

Los resultados de la profundidad de flujo con respecto a la modelación planteada se presentan en la Figura 103, Figura 104 y Figura 105.

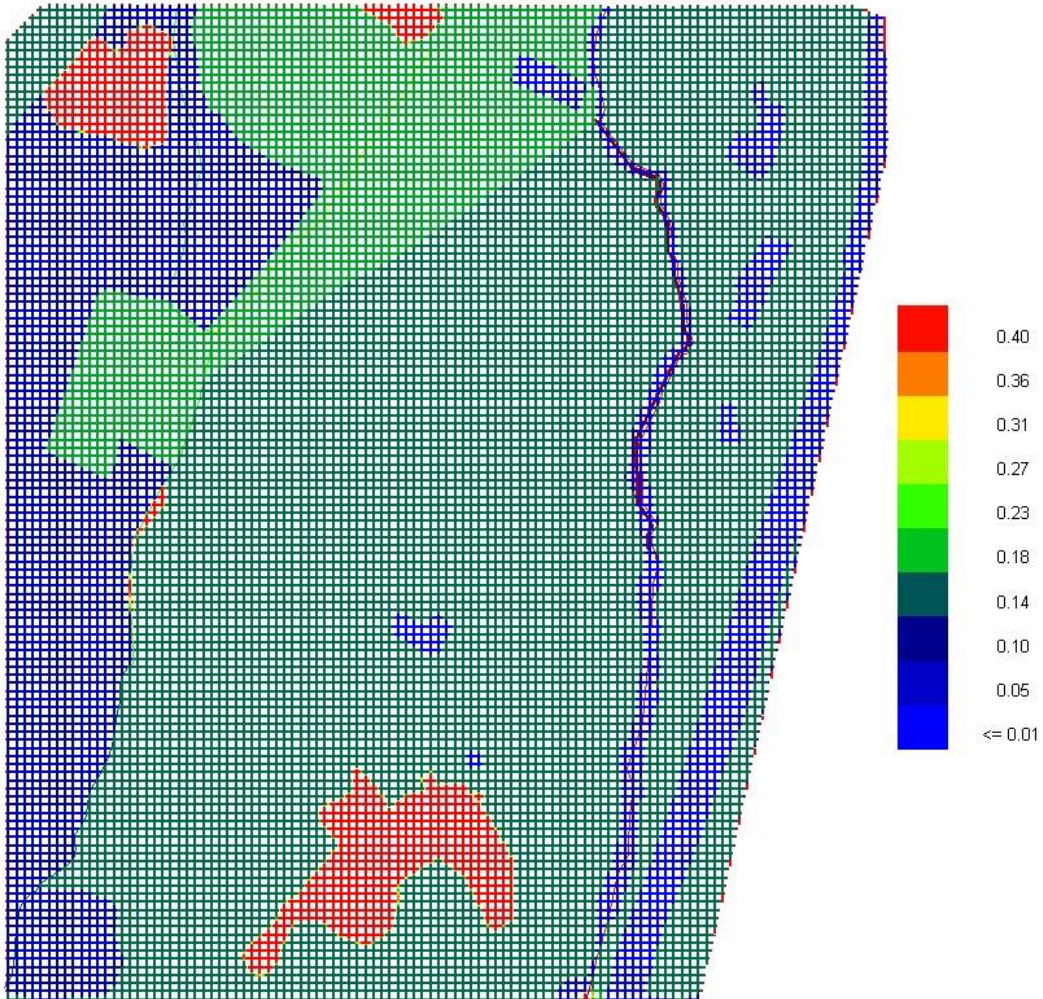


Figura 102. Coeficiente de Manning procesado en GDS, FLO-2D

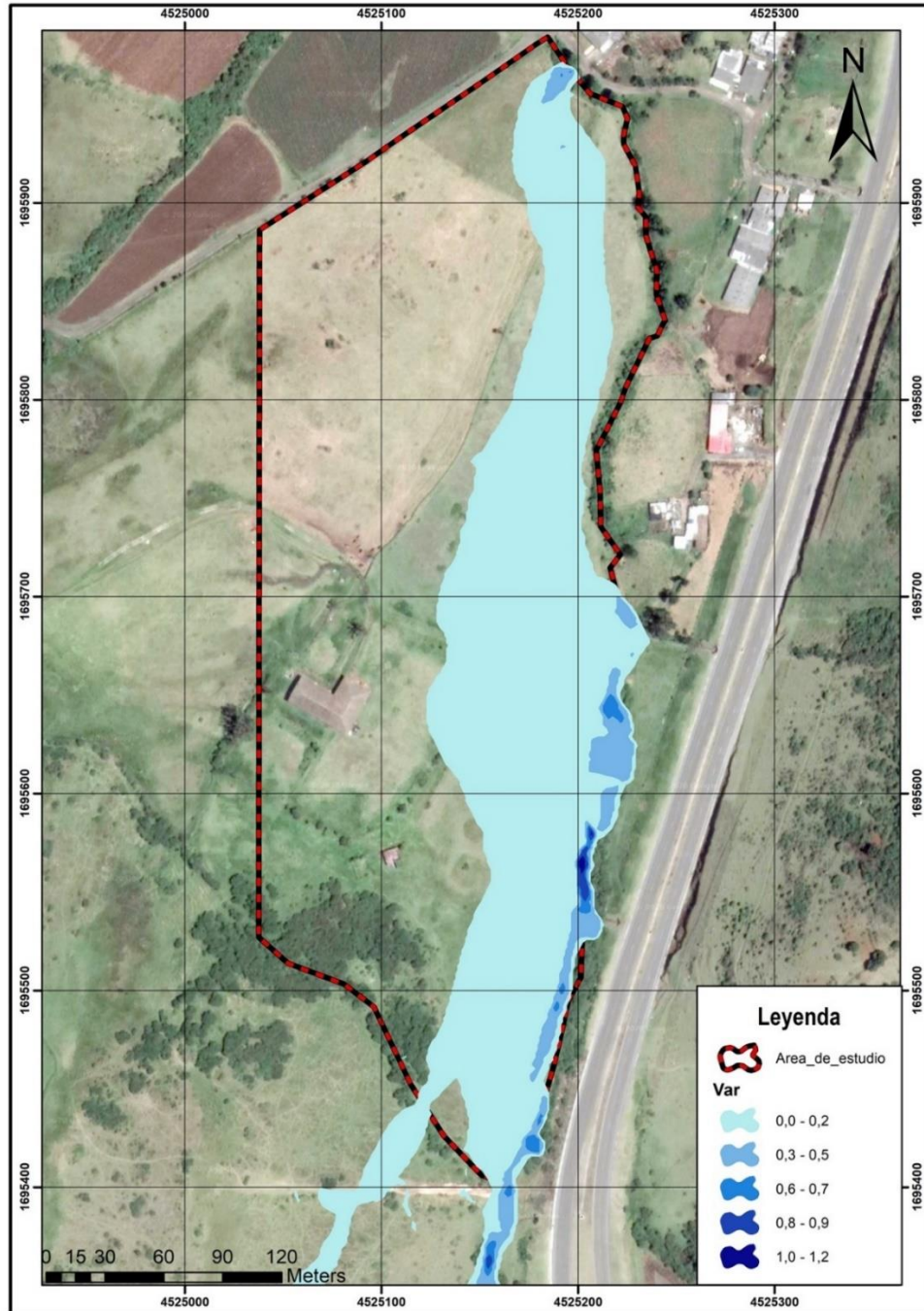


Figura 103. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de inundación TR 2 años

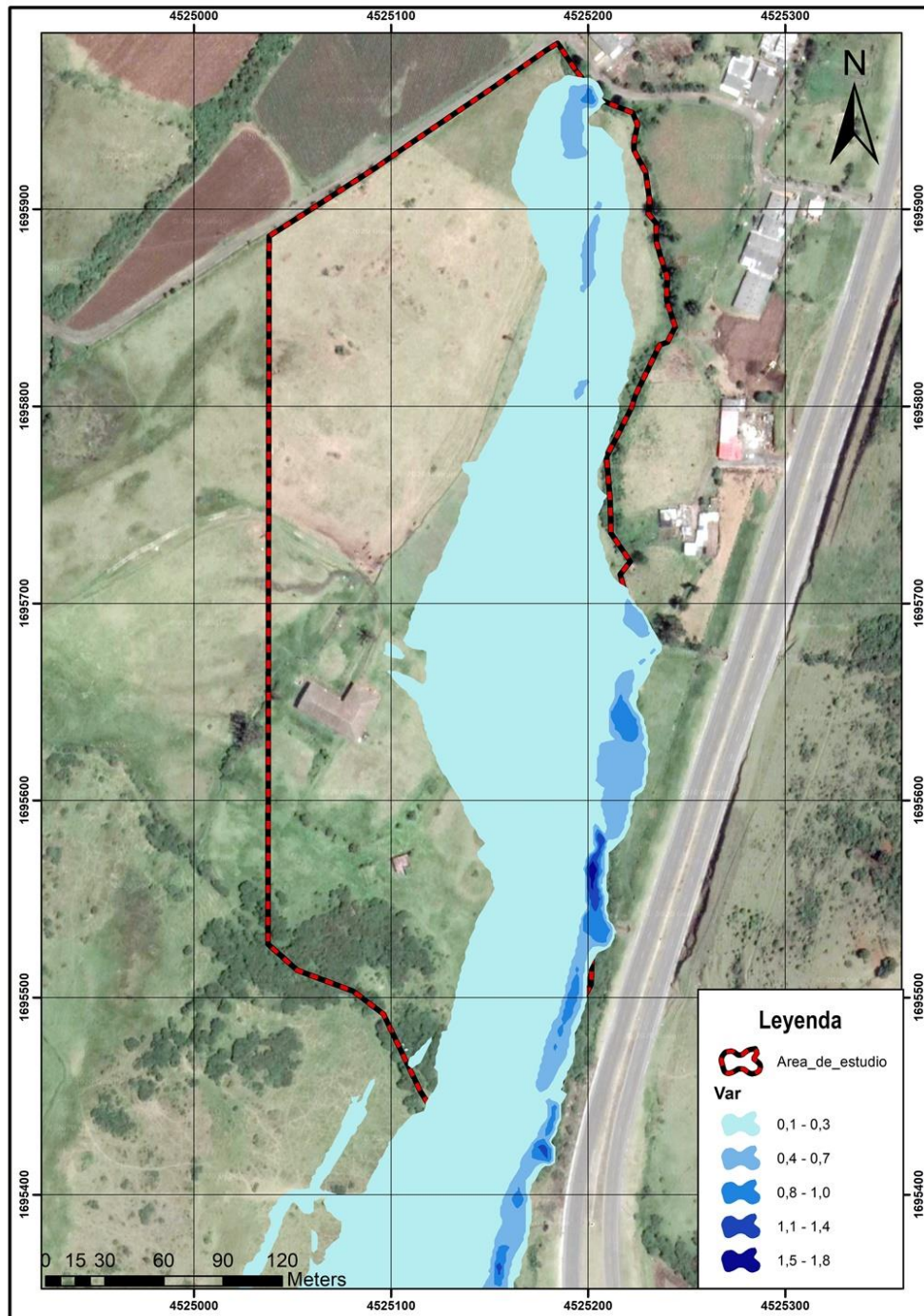


Figura 104. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de inundación TR 25 años

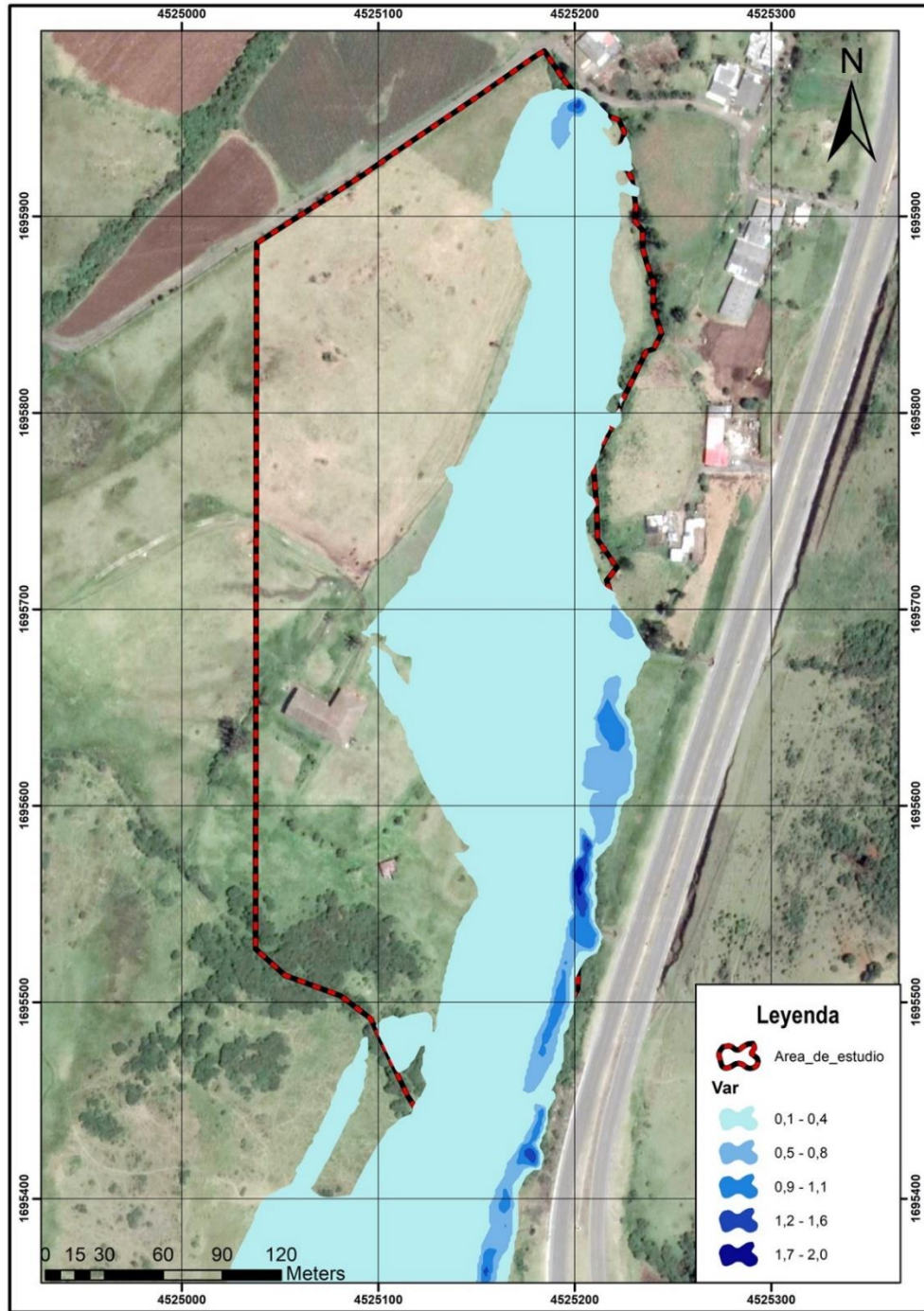


Figura 105. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de inundación TR 100 años.



Así mismo, a continuación, en la Figura 106, Figura 107 y Figura 108, se pueden observar los resultados de velocidad para los diferentes tiempos de retorno.

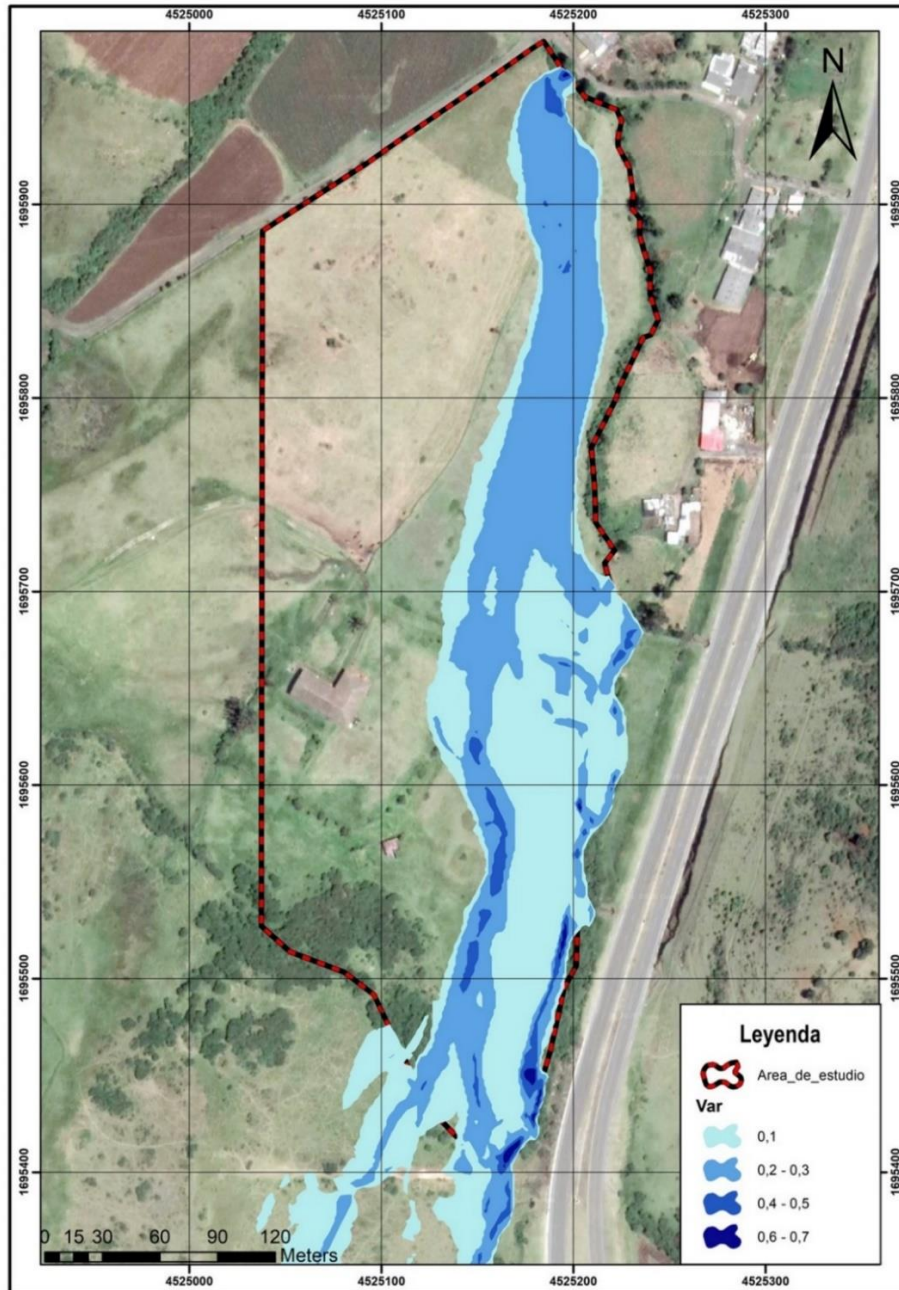


Figura 106. Escenario por velocidad de flujo ante un evento inundación TR 2 años

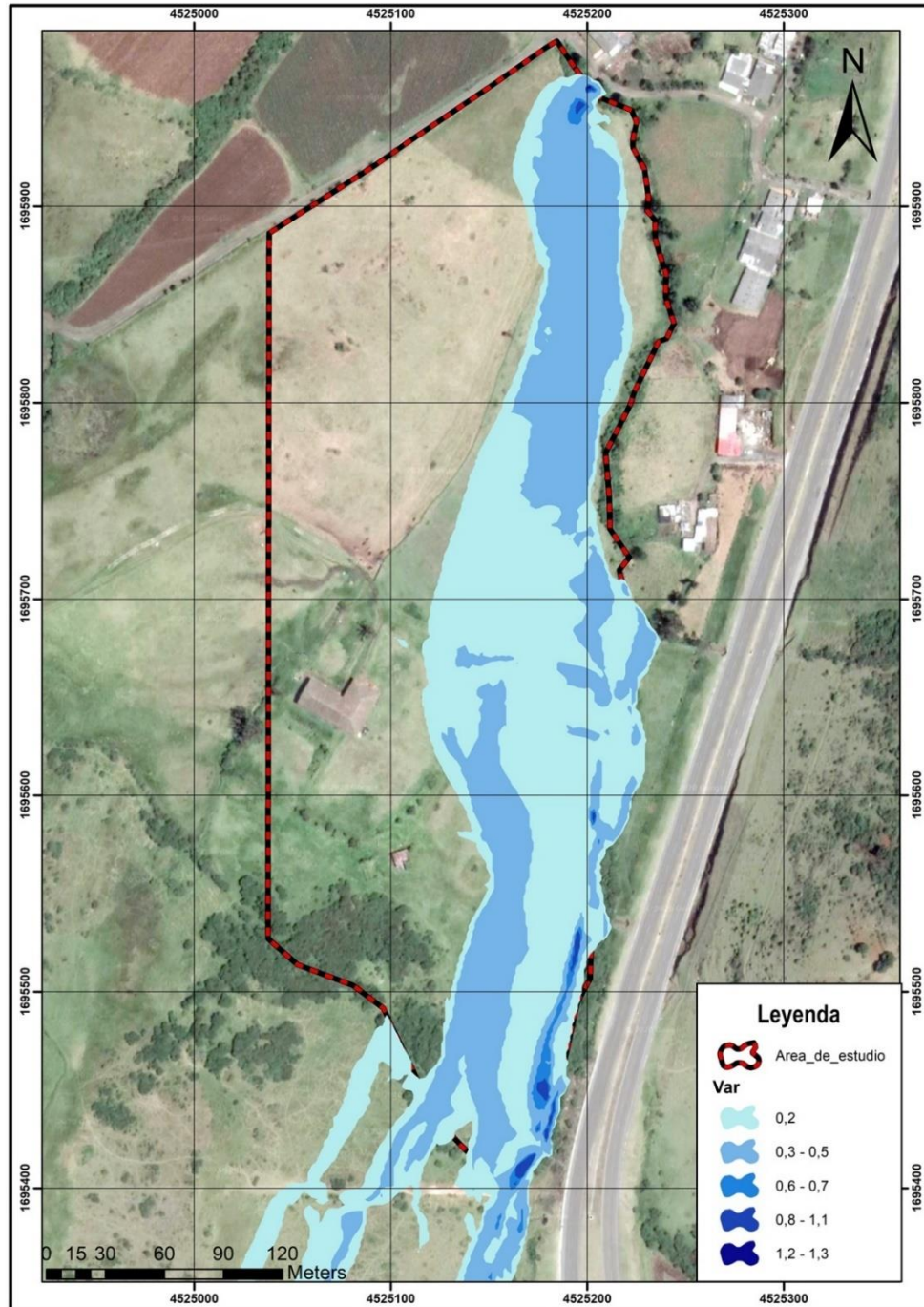


Figura 107. Escenario por velocidad de flujo ante un evento inundación TR 25 años

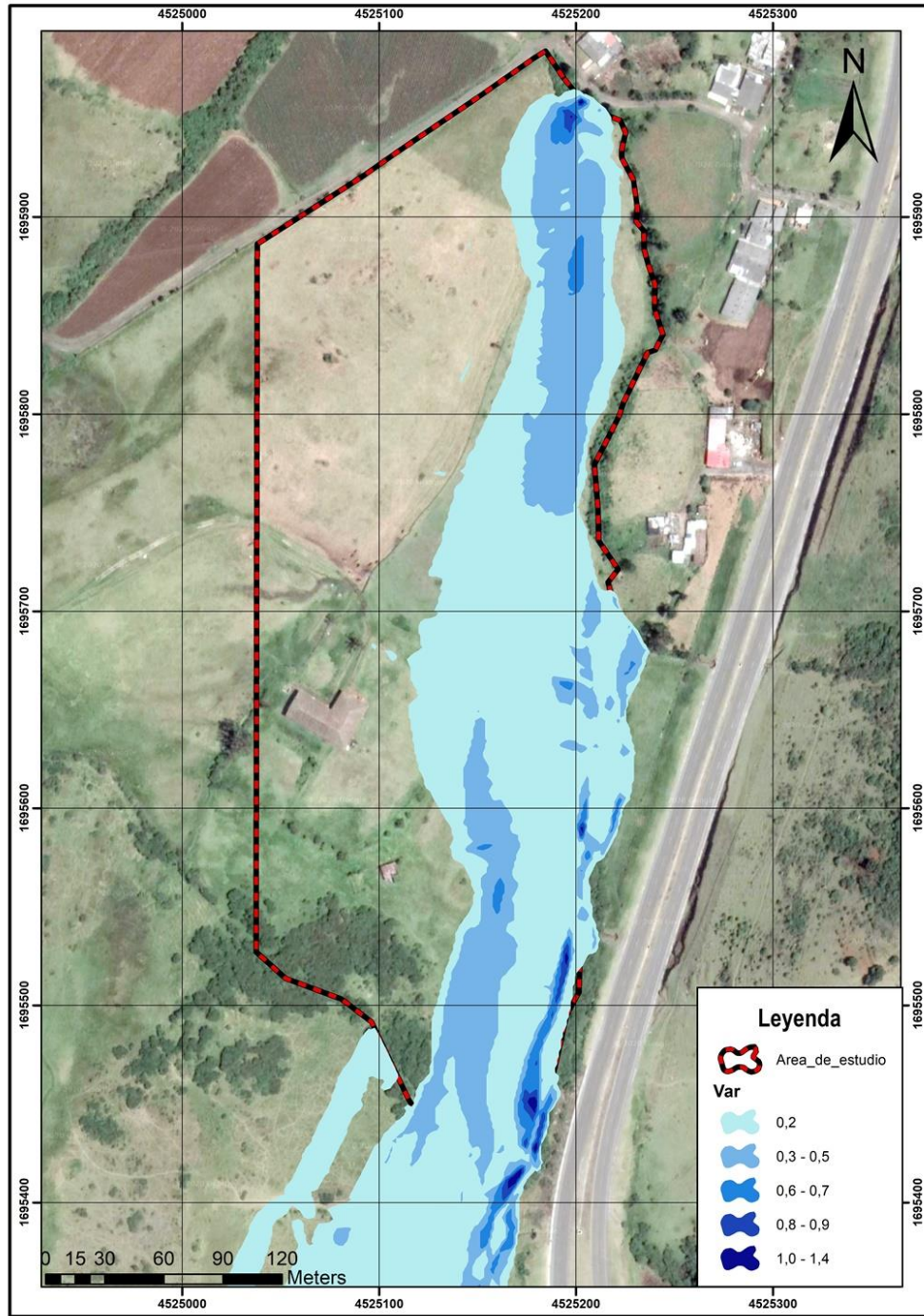


Figura 108. Escenario por velocidad de flujo ante un evento inundación TR 100 años





- **Quebrada La Rusia**

Los resultados de la profundidad de flujo con respecto a la modelación planteada se presentan en la Figura 109, Figura 110 y Figura 111.

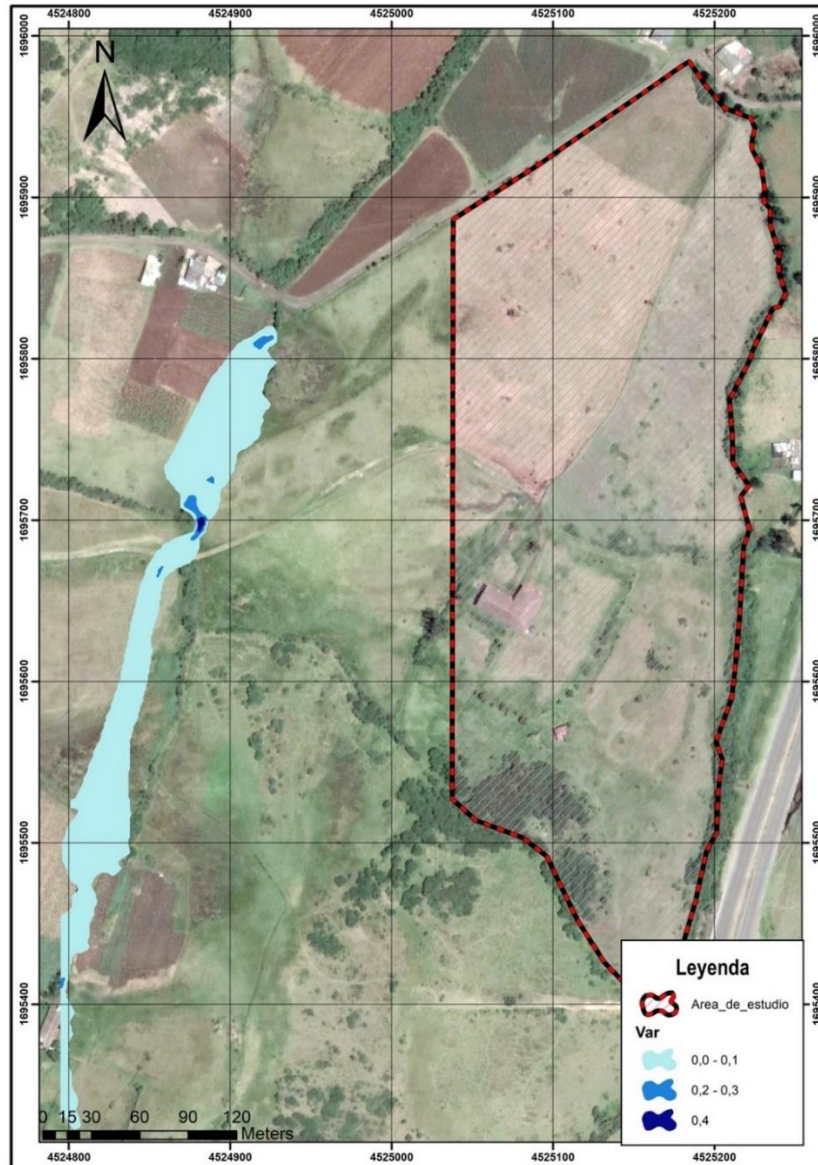


Figura 109. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de inundación TR 2 años.

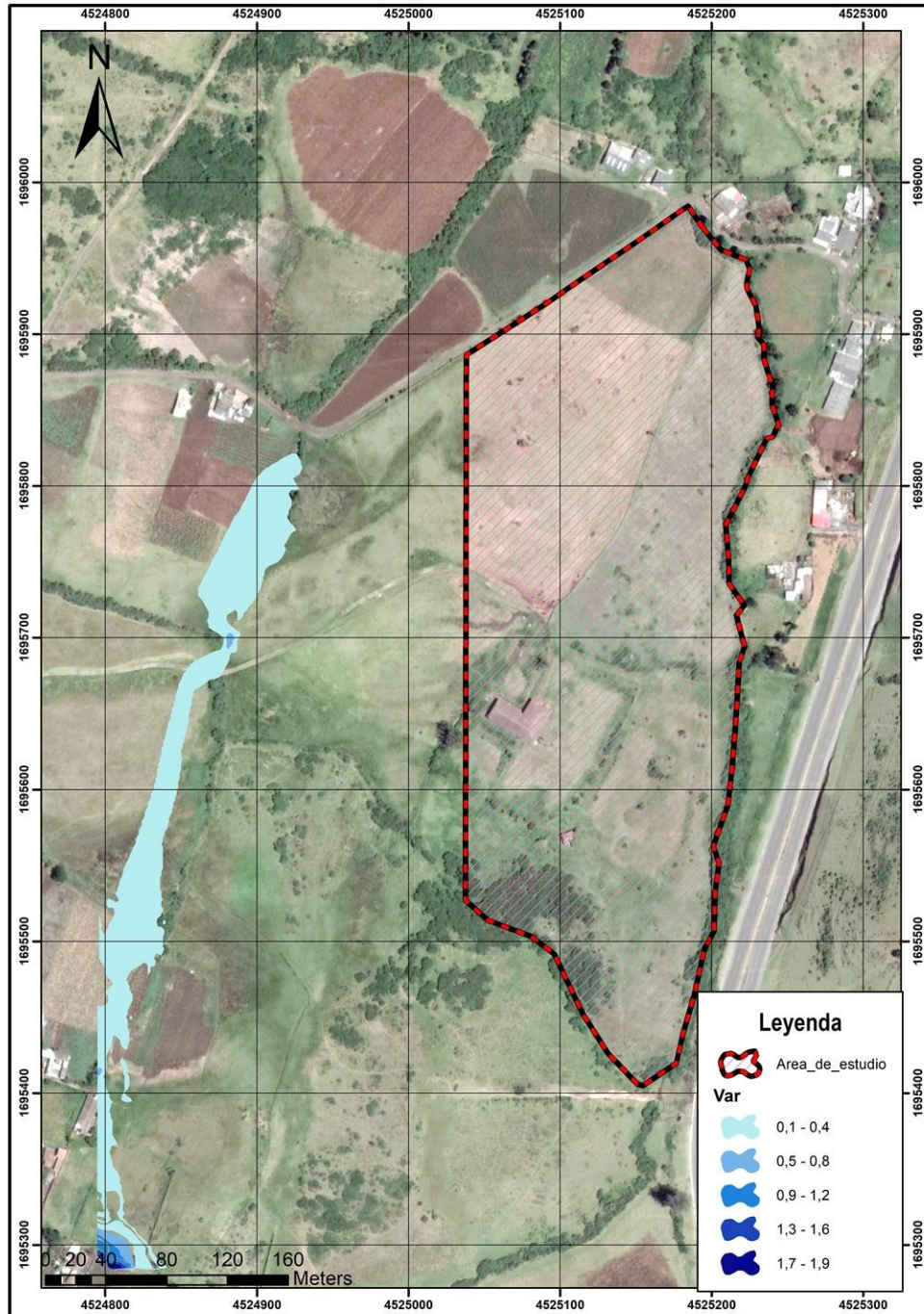


Figura 110. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de inundación TR 25 años

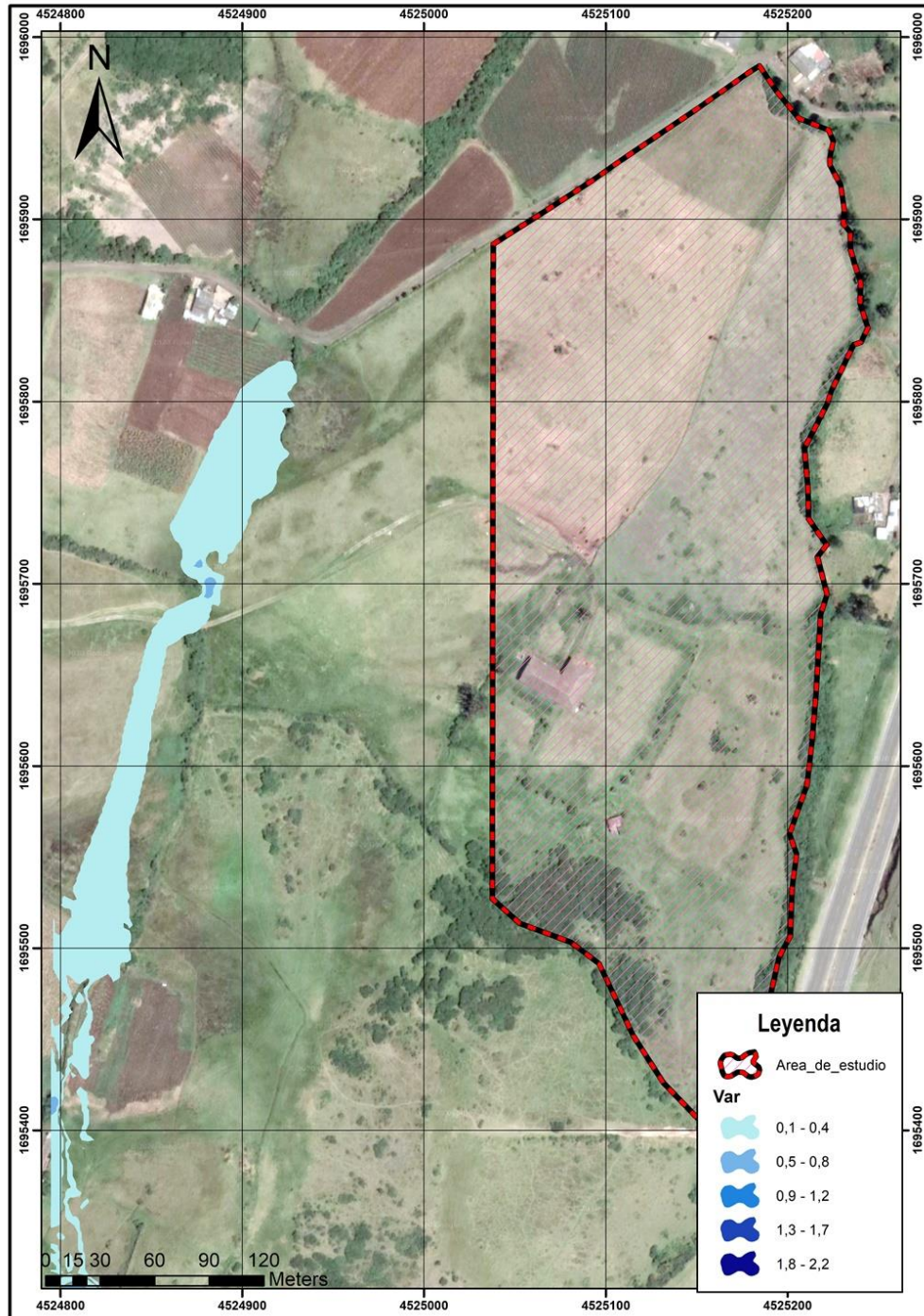


Figura 111. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de inundación TR  
100 años



Así mismo, a continuación, en la Figura 85, Figura 113 y Figura 114, se pueden observar los resultados de velocidad para los diferentes tiempos de retorno.

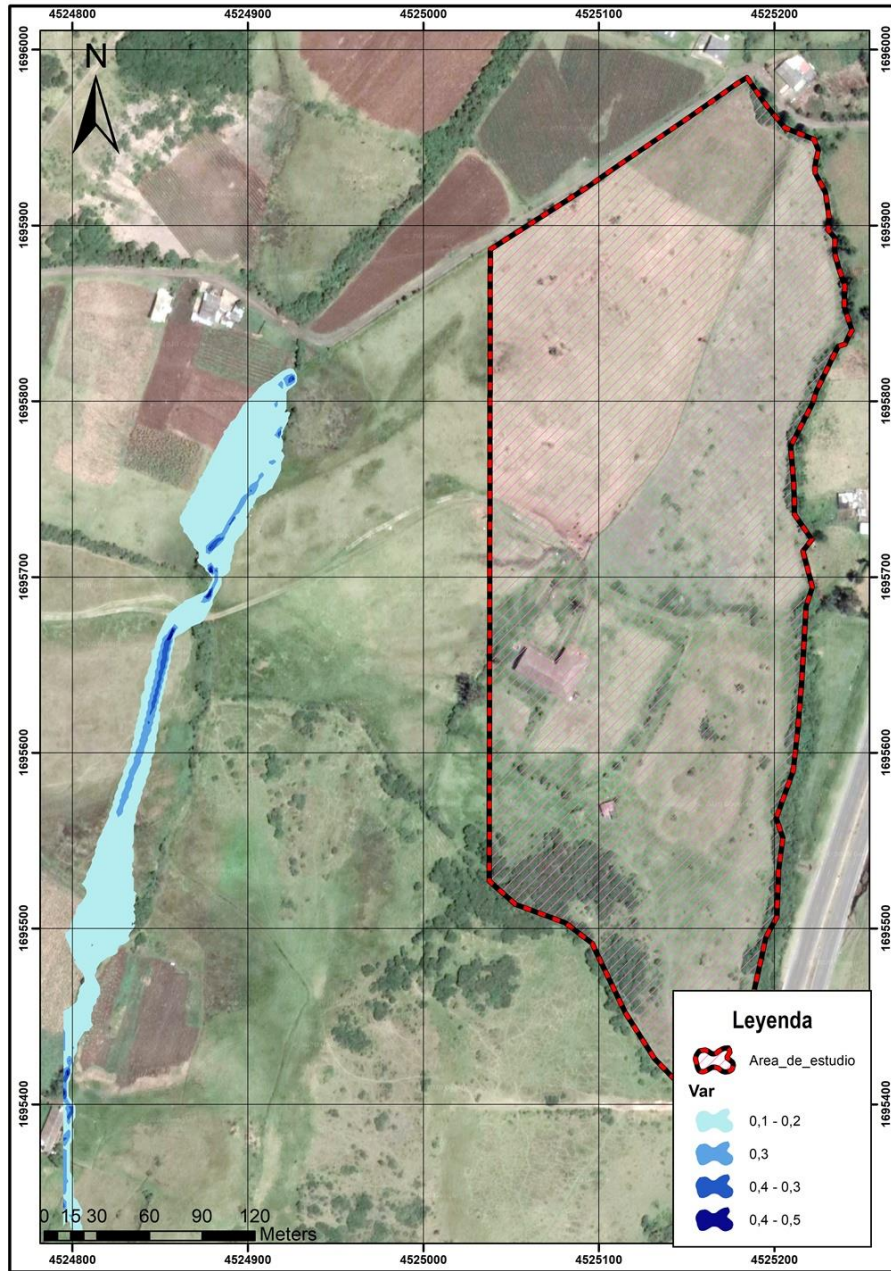


Figura 112. Escenario por velocidad de flujo ante un evento inundación TR 2 años

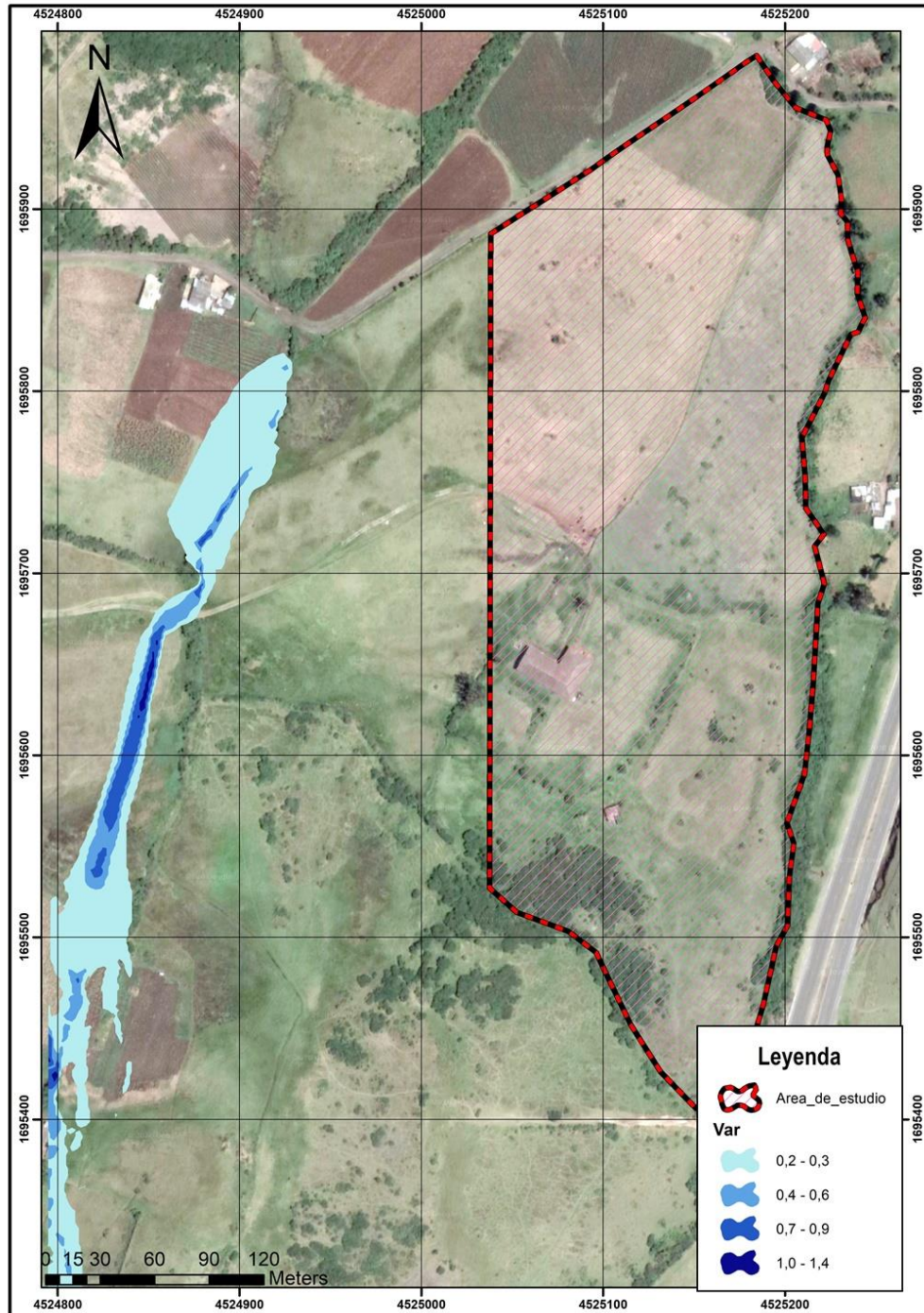


Figura 113. Escenario por velocidad de flujo ante un evento inundación TR 25 años

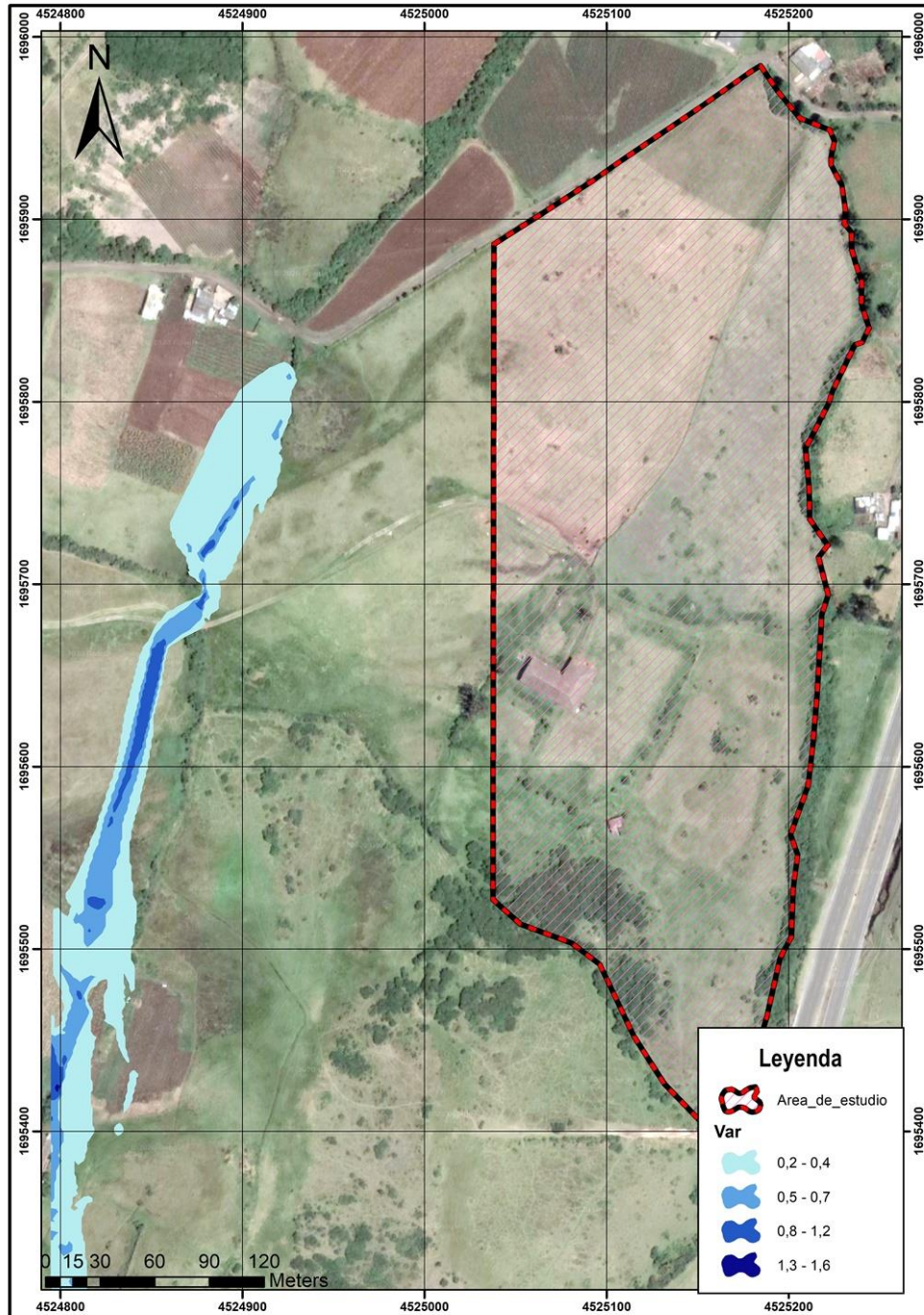


Figura 114. Escenario por velocidad de flujo ante un evento inundación TR 100 años



- Amenaza Por Inundación

La categorización de la amenaza por inundación se presenta en la Figura 115 y Figura 116 para las quebradas La Merced y La Rusia, respectivamente. Estas se elaboraron como se mencionó anteriormente con base en la metodología de (García et al, 2003, 2005) y (Ministerio de Medio Ambiente, 2014), que determinan tres zonas de amenaza, alta (rojo), media (naranja) y baja (amarillo).

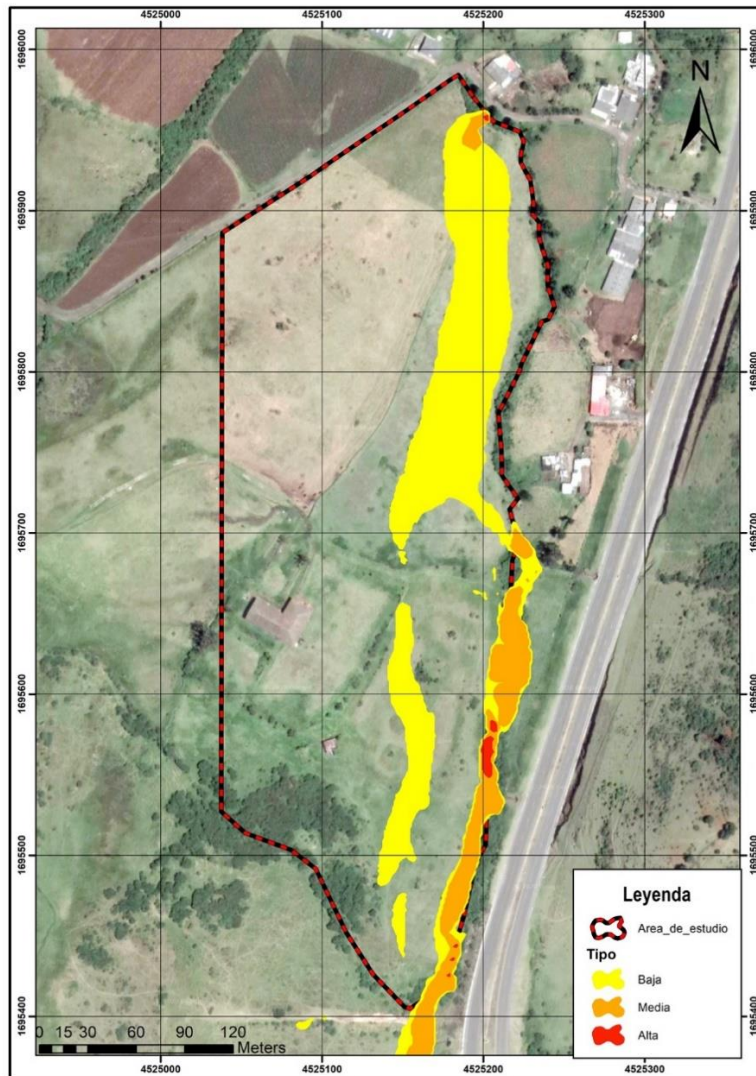


Figura 115. Categorización Amenaza por Inundación Quebrada La Merced

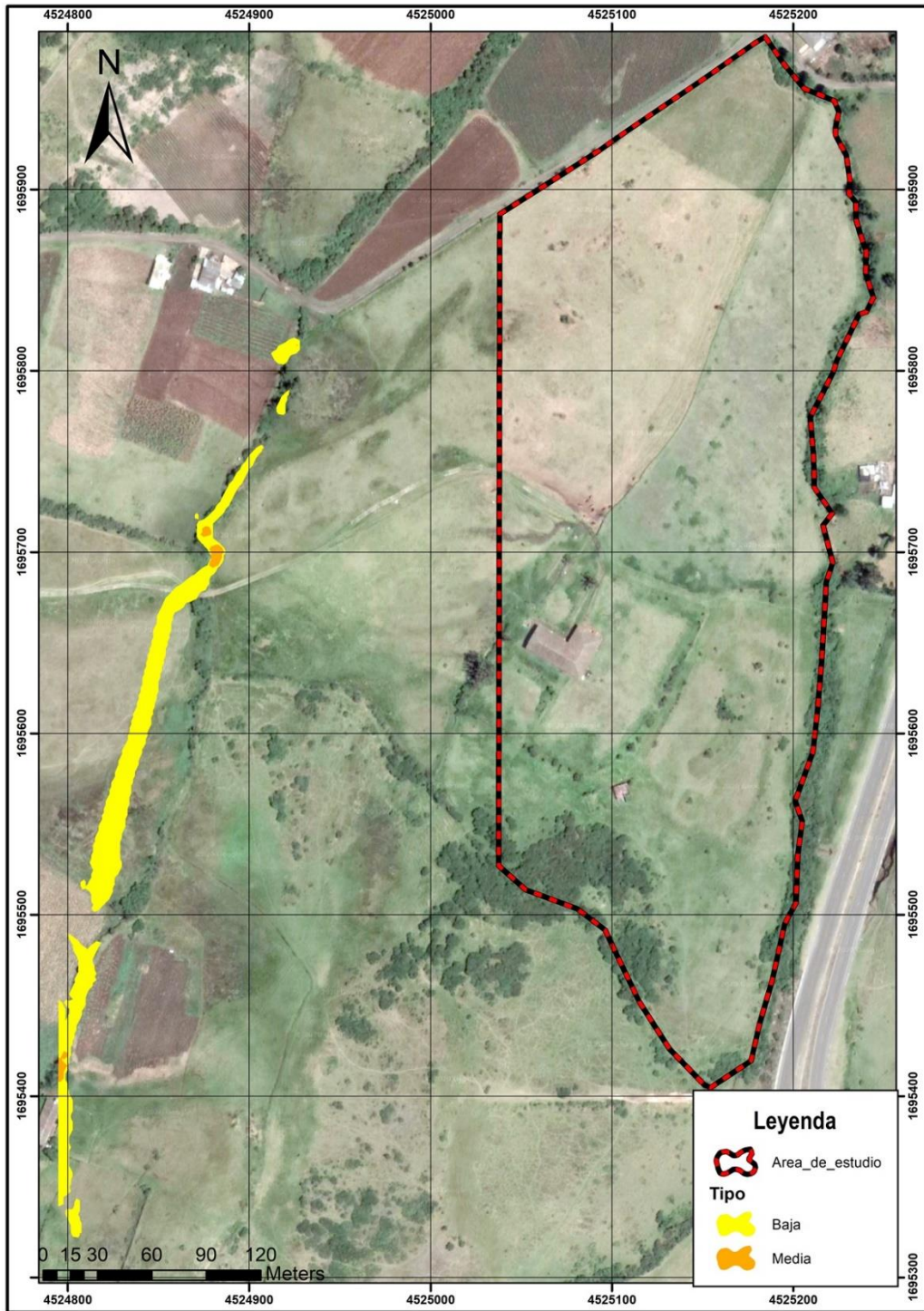


Figura 116. Categorización Amenaza por Inundación Quebrada La Rusia





#### 4.1.5. Amenaza por flujos torrenciales

##### 4.1.5.1. Metodología

Metodológicamente la amenaza ante flujo torrencial iniciará con el análisis de susceptibilidad basada en índices morfométricos e hidrológicos para posteriormente, si estos mostraran susceptibilidad ante el fenómeno, proceder con el modelamiento hidráulico para definir su categorización.

##### 4.1.5.2. Susceptibilidad por flujos torrenciales

En el marco del componente de identificación de amenazas se inició con el análisis de susceptibilidad ante el fenómeno, para ello se realizó un análisis integral a partir de los indicadores morfométricos e hidrológicos: índice de retención y regulación hídrica (IRH), índice de variabilidad (IV), índice morfométrico de torrencialidad (IMT) e índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET) que permitirán planificar, gestionar, y realizar las acciones necesarias para la adecuada consolidación del suelo urbano en el predio correspondiente a la policía metropolitana.

##### 4.1.5.3. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).

Este índice no solo evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo-vegetación con las condiciones climáticas y con las características físicas y morfométricas, sino que también, mide la capacidad de retención de humedad con base en la distribución de series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios, permitiendo evaluar la capacidad de regulación del sistema en su conjunto. Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, siendo los valores más bajos los que se interpretan como de menor regulación, ver Tabla 75 (IDEAM, 2013).

$$IRH = \frac{V_p}{V_t}$$



Donde:

Vp: Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio en la curva de duración de caudales diarios.

Vt: Volumen total representado por el área bajo la a curva de duración de caudales diarios.

Tabla 75. Categorías, índice de retención y regulación hídrica, (IDEAM, 2013)

Rango de valores IRH	Categoría	CARACTERÍSTICAS
> 0.85	Muy alto	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy alta
0.75 -0.85	Alto	Capacidad de la cuenca para retener y regular alta
0.65 – 0.75	Medio	Capacidad de la cuenca para retener y regular media
0.50 – 0.65	Bajo	Capacidad de la cuenca para retener y regular baja
< 0.50	Muy bajo	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy baja

#### 4.1.5.4. Índice de Variabilidad (IV)

Muestra el comportamiento de los caudales en una determinada cuenca definiendo una cuenca torrencial como aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, donde existen diferencias grandes entre los caudales mínimos que se presentan, y los valores máximos, ver Tabla 76. El índice de variabilidad se define a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Variabilidad} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } Q_i - \text{Log } Q_{\text{prom}})^2}{n - 1}}$$

Donde:

Qi: Caudales tomados de la curva de duración de caudales.

Qprom: Caudal promedio.



n = número de datos tratados.

Tabla 76. Categorías del Índice de Variabilidad, (IDEAM, 2013)

Índice de variabilidad	Vulnerabilidad
< 10°	Muy baja
10.1° - 37°	Baja
37.1° - 47°	Media
47.1° - 55	Alta
>55°	Muy alta

#### 4.1.5.5. Índice Morfométrico de Torrencialidad (IMT)

Este índice integra el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje (parámetros morfométricos), ver

Tabla 78. Clasificación Índice Morfométrico de Torrencialidad, (IDEAM, 2013)

, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, así como la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación, con el fin de poder inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad de dicha cuenca a eventos torrenciales, ver Tabla 78. Según (León, y otros, 2009) citado por (Huertas, 2016, pág. 28).

Tabla 77. Relaciones para categorizar el índice morfométrico (IDEAM, 2013).



Índice morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (km <sup>2</sup> )	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	2,51 – 3,00	> 3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376 -1,500	1,251- 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga	Casi redonda a oval-redonda		



Tabla 78. Clasificación Índice Morfométrico de Torrencialidad, (IDEAM, 2013)

		Pendiente media de la cuenca					
		1	2	3	4	5	
Densidad de Drenaje	1	111	121	131	141	151	1
		112	122	132	142	152	2
		113	123	133	143	153	3
		114	124	134	144	154	4
		115	125	135	145	155	5
	2	211	221	231	241	251	1
		212	222	232	242	252	2
		213	223	233	243	253	3
		214	224	234	244	254	4
		215	225	235	245	255	5
	3	311	321	331	341	351	1
		312	322	332	342	352	2
		313	323	333	343	353	3
		314	324	334	344	354	4
		315	325	335	345	355	5
	4	411	421	431	441	451	1
		412	422	432	442	452	2
		413	423	433	443	453	3
		414	424	434	444	454	4
		415	425	435	445	455	5
	5	511	521	531	541	551	1
		512	522	532	542	552	2
		513	523	533	543	553	3
		514	524	534	544	554	4
		515	525	535	545	555	5

Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja
5	4	3	2	1



#### 4.1.5.6. Índice De Vulnerabilidad A Eventos Torrenciales (IVET)

Hace referencia a la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca, ver Tabla 79, (IDEAM, 2013).

Tabla 79. Categorías Índice Morfométrico de Torrencialidad. (IDEAM, 2013)

Índice de variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Se expresa en relación con los índices morfométrico y de variabilidad para estimar una sola vulnerabilidad frente a eventos torrenciales, teniendo en cuenta los rangos y las clasificaciones de cada uno de ellos.

#### 4.1.5.7. Insumos para el análisis

- Serie de caudales medios mensuales de la estación Centenario, operada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (1988-2018).
- Morfometría de la cuenca. Para la estimación de los diferentes índices propuestos para la determinación de la torrencialidad en la cuenca se determinarán los siguientes parámetros morfométricos en la cuenca:
  - Área. Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la



superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro se expresa en km<sup>2</sup> (Zafra, 2013).

- Coeficiente de Compacidad (Kc). *También conocido como el índice de Gravelius, se define como la relación existente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo con igual área al de la cuenca, por lo tanto valores cercanos a uno (1) se asimilan a cuencas circulares con cauces torrenciales, fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento y tiempos de concentración cortos, ver Tabla 80. El Coeficiente de Compacidad se define a través de la siguiente ecuación:*

$$I_g = \frac{\text{Perímetro de la cuenca}}{2 (\pi \text{ Área})^{0,5}}$$

Tabla 80. Características de la cuenca según su coeficiente de compacidad, (IDEAM, 2013)

Valores de Kc	Características de la cuenca
1 – 1,25	Redonda a oval redonda
1,25 – 1,5	De oval redonda a oval oblonga
1,5 – 1,75	De oval oblonga a rectangular oblonga

- Pendiente de la cuenca (S). Definida como el promedio ponderado de las pendientes que se encuentran en el interior de los límites de una cuenca hidrográfica. Se relaciona directamente con la capacidad de transporte y depositación de sedimentos, crecimiento de los picos de las avenidas torrenciales, aumento de



la velocidad de escurrimiento superficial y capacidad de erosionabilidad.

- Densidad de drenaje. Definida como la relación existente entre la longitud total del drenaje presente en una cuenca y su área, expresada mediante la siguiente ecuación, según (Niño, 1997) citado por (Huertas, 2016, pág. 39):

La densidad de drenaje está relacionada con la cantidad de precipitación y la topografía de la cuenca, ver Tabla 81.

Tabla 81. Categorización de la cuenca según su densidad de drenaje. (IDEAM, 2013)

Rango densidad de drenaje	Categoría de la cuenca
<0,5	Drenaje pobre
0,5 – 3,5	Drenaje medio
> 3.5	Muy bien drenadas

Todos los valores correspondientes a la Morfometría de las cuencas se calcularon a través de las herramientas cartográficas de ArcToolbox del software ArcGis versión 10.2.

#### 4.1.5.8. Definición de la amenaza por flujos torrenciales

Avenidas Torrenciales. En ocasiones denominadas crecientes, flujo de lodos, crecidas, o torrentes, son una amenaza en cuencas de alta montaña, debido a sus características puede causar grandes daños en infraestructura y pérdida de vidas humanas.





Estos fenómenos se originan comúnmente en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas presentan fuertes desniveles y que por efecto de fenómenos hidrometeorológicos intensos desencadenan el fenómeno.

Esto genera la saturación de los materiales de las laderas facilitando el desprendimiento del suelo, produciéndose de esta manera numerosos desgarres superficiales y deslizamientos cuyo material cae al cauce y es transportado inmediatamente aguas abajo o queda inicialmente represado y luego, una vez que se rompe el represamiento, es transportado violentamente de forma repentina (Urrea & Vásquez, 1996), (Rendón, 1997); (OSSO – La Red, 2003); (Castro, 2007).

En otros casos puede que no halla desgarres en las vertientes originados por la lluvia, simplemente el material que ya se encontraba en el cauce con mucha anterioridad es arrastrado aguas abajo por la creciente.

Aunque la duración de estos eventos varía entre pocos minutos a varios días, su rápida manifestación y altas velocidades le confieren una alta peligrosidad debido a que no dan tiempo de reacción a las personas que se encuentran en el área de influencia del evento, generando así situaciones desastrosas con pérdidas de vidas humanas y destrucción de viviendas, estructuras, cultivos, carreteras, etc. (Vásquez, 1993); (Urrea & Vásquez, 1996); (Flórez & Suavita, 1997); (Smith & Ward, 1998); (Castro, 2007).

Hidráulicamente un flujo torrencial se caracteriza por contener un alto porcentaje de material sólido (que incrementa considerablemente la viscosidad y densidad del flujo, disminuyendo su velocidad), recorre cauces de altas rugosidades y altas pendientes.

Cuando se presentan avenidas torrenciales las corrientes aumentan la capacidad para transportar sedimentos gruesos, donde además se pueden incorporan restos



vegetales y lodo con una zona de influencia amplia de gran potencial destructivo un área afectada que se ubica paralelamente al flujo principal y otra que corresponde a la zona donde grandes depósitos de flujos de escombros se acumulan.

Es necesario recalcar que las avenidas torrenciales destructoras se presentan cuando se da, al menos, la confluencia de los siguientes cuatro factores (Caballero, 2011).

- Cuencas con gradientes altos y áreas medias, lo que implica rápidos tiempos de concentración y altas velocidades de las corrientes.
- Precipitaciones de gran intensidad, concentradas sobre la cuenca o parte importante de ésta.
- Disponibilidad de material fino granular tipo limos y arcillas que puedan ser puestos en movimiento por la creciente. Las fuentes de estos materiales pueden ser movimientos en masa o focos de erosión existentes, grupos de movimientos en masa generados durante el mismo evento climático, material depositado en las vertientes por procesos constructivos, cortes, explanaciones, llenos y escombreras entre otros.
- Cambios bruscos en el gradiente de la quebrada, lo que facilita la acumulación de los sedimentos transportados desde la cuenca alta o media. En algunos casos, puede darse acumulación de sedimentos por el ensanchamiento abrupto del cauce mayor, lo que generalmente ocurre unido al cambio de gradiente al que ya se hizo referencia.

#### 4.1.5.9. Estimación de volúmenes Líquidos

En la Figura 117 se presenta de manera esquemática un breve resumen de la modelación hidrológica realizada por este estudio. Para información más detallada, se recomienda dirigirse al inciso de amenazas por inundaciones.

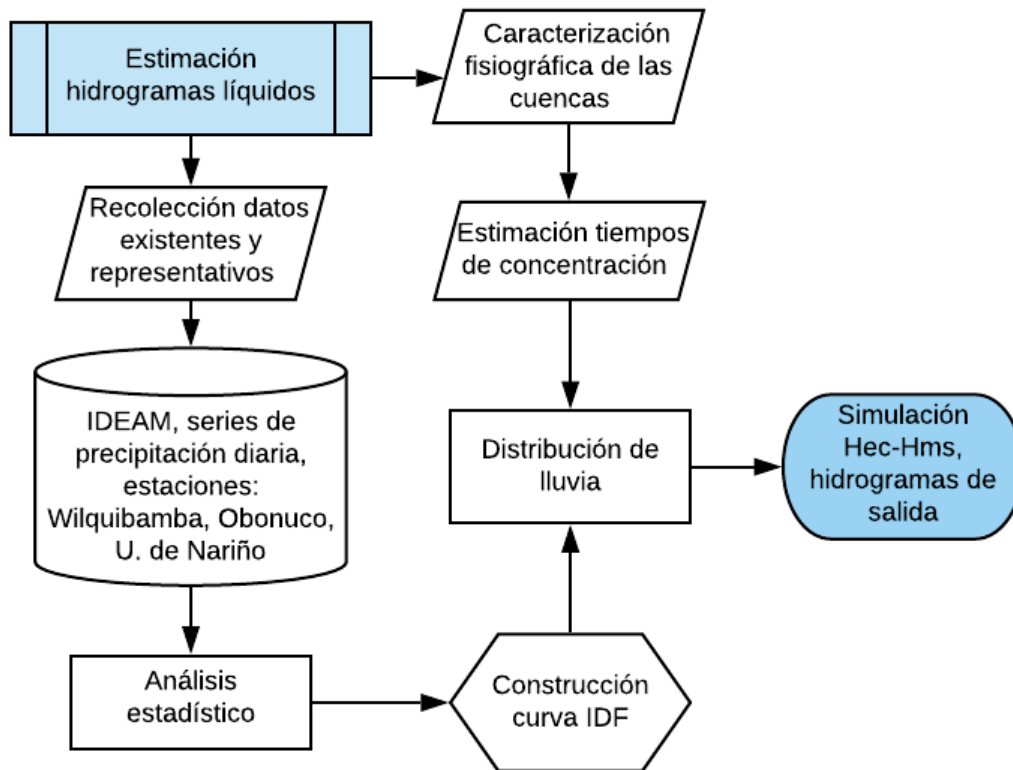


Figura 117. Esquema obtención de hidrogramas líquidos

#### 4.1.5.10. Estimación de volúmenes sólidos

Una vez, estimados los caudales líquidos, se procedió a estimar el aporte máximo de sedimentos en las cuencas en estudio. Para el desarrollo, se realizó la identificación de áreas en las que se puede presentar deslizamientos, por medio de interpretación de imágenes satelitales y posterior verificación en campo, donde se pudo delimitar mediante polígonos cuatro áreas utilizando herramientas de ArcGis. En la Figura 118, se puede observar de manera esquemática las áreas identificadas,



de las cuales tres se encuentran en la cuenca La Merced y un área en la cuenca La Rusia.

Para estimar la cantidad de material que se podría desplazar y aportar cierta cantidad de volumen sólido a la Quebrada la Merced y Quebrada La Rusia, se realizó un análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales del año 2005 Google y 2020 Sentinel, este tipo de análisis consiste en realizar una validación y estimación de los cambios que se puedan presentar en el terreno, como son los cambios en la cobertura vegetal, dinámica fluvial o, para evaluar el porcentaje de área afectado por un proceso de remoción en masa.

Utilizando herramientas de ArcGis, se realizó una clasificación no supervisada de coberturas de cada imagen, obteniendo cuatro tipos de cobertura para la Imagen del año 2005 y tres para la imagen del año 2020 en formato RASTER. Como se desea conocer el posible volumen de las cuatro áreas identificadas donde se pueden presentar deslizamientos, se hizo un recorte para cada RASTER con la delimitación de las áreas, posteriormente se creó un TIN para cada año y se empleó la herramienta “diferencia de superficies” que calcula la diferencia volumétrica entre dos modelos de superficie almacenados como redes irregulares de triángulos (TIN), definiendo tres categorías por defecto encima, igual y abajo, lo que permite determinar las áreas donde se ha presentado pérdida de cobertura o ha habido cambios de superficie (ESRI, 2016).

Finalmente, para cada área identificada se realizó un análisis de estabilidad de taludes, con el fin de determinar qué áreas son más susceptibles a la ocurrencia de movimientos del terreno y pueden aportar material sólido a los cauces de las quebradas la Merced y La Rusia.

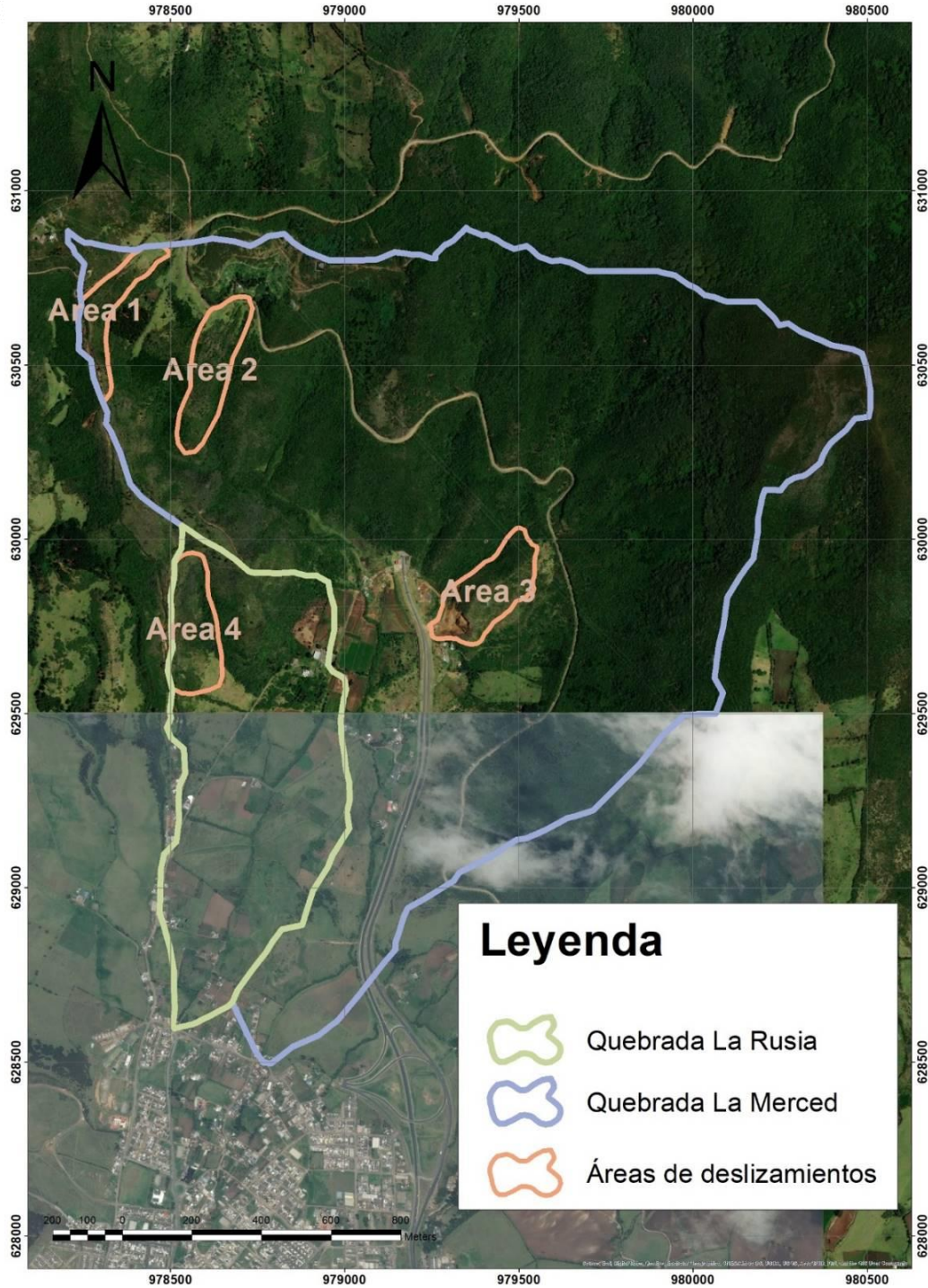


Figura 118. Áreas de deslizamientos



#### 4.1.5.11. Clasificación de flujo

Según (Niño, 2015), existen distintas relaciones importantes que ayudan a definir la naturaleza de un flujo con la concentración por peso, la densidad del sedimento, densidad de la mezcla de sedimentos y los factores de engrosamiento. Cuando se examinan parámetros de flujos hiperconcentrados, especialmente de flujos de lodos, es importante determinar la concentración de sedimentos en términos de volumen o en peso hiperconcentrado, éstas relacionan la concentración volumétrica de sedimentos. Para este estudio, se utilizó la metodología de concentración volumétrica, recomendada en el manual de simulación de flujo de lodos y escombros del software FLO-2D, la cual, se describe por la siguiente ecuación:

$$Cv = \frac{\text{Volumen del sedimento}}{\text{Volumen de agua más volumen sedimento}}$$

Una vez obtenido el valor  $Cv$ , este es contrastado con la literatura para saber el tipo de flujo torrencial que posiblemente se pueda generar en la cuenca. Posteriormente se verificará si el tipo de sedimentos de la literatura corresponden al tipo de suelo encontrado en campo mediante estudios de suelo realizados por CIDETER en 2019.

Los estudios de suelo se desarrollaron con base en la clasificación granulométrica usando la metodología de campo propuesta por Wolman 1954, también conocida como métodos de los transectos, que se incluye dentro de las técnicas “cuenta-cantos”. El cual, genera un muestreo al azar, este consiste en caminar por el cauce, por una ruta determinada y a intervalos determinados se debe tomar la partícula del lecho que se encuentra debajo de la punta del zapato para finalmente medir el eje mayor del material granular.

El cálculo del diámetro de la partícula se realizó en muestras de 1 kg. Estas fueron sometidas a un proceso de separación por medio de tamices con diámetros que van desde 0.075mm hasta 76.2 mm. El material al pasar por los diferentes tamices



separa las muestras de acuerdo con el rango de diámetro del tamiz y permite determinar el porcentaje de cada tamaño respecto a la masa original, de esta manera se pueden definir los grupos dentro de la muestra según lo propuesto por los autores.

Por otra parte, se contempló el criterio de engrosamiento de O'Brien, el cual, se presenta la expresión matemática mostrada a continuación:

$$Q_t = BF * Q_w$$

$$BF = \frac{1}{1 - C_v}$$

Donde, el término BF corresponde al factor de engrosamiento del flujo y representa el valor por el cual debe afectarse el caudal de flujo líquido  $Q_w$  para finalmente determinar el caudal total  $Q_t$  de un flujo hiperconcentrado (Niño, 2015).

En este orden de ideas, se han plasmado diversas clasificación de flujos, según el manual de simulación de flujo de lodos del software (FLO-2D, 2014), el rango de concentraciones de sedimentos en inundaciones de lodo, varían entre el 20% al 40-45% en volumen. Las inundaciones de lodo pueden ser difíciles de distinguir de las inundaciones de agua, estas últimas, tienen un comportamiento de fluido muy similar como se observa en la Tabla 82 y Figura 119, mientras que, las propiedades fluidas de las inundaciones de lodo son definitivamente diferentes de inundaciones de agua, puesto que presentan mucha mayor viscosidad y densidad. La Tabla 82, enumera los cuatro diferentes categorías de flujos de sedimentos hiperconcentrados y presentan sus características de flujo.



Tabla 82. Tipo y características de los flujos de lodos

Tipo de Flujo	Concentración de Sedimento		Características del Flujo
	En Volumen	En peso	
Deslizamiento (landslide)	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No hay flujo; falla por deslizamiento de bloques
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Derrumbe de bloques con deformación interna durante el deslizamiento, movimiento paulatino del terreno antes de falla.
Flujo de lodo (Mudflow)	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente; deslizamiento lento sostenido del flujo de barro; deformación plástica bajo su propio peso; cohesivo; no se expande en la superficie.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	Flujo se extiende sobre la superficie; flujo cohesivo; algo de mezcla
Inundación de lodo (Mud Floods)	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra las propiedades fluidas en la deformación; distribuido en fluida inclinada; partículas grandes se depositan (peñones); aparecen ondas pero se disipan rápidamente
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Deposición marcada de gravas y cantos rodados; se expande casi completamente sobre la superficie horizontal: aparece la superficie líquida con dos fases de fluido; las olas viajan en la superficie
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Separación del agua en la superficie; las olas viajan fácilmente; la mayoría de las arenas y gravas se han sedimentado y se mueven como arrastre de fondo.
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Se distinguen claramente las olas y ondas; todas las partículas descansando en el fondo en condición fluida móvil
Inundación de agua (water floods)	< 0.20	< 0.41	Inundación de agua con carga suspendida convencional y arrastre de fondo.



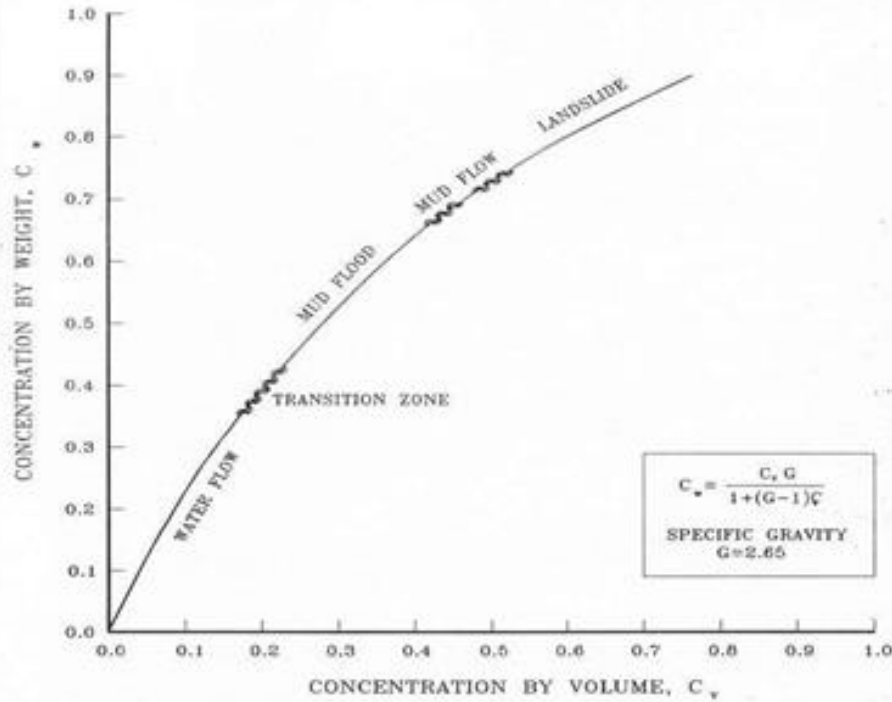


Figura 119. Clasificación flujos torrenciales

Cabe resaltar que la metodología presentada anteriormente fue desarrollada a partir de los datos de laboratorio utilizando depósitos de flujo de lodo reales de Glenwood Springs, Colorado. Algunas variaciones en la delineación de las diferentes categorías de eventos de flujo deben ser esperados sobre la base de la geología de la cuenca (FLO-2D, 2014).

#### 4.1.5.12. Modelo y simulación hidráulica

Para la simulación hidráulica se utiliza el software FLO-2D, el cual es un modelo bidimensional de diferencias finitas (O'Brien, Juli en , & Fullerton, 1993). El modelo permite simular flujos en topografías complejas (áreas urbanas, planicies de inundación, estructuras, diques, entre otras (Vergara, S. f). Las ecuaciones gobernantes de movimiento de flujo que usa el modelo se mencionaron detalladamente en el inciso de inundaciones.



La pendiente de fricción  $S_f$  se calcula utilizando tensiones de corte. En el modelado del flujo de lodo o escombros, hay cinco componentes en el esfuerzo cortante

$$\tau = \tau_c + \tau_{mc} + \tau_v + \tau_t + \tau_d$$

donde  $\tau_c$  corresponde a la tensión de fluencia cohesiva;  $\tau_{mc}$  es Mohr-Coulomb shear;  $\tau_v$  es la tensión de corte viscosa;  $\tau_t$  y  $\tau_d$  son tensiones de corte turbulentas y dispersivas respectivamente. La ley constitutiva para el esfuerzo cortante y la tasa de deformación utilizada es;

$$\tau = \tau_o + \eta \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right) + C \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2$$

donde  $\tau_o$  es el límite elástico y  $\tau_o = \tau_c + \tau_{mc}$ ;  $\eta$  es viscosidad dinámica (equilibrio); el coeficiente turbulento-dispersivo  $C$  es

$$C = \rho_m l^2 + \frac{\pi}{12} \left( \frac{6}{\pi} \right)^{1/3} \sin^2(\alpha_l) \rho_s (1 - e_n^2) C_v^{1/3}$$

donde  $\rho_s$  es la densidad de los escombros;  $\rho_m$  es la densidad de la mezcla;  $e_n$  es el coeficiente de restitución de energía;  $\alpha_l$  es el ángulo de impacto promedio del sólido. La ecuación de la ley constitutiva para el esfuerzo cortante y la tasa de deformación es similar al modelo propuesto por (Julien & Lan, 1991), pero el modelo de Julien y Lan da tensión cero si la tasa de tensión es menor que la tensión de fluencia, mientras que la ecuación de ley constitutiva no.

De la ecuación de ley constitutiva la pendiente de fricción puede ser obtenida de:



$$S_f = \underbrace{\frac{\tau_y}{\gamma_m H}}_{S_y} + \underbrace{\frac{K\eta u}{8\gamma_m H^2}}_{S_v} + \underbrace{\frac{n_{td}^2 u^2}{H^{4/3}}}_{S_{td}}$$

donde  $S_y$  y  $S_v$  son tensión de fluencia y la pendiente viscosa respectivamente, y  $S_y + S_v$  representa los efectos de tensión de fluencia y viscosidad;  $S_{td}$  es pendiente dispersiva turbulenta y representa los efectos de colisión entre sólidos;  $K$  es parámetro de resistencia;  $\tau_y$  es tensión de fluencia,  $\eta$  es la viscosidad dinámica y  $n_{td}$  es resistencia al flujo turbulento, y puede ser expresado como (Wu, Liu, & Chen, 2013).

$$\tau_y = \alpha_2 \exp(\beta_2 C_v),$$

$$\eta = \alpha_1 \exp(\beta_1 C_v),$$

$$n_{td} = n_t \exp(m C_v)$$

Por otro lado, según (Niño, 2015) la resistencia al flujo denominada  $K$ , dicha resistencia en un canal abierto es afectada por las propiedades inerciales del fluido en movimiento (como la densidad y la viscosidad), por la forma del canal de flujo, y por el rozamiento impuesto por la rugosidad del lecho. En cauces aluviales, la rugosidad del lecho puede ser subdividida entre rugosidad de las partículas (forma y tamaño del lecho tales como rizos, dunas y anti-dunas). Los valores de  $K$ , se tomaron de la tabla 2 del manual del (FLO-2D, 2014), la cual, se describe en la Tabla 83.



Tabla 83. Parámetros de resistencia de flujo laminar

Superficie	Rango de K
Hormigón / asfalto	24-108
Arena desnuda	30 - 120
Superficie graduada	90 - 400
Arcilla desnuda - suelo franco, erosionado	100 - 500
Vegetación escasa	1,000 - 4,000
Corto pasto de pradera	3,000 - 10,000
Bluegrass sod (césped)	7,000 - 50,000

– Datos de entrada

Para simular el flujo de lodos, los datos principales de entrada se presentan a continuación:

- La preparación de datos para la modelación de flujos torrenciales, tales como topografía, dominio, interpolación de elevación de puntos, coeficiente de rugosidad, se explican en el inciso de inundaciones.
- En los parámetros hidrológicos como outflow e inflow, el primero se seleccionó con la herramienta “element by element” las grillas aguas abajo por donde sale el cauce natural, mientras que, para el inflow, se introdujo el hidrograma total (hidrograma líquido y concentración volumétrica) en un archivo de formato “.HYD”, este se lo ubicó en el inicio del predio en el sector norte. Los hidrogramas introducidos corresponden los tiempos de retorno 2, 25 y 100 años.
- Posteriormente, a través de las curvas granulométricas del PPA y la relación mencionada por (Niño, 2015), se procedió a establecer los parámetros reológicos de la tabla 3, del manual de usuario de simulación de flujo de lodos (FLO-2D, 2014).



- El valor de K, se tomó de la Tabla 83 un valor representativo de la zona de estudio.
- Finalmente, en el CON.DAT, se estableció un cambio de porcentaje de profundidad de 0.2 (recomendado por el manual de FLO-2D), un ajuste de n de Manning de 0.001, un intervalo de tiempo  $\Delta t$  de 0.05 horas.

#### 4.1.5.13. Categorización de la amenaza

La categorización de la amenaza por flujos torrenciales se elaboró con base en la metodología planteada en el inciso de inundaciones (García et al, 2003, 2005). En resumen, el nivel de la amenaza se define, entonces, como una función discreta que combina la intensidad (magnitud del evento) y el periodo de retorno (frecuencia).

Para fenómeno de avenidas torrenciales el mapa de amenaza se presenta en tres colores: nivel alto (rojo), nivel medio (naranja) y nivel bajo (amarillo), ver

Tabla 85. Los colores de los mapas se traducen en áreas con características específicas de amenaza potencial por avenidas torrenciales descritas en la Tabla 86.

Tabla 84. Nivel de Intensidad por flujo torrencial

<b>DEFINICIÓN DE LA INTENSIDAD ANTE FLUJOS TORRENCIALES</b>			
Intensidad	Máxima profundidad h(m)		Producto de la máxima profundidad h (m) por la máxima velocidad v (m <sup>2</sup> /s)
Alta	$h > 1.0 \text{ m}$	ó	$v h > 1.0 \text{ m}^2/\text{s}$
Media	$0.2 \text{ m} < h < 1.0 \text{ m}$	y	$0.2 \text{ m} < v h < 1.0 \text{ m}^2/\text{s}$



Baja	$0.2 \text{ m} < h < 1.0 \text{ m}$	y	$v h < 0.2 \text{ m}^2/\text{s}$
------	-------------------------------------	---	----------------------------------

Tabla 85. Nivel de amenaza por flujo torrencial

<b>INTENSIDAD</b>	Alta			
	Media			
	Baja			
<b>FRECUENCIA</b>		Alta	Media	Baja
Periodo de Retorno		2	20	100
Probabilidad de ocurrencia		50%	5%	1%

Tabla 86. Categorización de Amenaza por Fenómeno de Avenidas  
Torrenciales

Nivel de Amenaza	Color	Descripción
Alta		Las personas están en peligro tanto dentro como fuera de sus casas. Las estructuras están en peligro de ser destruidas.
Media		Las personas están en peligro fuera de sus casas. Los edificios pueden sufrir daños y posible destrucción dependiendo de Características constructivas.
Baja		El peligro para las personas es bajo o inexistente. Los edificios pueden sufrir pequeños daños, pero las inundaciones o la sedimentación pueden afectar a la estructura interior.



4.1.5.14. Resultados

- Susceptibilidad ante flujos torrenciales

A continuación, se procederá a estimar los diferentes indicadores hidrológicos como proceso previo a la definición de amenazas, esta tiene como objetivo establecer, como se mencionó anteriormente, en forma integral que tan propensa es nuestra área de estudio como parte de la cuenca a sufrir estos fenómenos naturales de esta tipología. Los resultados se presentan en la Tabla 87. Cabe resaltar que, la verificación de estos datos, estuvieron acompañados por visitas en la zona de estudio.

Tabla 87. Características morfométricas del área de estudio

Morfometria	Quebrada La Merced	Quebrada La Rusia
Área Km2	2.67	0.33
Coeficiente compacidad	1.32	1.21
	Oval-redonda a oval-oblonga	Casi redonda a Oval-redonda
Pendiente Cuenca (%)	24.12%	16.18 %
Densidad de drenajes	2.0	1.97
	Moderada	Moderada

- Cálculo de índice de regulación y retención hídrica.

El índice se calcula con base en la curva de duración de caudales medios mensuales, según la metodología contenida en los Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua del IDEAM 2013. Debido a que, las estaciones no se encuentran instrumentadas se utiliza la transposición de caudales de la estación hidrológica Centenario para definir las características de la variación de caudales mensuales en la cuenca como se puede observar en la Figura



120. Por otro lado, el caudal medio de las cuencas con base en esta metodología se presenta en la Tabla 88.

Los resultados indican que para la cuenca de la quebrada La Merced y de la quebrada La Rusia, se presenta un IRH muy Bajo, lo que indica que la capacidad de las cuencas para retener y regular agua es muy baja.

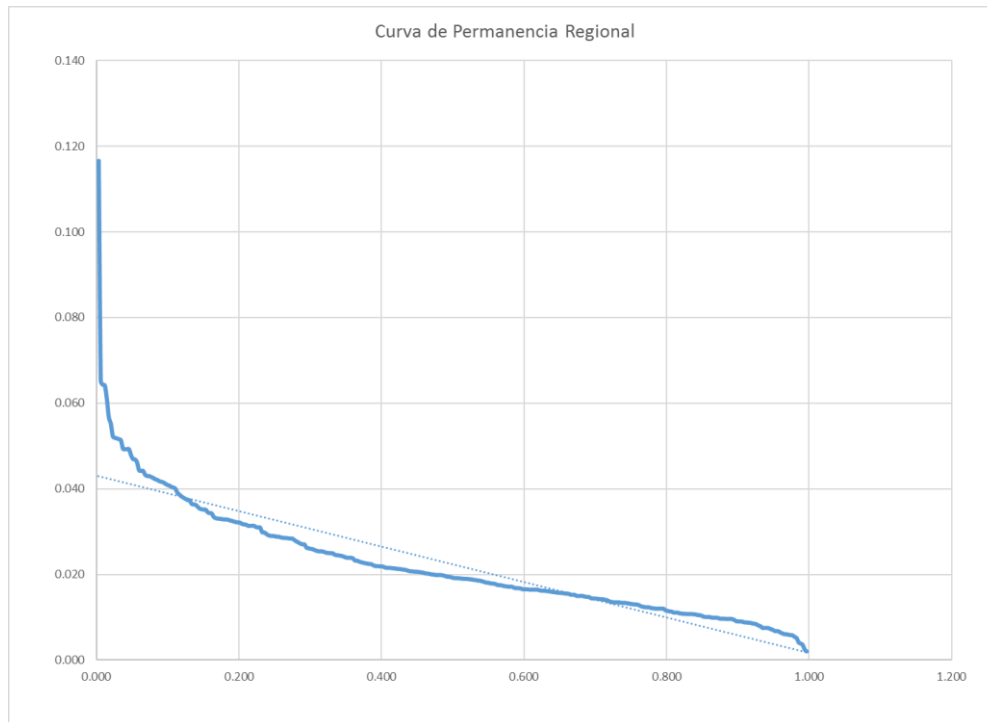


Figura 120. Curva de permanencia Regionalizada

Tabla 88. Caudal Medio cuenca La Merced y cuenca La Rusia

Morfometria	Quebrada La Merced	Quebrada La Rusia
Área Km2	2.67	0.33
Volumen Acumuldao 50 % (m3)	13291884	4718331
Volumun Acumulado 100 % (m3)	46995014	16682213





Morfometria	Quebrada La Merced	Quebrada La Rusia
IRH	0.28	

- Cálculo de Índice de variabilidad.

El índice de variabilidad se lo obtiene con base en la curva de duración de caudales medios mensuales obtenidos con base en transposición de los caudales de la estación Centenario, ver Tabla 89.

Tabla 89. Índice de Variabilidad

Morfometria	Quebrada La Merced	Quebrada La Rusia
Área Km2	2.67	0.33
IV	0.27	0.46
	Baja	Media

Los resultados indican que para la cuenca de las quebradas La Merced y La Rusia la vulnerabilidad es baja y media respectivamente.

- Cálculo de Índice morfométrico de torrencialidad.

Se constituye con la relación entre las variables morfométricas, como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, ver Tabla 90, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y, con ello, inferir cuál podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales (Rivas & Soto, 2009).

Se define una serie de valores promedio de las variables indicadas, estableciendo seis categorías o rangos; mientras mayores sean estos valores, hay una mayor



tendencia a que en la cuenca se presenten procesos torrenciales, es decir, existe una mayor vulnerabilidad a este tipo de procesos (IDEAM , 2011).

De acuerdo con los cálculos establecidos se define un Índice morfométrico de torrencialidad bajo para las cuencas La Merced y La Rusia.

Tabla 90. Índice morfométrico de torrencialidad

<b>INDICE MORFOMETRICO</b>	<b>QUEBRADA LA MERCED</b>	<b>QUEBRADA LA RUSIA</b>
Densidad de drenaje	2	2
Pendiente media de la cuenca	2	1
Coficiente de compacidad	3	4
Indice morfometrico de torrencialidad	Baja	Baja

- Cálculo de Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales.

La definición, características y metodología se extractaron del documento “Enfoque conceptual y metodológico para determinar la vulnerabilidad de fuentes abastecedoras de acueductos” (IDEAM , 2011). Se define a través de una matriz de decisión entre las categorías del índice morfométrico y el índice de variabilidad. La unidad de medida del indicador es cualitativa y se expresa en términos de vulnerabilidad muy alta, alta, media y baja.

El índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales indica la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca, el resumen se puede observar en la Tabla 91.

Debido a que el Índice de Vulnerabilidad es Bajo y a que el Índice Morfométrico de Torrencialidad es Bajo, el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales IVET en la quebrada La Merced es Media.



Mientras que el Índice de Vulnerabilidad es Medio y a que el Índice Morfométrico de Torrencialidad es Bajo, el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales IVET en la quebrada La Rusia es Media.

Tabla 91. Índice de vulnerabilidad ante eventos torrenciales

INDICE MORFOMETRICO	QUEBRADA LA MERCED	QUEBRADA LA RUSIA
IV	Bajo	Medio
IMT	Baja	Baja
<b>IVET</b>	<b>Media</b>	<b>Media</b>

Una vez estimada la morfometría de la cuenca y posteriormente el Índice de Vulnerabilidad ante Eventos Torrenciales (IVET), se puede concluir que la susceptibilidad ante flujos torrenciales para las cuencas La Merced y la Rusia es media.

- Amenaza por flujo torrencial

Los resultados de los hidrogramas de crecida para los diferentes tiempos de retorno se presentan en el inciso de análisis de la amenaza por inundación, los cuales son utilizados igualmente para el análisis de la amenaza por flujo torrencial.

- Estimación de Volúmenes sólidos

En la Figura 121, se observa de manera esquemática las áreas propensas a deslizamiento cercanas a la red hídrica definidas por escasa cobertura vegetal y/o por la presencia de grietas (tres áreas en la cuenca la merced y un área en la cuenca la Rusia)

Por su parte, en la Figura 122, se observa los resultados de la clasificación no supervisada que se realizó para cada imagen satelital, donde para la imagen del año 2005 se clasificó cuatro categorías de cobertura vegetal (lado izquierdo de la



figura) y para el año 2020 tres categorías (lado derecho de la figura), de igual manera en la Figura 123 se muestra las redes irregulares de triángulos (TIN) que se generó para cada imagen.

Una vez obtenidos los TIN para cada año se realizó el procedimiento de diferencia de superficies, proceso que da como resultado polígonos que se clasifican con códigos correspondientes a las superficies que se encuentran por debajo (-1) o por encima (1) de un plano de referencia (0) ver Figura 124, que para el análisis del presente estudio se toma el volumen de los polígonos que tienen un código de -1, suponiendo que estas son las áreas que han deslizado o desplazado de alguna manera y por tanto son las que aportarían esa cantidad de material sólido a las diferentes fuentes hídricas.

Desde la Tabla 92 a la Tabla 96, se encuentran los datos de volumen y área de los polígonos resultantes del procedimiento que se encuentran por debajo del plano de referencia, y que se sumaron para obtener el volumen total que aportaría cada superficie identificada a las quebradas La Merced y La Rusia, ver Tabla 96.

Tabla 92. Volúmenes área 1 -Cuenca La Merced

FID	Shape *	Volumen	Área	Code
8	Polygon	34.529136	76.301422	-1
11	Polygon	55.158536	171.506101	-1
12	Polygon	21.377436	74.542374	-1
15	Polygon	4161.59592	5764.47117	-1
22	Polygon	89.399483	156.634475	-1
23	Polygon	764.082249	1102.2147	-1
28	Polygon	0.089918	1.991365	-1
29	Polygon	98.672081	166.102239	-1
41	Polygon	17.424765	54.507678	-1
50	Polygon	47.413687	129.64042	-1
65	Polygon	23.307845	56.455683	-1
251	Polygon	0.030015	0.968895	-1

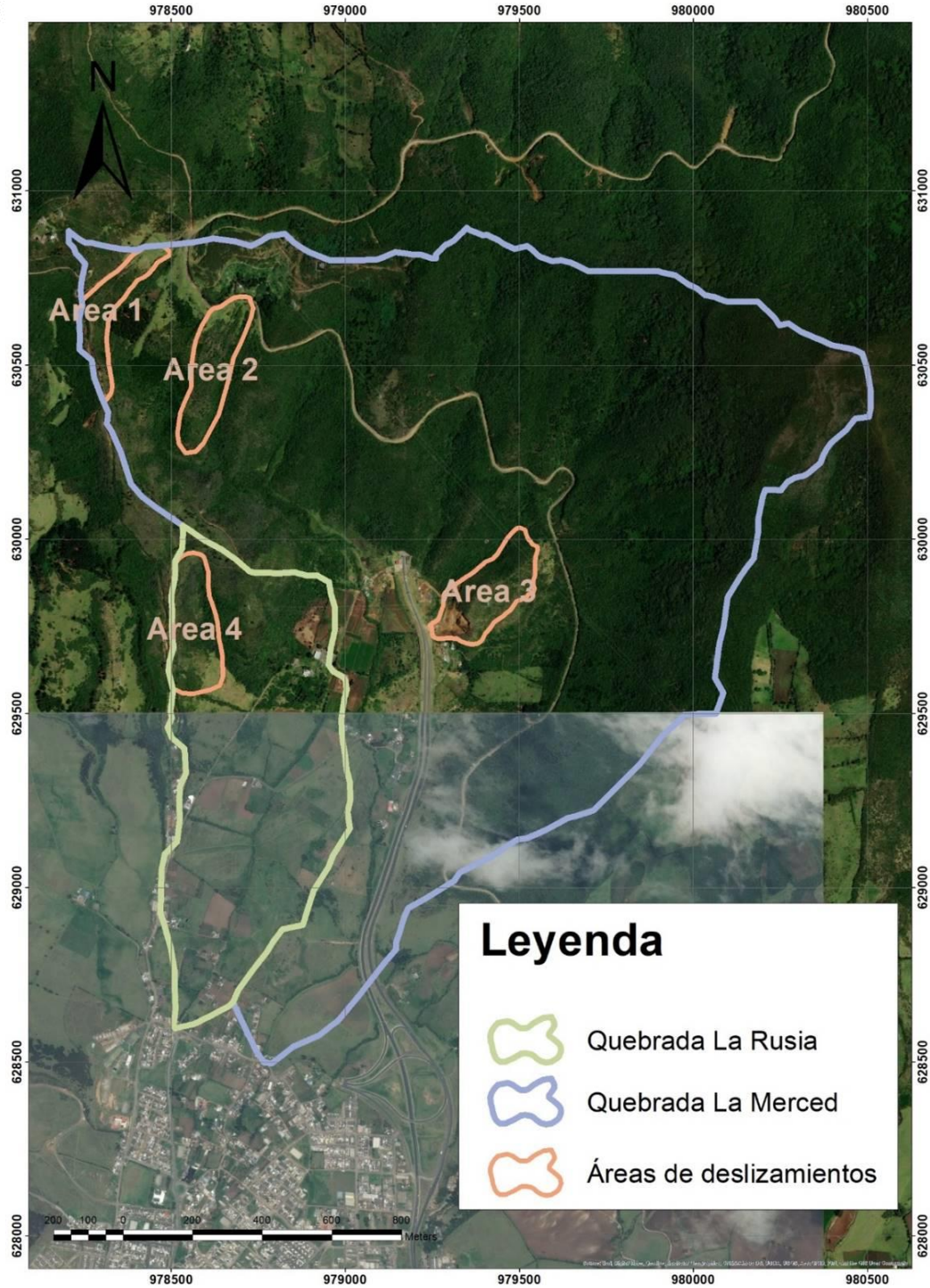


Figura 121. Áreas de deslizamientos

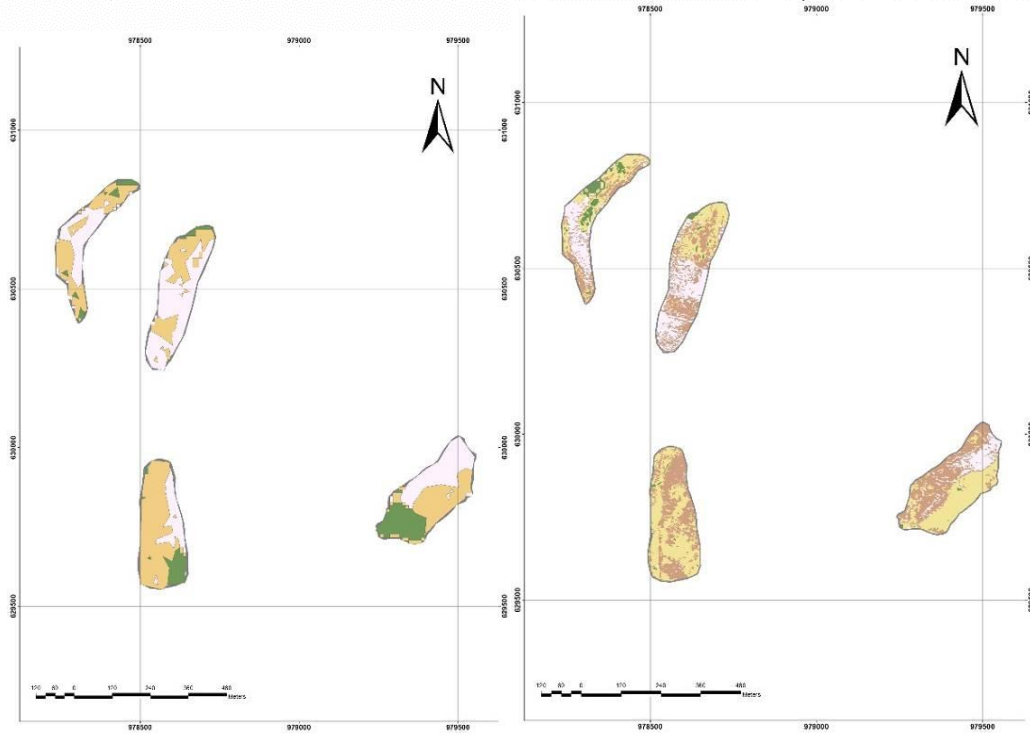


Figura 122. Clasificación no supervisada  
A. Coberturas año 2005 – B. Coberturas año 2020.

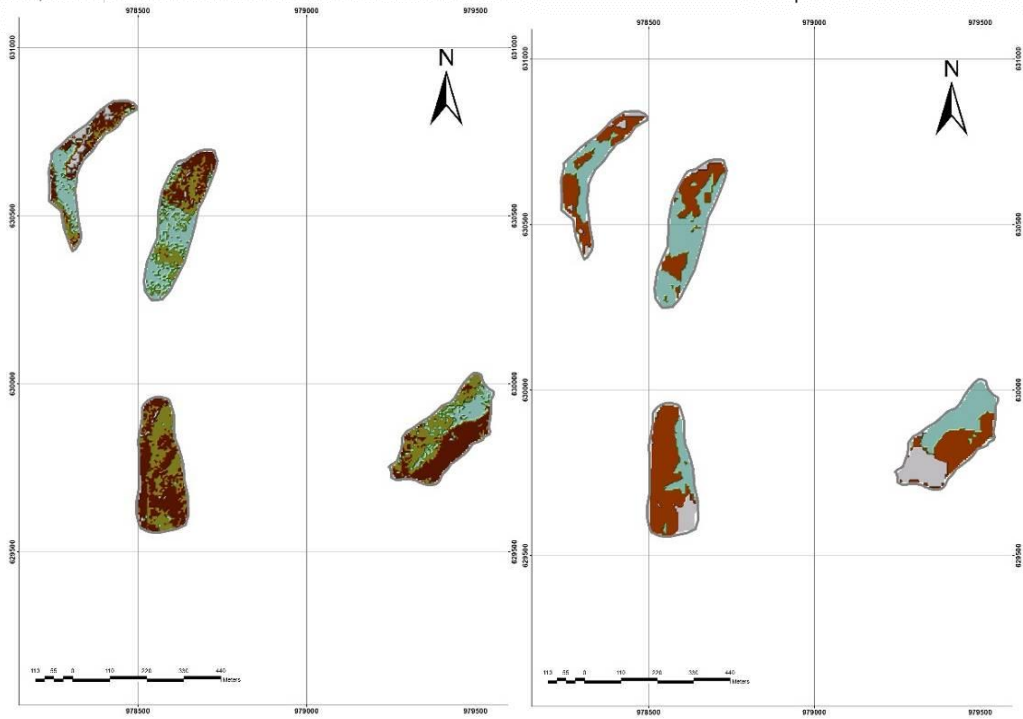


Figura 123. Redes Irregulares de Triángulos  
A. TIN año 2005 – B. TIN AÑO 2020.

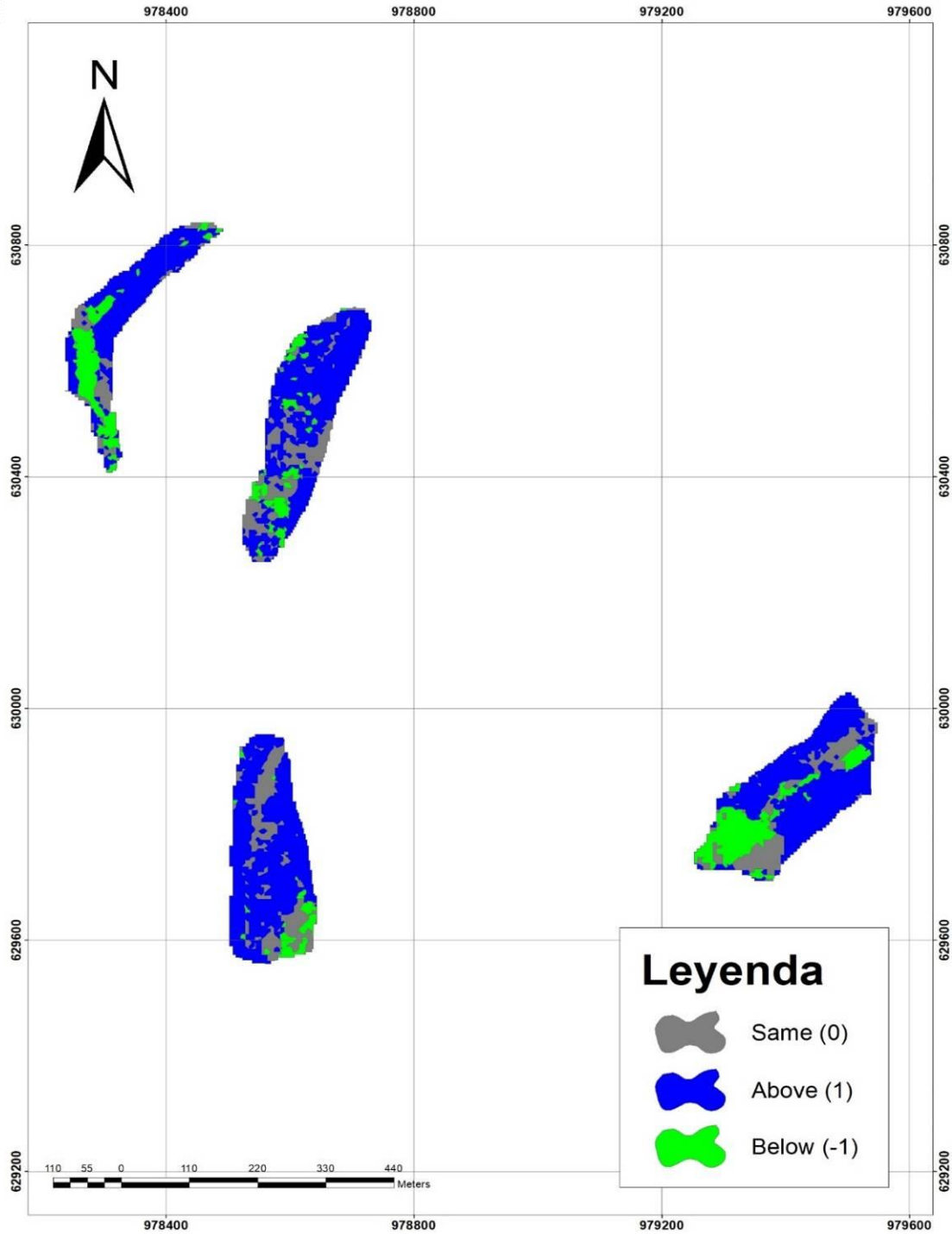


Figura 124. Diferencia de Superficies





Tabla 93. Volúmenes área 2-Cuenca La Merced

FID	Shape *	Volume	SArea	Code
3	Polygon	11.92125	38.155136	-1
25	Polygon	15.375178	41.751672	-1
48	Polygon	121.824393	345.177085	-1
66	Polygon	41.182501	108.171394	-1
68	Polygon	18.82041	47.613279	-1
69	Polygon	281.012866	528.735753	-1
73	Polygon	12.798383	42.062542	-1
76	Polygon	0.093789	2.070865	-1
110	Polygon	240.928259	616.096004	-1
125	Polygon	93.922861	175.643318	-1
126	Polygon	15.1725	47.933099	-1
127	Polygon	26.417676	65.838554	-1
145	Polygon	0.47622	2.590333	-1
155	Polygon	17.564863	61.617969	-1
157	Polygon	201.929639	423.910441	-1
176	Polygon	11.79407	61.948431	-1
178	Polygon	47.685001	120.464325	-1
179	Polygon	449.25046	901.833214	-1
201	Polygon	6.297847	31.95769	-1
203	Polygon	238.600106	518.744797	-1
218	Polygon	0.103228	16.322956	-1
219	Polygon	33.979402	78.193244	-1
222	Polygon	14.264146	44.659008	-1
224	Polygon	39.404806	101.348352	-1
244	Polygon	0.568424	5.292905	-1
267	Polygon	0.001566	0.07317	-1
275	Polygon	4.429508	31.353779	-1

Tabla 94. Volúmenes área 3 Cuenca La Merced

FID	Shape *	Volume	SArea	Code
4	Polygon	842.982946	1173.8757	-1
20	Polygon	69.36	186.995584	-1
21	Polygon	31.42875	87.222452	-1
33	Polygon	5.515001	33.682155	-1



FID	Shape *	Volume	SArea	Code
34	Polygon	6322.95282	7479.99976	-1
53	Polygon	156.856692	333.54651	-1
54	Polygon	177.901376	469.494347	-1
61	Polygon	162.526633	371.67494	-1
131	Polygon	130.37974	196.349044	-1
257	Polygon	0.26207	5.369318	-1
280	Polygon	7.58625	24.902494	-1

Tabla 95. Volúmenes área 4-Cuenca La Rusia

FID	Shape *	Volume	SArea	Code
35	Polygon	702.624111	1125.6464	-1
37	Polygon	20.59125	64.082781	-1
85	Polygon	15.801699	47.599516	-1
89	Polygon	6.407419	28.238642	-1
90	Polygon	23.922428	63.948687	-1
91	Polygon	12.960114	48.898676	-1
92	Polygon	72.639786	160.778888	-1
118	Polygon	296.154803	562.823609	-1
119	Polygon	194.267207	418.834076	-1
122	Polygon	26.01	80.002051	-1
185	Polygon	16.32198	42.752492	-1
205	Polygon	37.943057	83.699373	-1

Tabla 96. Volúmenes de áreas aportantes de material sólido

Número de área	Cuenca	Volumen m3
1	La Merced	5313.08
2	La Merced	1945.82
3	La Merced	7907.75
4	La Rusia	1425.64

Finalmente, para cada área de deslizamiento identificada se realizó un análisis de estabilidad de talud, para conocer qué tan susceptible puede ser a la ocurrencia de movimientos en masa y la posibilidad de aportar material sólido, es decir que cantidad de volumen pueden caer sobre las fuentes hídricas La Merced y La Rusia.



En cada perfil se calculó el factor de seguridad teniendo en cuenta dos escenarios: (1) considerando saturación de los materiales por la presencia de un nivel freático y (2) considerando saturación de materiales y actividad sísmica, como un escenario más crítico. En este sentido los FS menores o iguales a 1 serán menos estables, por tanto, más susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa, y los FS mayores a 1 son más estables. En la Tabla 97, se presentan todos los factores de seguridad calculados para cada área y la susceptibilidad a movimientos en masa, así mismo en el Anexo 1, se encuentran todas las gráficas del análisis que se realizó a cada área y los dos escenarios posibles.

Tabla 97. Factor de Seguridad de las áreas de posible deslizamiento

Área	Factor de Seguridad			
	E1= Agua	Susceptibilidad	E2= Agua y sismo	Susceptibilidad
1	2.13	Baja	1.46	Media
2	1.79	Baja	1.23	Media
3	1.48	Media	0.91	Alta
4	1.07	Alta	0.73	Alta

- Clasificación de flujo

Una vez obtenidos los resultados del posible aporte de sedimentos en las cuencas en estudio, se procedió a estimar el Cv con la metodología de (O'Brien, Julien , & Fullerton, 1993) mencionada anteriormente. Los resultados se presentan en la Tabla 98 y en la Tabla 99 para las quebradas La Merced y La Rusia, respectivamente.

Tabla 98. Estimación CV cuenca de aporte quebrada La Merced

Cuenca La Merced			
Volumen	Tiempo de Retorno		
	2	25	100
Líquido	3160	10910	16010
Sólido (1)	5313	5313	5313
Sólido (2)	1946	1946	1946



<b>Cuenca La Merced</b>			
<b>Volumen</b>	<b>Tiempo de Retorno</b>		
	<b>2</b>	<b>25</b>	<b>100</b>
Sólido (3)	7908	7908	7908
Cv	<b>0.82</b>	<b>0.58</b>	<b>0.48</b>

Tabla 99. Estimación CV cuenca de aporte quebrada La Rusia

<b>Volumen</b>	<b>Cuenca La Rusia</b>		
	<b>2</b>	<b>25</b>	<b>100</b>
Líquido	320	1190	1760
Sólido (4)	1426	1426	1426
Cv	<b>0.82</b>	<b>0.55</b>	<b>0.45</b>

Como se puede observar los resultados de Cv varían entre 0.82 para Tr de 2 años y 0.45 para Tr 100 años, lo cual es apenas lógico puesto que el volumen de crecida generado difiere sustancialmente para cada tiempo de retorno y el volumen de desprendimiento es el máximo posible en las zonas aledañas a la quebrada, siendo los CV de 0.45 y 0.48 la concentración en volumen más pertinente, y la cual será utilizada para la simulación de flujo torrencial.

La razón de esta selección es debido a que los desprendimientos de material sólido igualmente son variables para los diferentes tiempos de retorno pero que no pueden ser fácilmente estimados, generando una proporcionalidad con la magnitud del evento y que por tanto pueden generar concentraciones similares, lo cual es debidamente corroborado con las características granulométricas del área de estudio reportadas en las muestras SM6 y SM7 del estudio de suelos del plan parcial Aranda.

La corroboración se basa entre el análisis comparativo de los valores de CV reportados en la literatura con las características del suelo dominantes en la zona, la cual se caracteriza por tener diámetro predominante que varían entre 0.05-



0.001mm a las diferentes profundidades y ubicaciones de suelo, material que corresponde a Arenas muy finas, Limos o arcilla propios de suelos cohesivos con algo de mezcla característicos de los Mudflows con Cv reportados en la literatura entre 0.45-0.48.

Según (Niño, 2015), los flujos de lodos están caracterizados por una concentración suficientemente alta de limos y arcillas (tamaños de sedimentos menores a 0.0625 mm) capaz de cambiar las propiedades de la mezcla de fluido. Este tipo de flujos exhiben altas viscosidades y esfuerzos cortantes, donde estos pueden viajar grandes distancias en zonas poco empinadas a pequeñas velocidades, dejan a su paso depósitos o abanicos de material.

Una vez obtenidos estos parámetros, se procedió a obtener los hidrogramas totales para cada tiempo de retorno con el respectivo aporte de sedimentos anteriormente establecido. A continuación, se presentan los hidrogramas resultantes de los apartados líquidos, sólidos y su distribución en el tiempo.

- Hidrogramas con aporte líquido y sólido
  - **Quebrada La Merced**

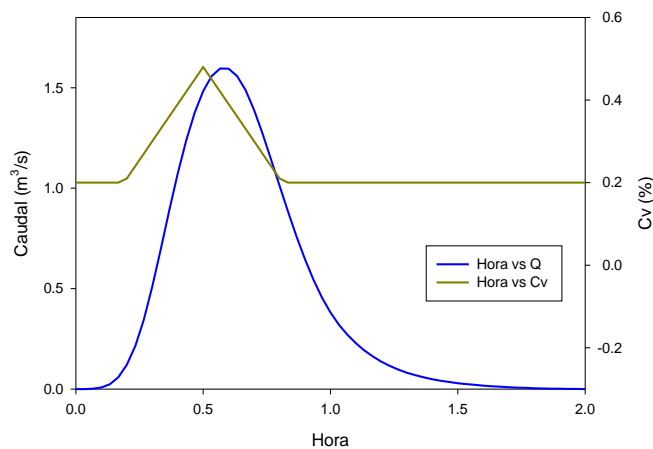


Figura 125. Hidrograma líquido y concentración volumétrica La Merced, TR 2 años

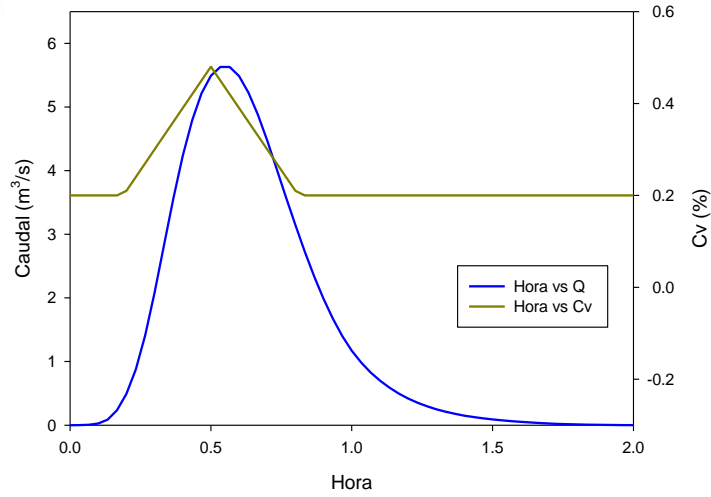


Figura 126. Hidrograma líquido y concentración volumétrica La Merced, TR 25 años

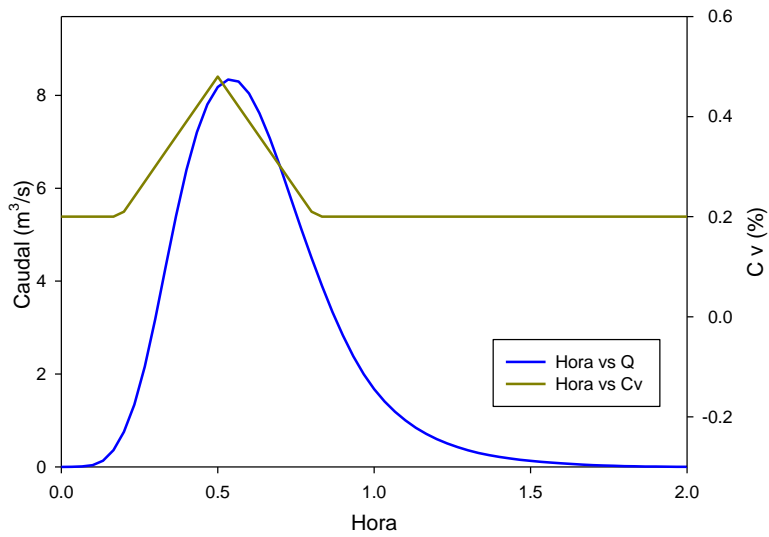


Figura 127. Hidrograma líquido y concentración volumétrica La Merced, TR 100 años



- **Quebrada La Rusia**

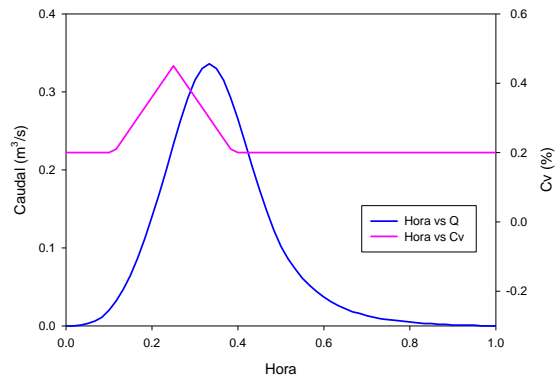


Figura 128. Hidrograma líquido y concentración volumétrica La Rusia, TR 2 años

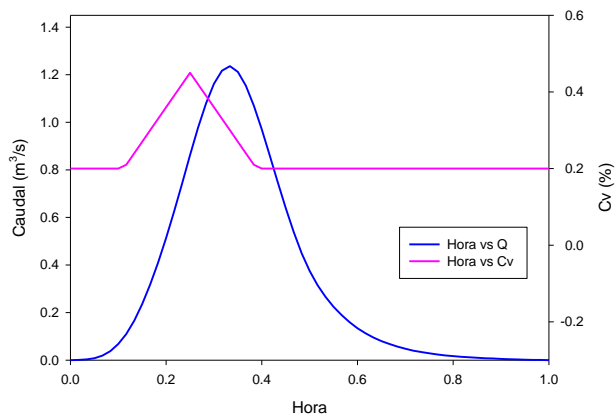


Figura 129. Hidrograma líquido y concentración volumétrica La Rusia, TR 25 años

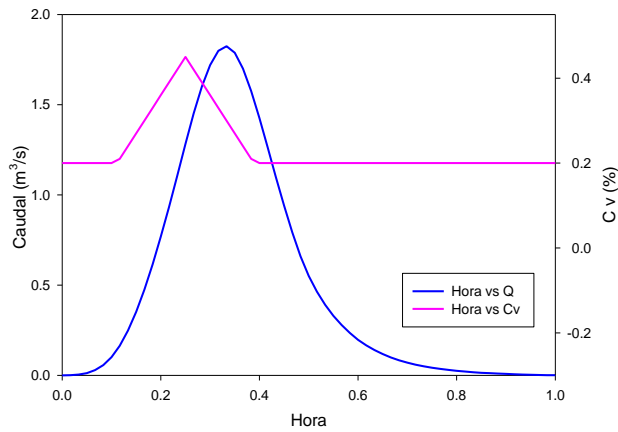


Figura 130. Hidrograma líquido y concentración volumétrica La Rusia, TR 100 años



- Modelación hidráulica

El tránsito hidráulico propuesto por el modelo FLO-2D, se basa en una ecuación cuadrática de pendiente de fricción. La velocidad estimada representa la velocidad de flujo calculada en cada límite de elemento de la zona de circulación de flujo, el  $n$  de Manning para el flujo en superficie adoptado estuvo entre un rango de 0.05 y 0.4 y para el del cauce un valor de 0.024 – 0.032 (Chaudhry, 2008), para detalles ver inciso de inundaciones. La resistencia al flujo terrestre laminar  $K$  fue de 3000 para áreas con praderas o pastos cortos, ver Tabla 83.

El peso específico de la matriz de fluido  $\gamma_m$ , el límite elástico  $\tau$ , y la viscosidad  $\eta$  varían principalmente con la concentración de sedimento, las cuales, son representadas por las siguientes expresiones:

$$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$$

$$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$$

Donde  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  son coeficientes empíricos definidos por experimentos de laboratorio por O'Brien y Julien en 1988. Los valores adoptados para el caso de estudio se presentan en la Tabla 101, cabe destacar que, al no tener información reológica del lugar, estos fueron definidos con base en las características de las partículas de suelos encontrados en las muestras de la perforación SM6 y SM7 de plan Parcial Aranda, ubicados dentro del área de influencia de estudio y comparados con lo reportados por O'Brien y Julien en la Tabla 100, siendo adoptado el modelo de Glenwood Sample 4 debido a que el suelo predominante en las capas susceptibles a deslizamientos son Limo arenoso plástico de consistencia mediana (SM6) y blandas (SM7) cuyos diámetros característicos (D50) se encuentran en un rango de 0.02 a 0.005 según el USDA y con bajos contenidos de arcilla.





Tabla 100. Propiedades de las matrices de flujo de lodo (solo limos y arcillas)

Sample (1)	Sediment Size Distribution				Liquid limit (6)	Plasticity index (7)
	Clay (%) (2)	$D_{16}$ (mm) (3)	$D_{50}$ (mm) (4)	$D_{84}$ (mm) (5)		
Glenwood original	4.8	0.010	0.034	0.062	—	—
Glenwood sample 1	6.8	0.009	0.023	0.050	—	—
Glenwood sample 2	3.0	0.016	0.035	0.061	—	—
Glenwood sample 3	4.8	0.011	0.025	0.053	—	—
Glenwood sample 4	7.6	0.001	0.018	0.032	—	—
Aspen pit 1	31.3	0.001	0.011	0.032	0.32	0.11
Aspen natural soil	27.0	0.001 <sup>a</sup>	0.012	0.028	0.25	0.06
Aspen mine fill	27.8	0.001 <sup>a</sup>	0.013	0.030	0.24	0.06
Aspen natural soil source	31.6	0.001 <sup>a</sup>	0.016	0.039	—	—
Aspen mine fill source	25.2	0.001 <sup>a</sup>	0.018	0.061	—	—

Tabla 101. Coeficientes de correlación de Yield Stress y Viscosidad  $\tau_y$ , y  $\eta$ (FLO-2D, 2018)

Coeficientes	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
	0.00172	29.5	0.000602	33.1

– **Quebrada La Merced**

Los resultados de la profundidad de flujo para diferentes tiempos de retorno ante los posibles eventos de flujo de lodos en la zona de estudio, los cuales se obtuvieron a través de la modelación hidráulica se presentan en la Figura 131, Figura 105 y Figura 133.

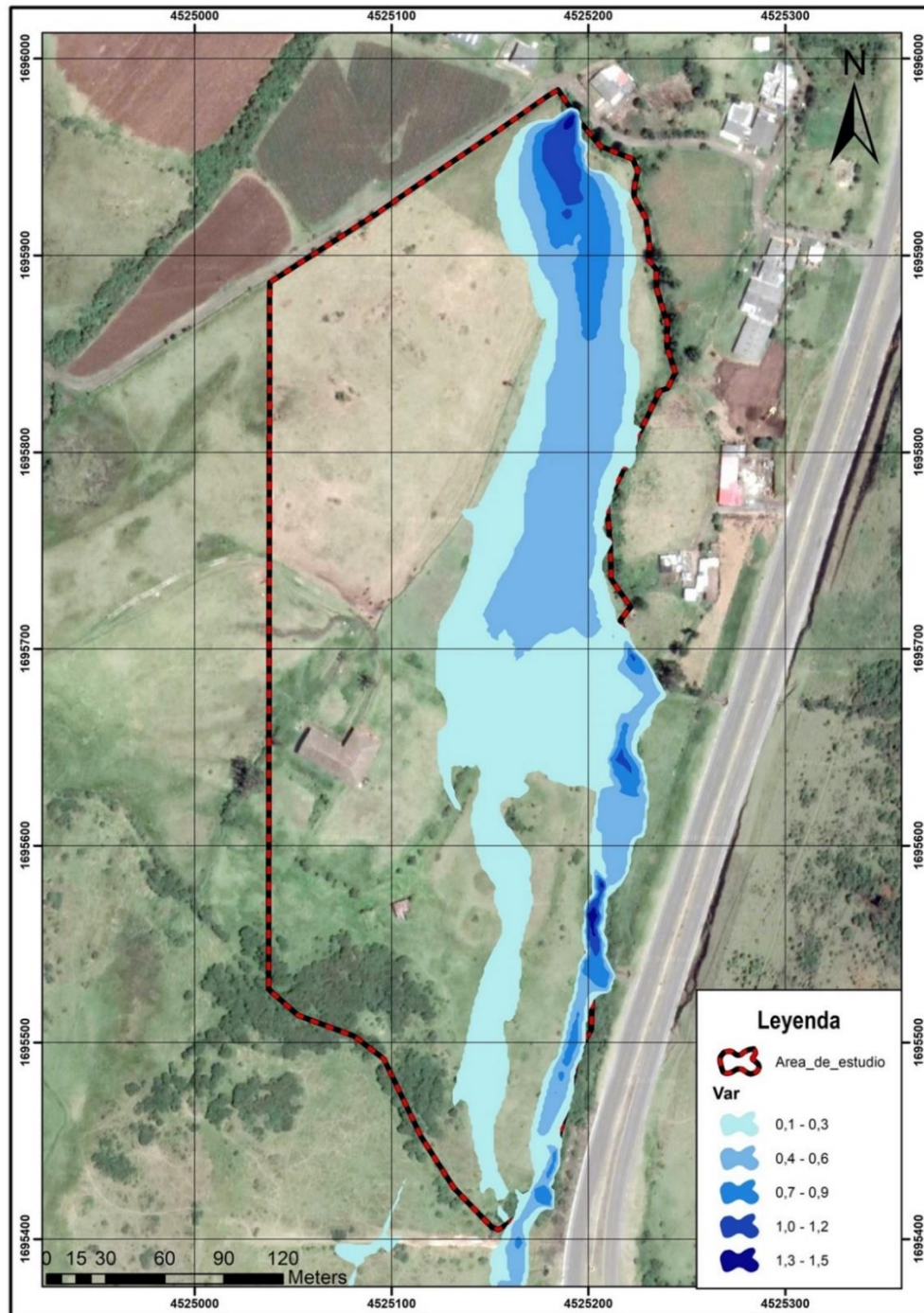


Figura 131. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR  
2 años

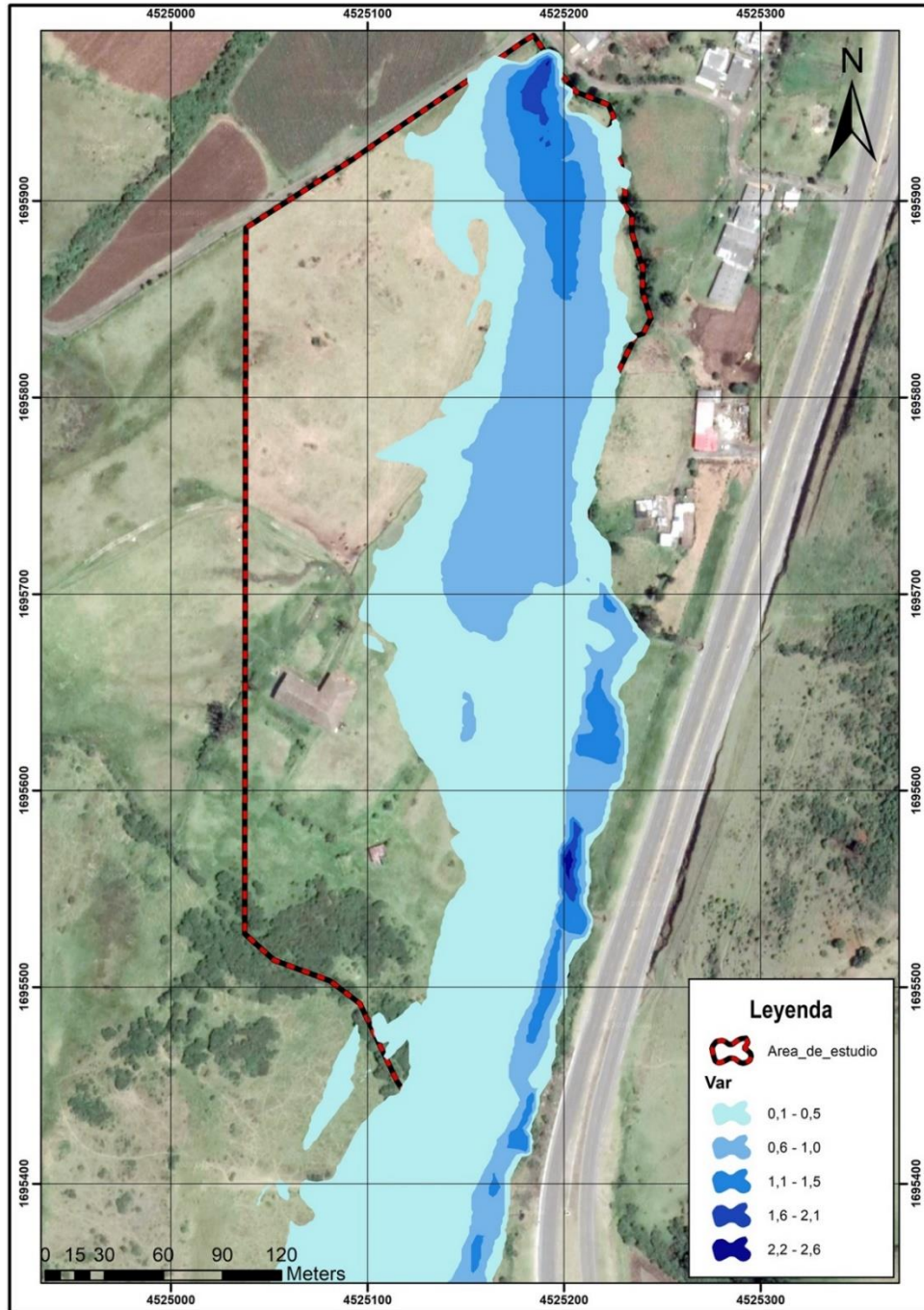


Figura 132. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 25 años

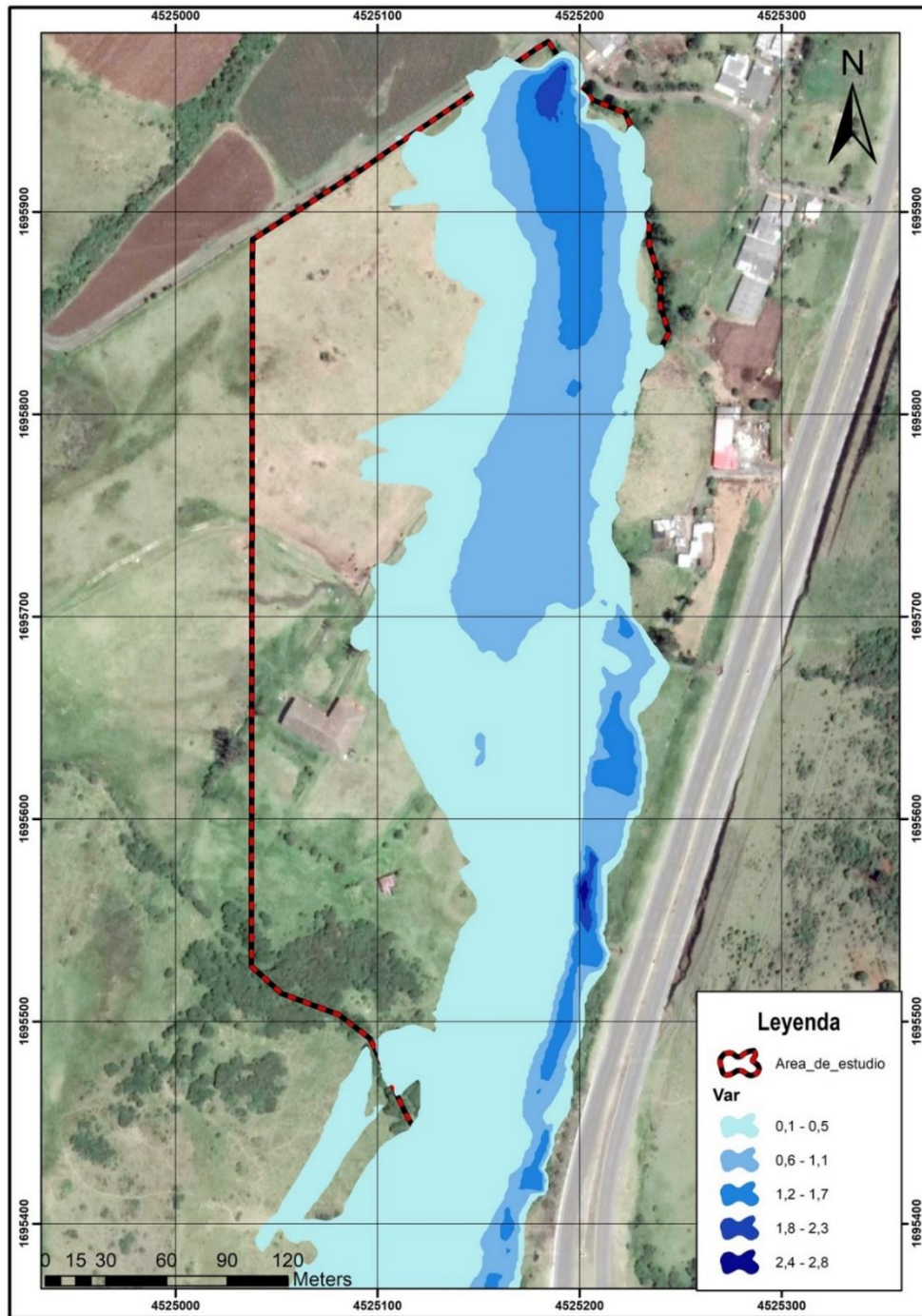


Figura 133. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 100 años



Por otro lado, los resultados de susceptibilidad por velocidades para diferentes tiempos de retorno se presentan en la Figura 134, Figura 135 y Figura 136.

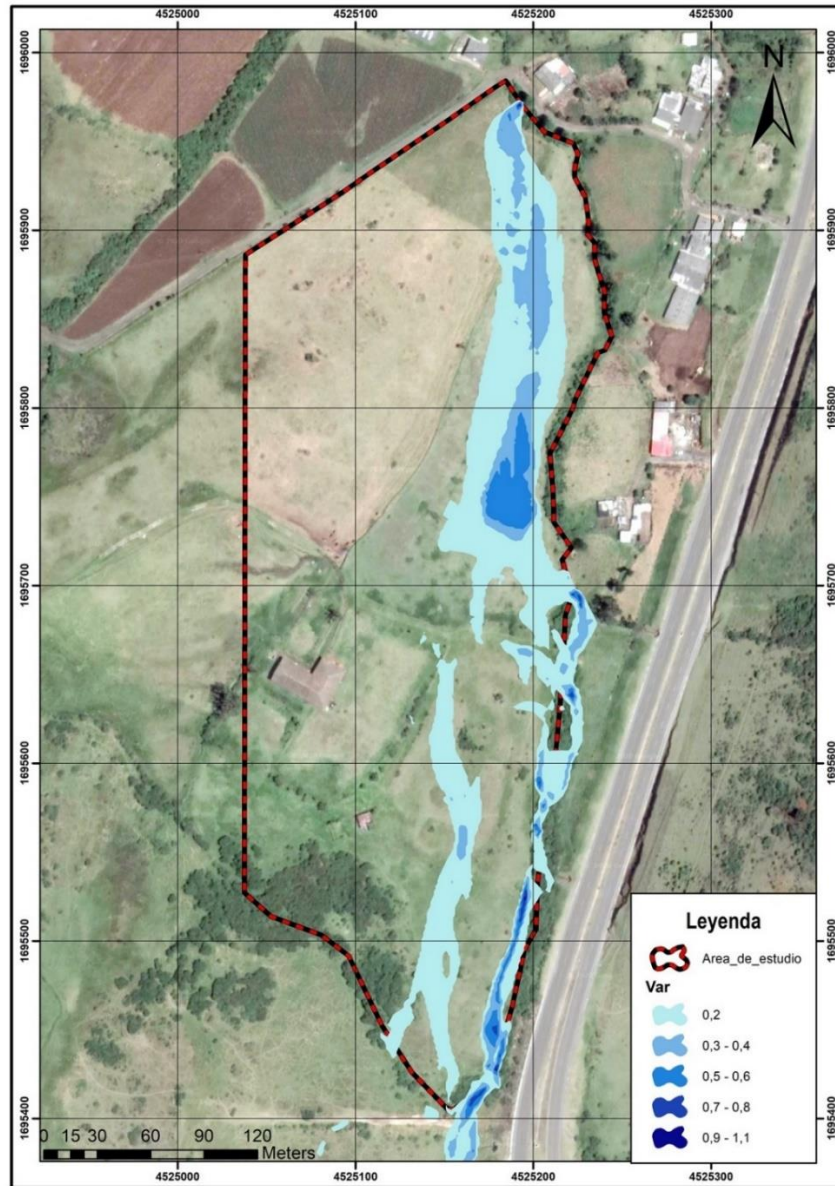


Figura 134. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2 años

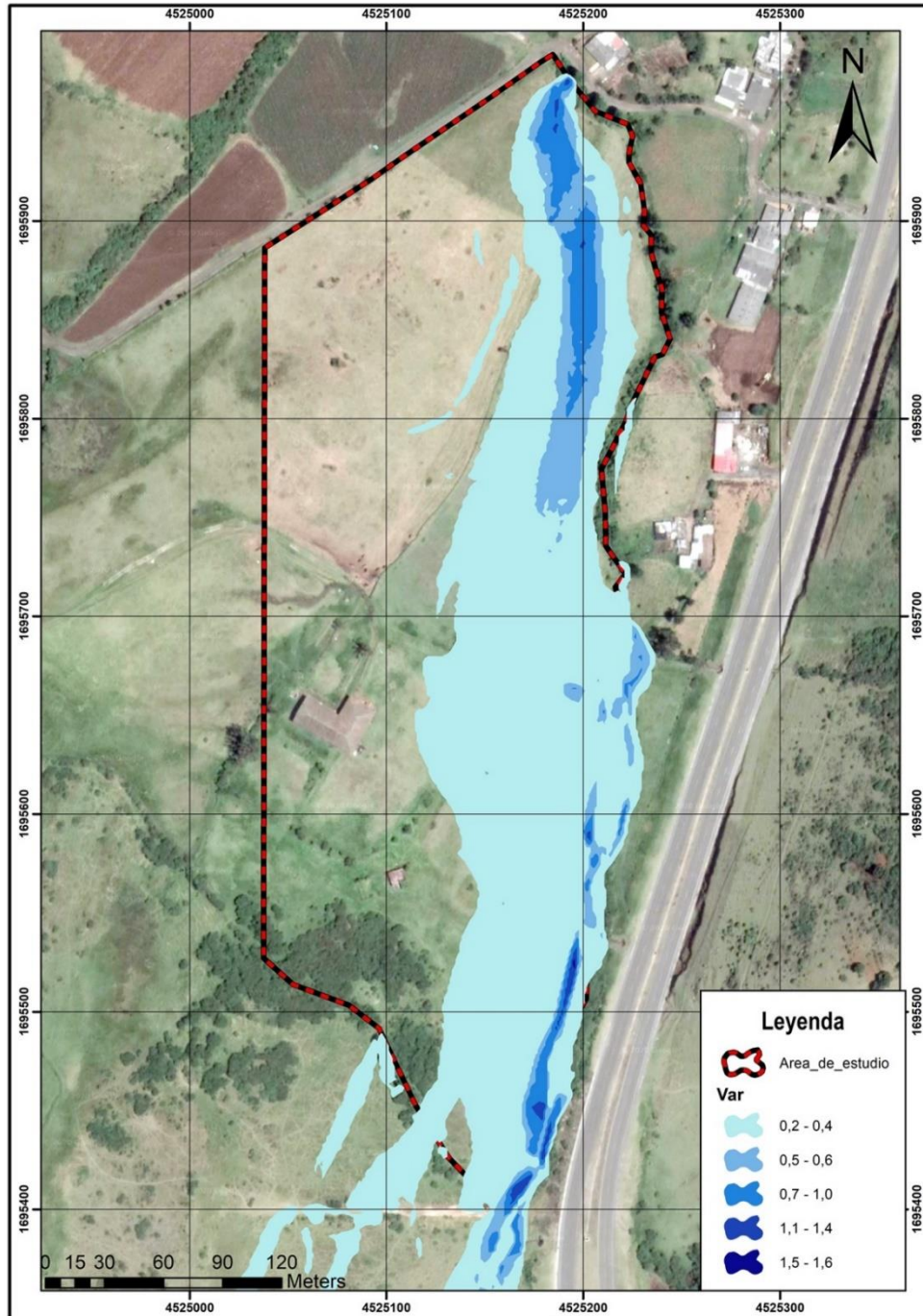


Figura 135. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR  
25 años

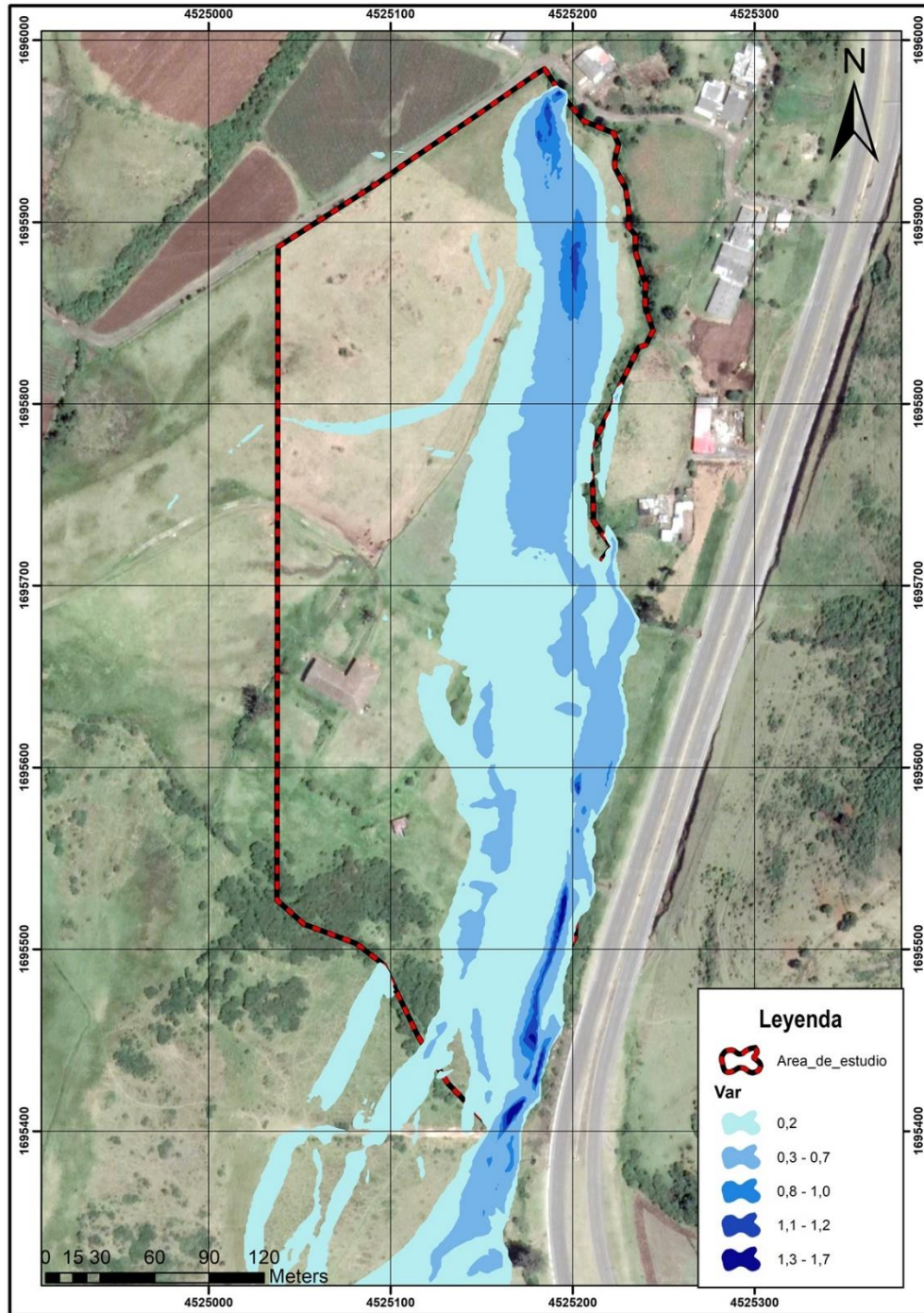


Figura 136. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 100 años



- **Quebrada La Rusia**

Los resultados de la profundidad de flujo para diferentes tiempos de retorno ante los posibles eventos de flujo de lodos en la zona de estudio, los cuales se obtuvieron a través de la modelación hidráulica se presentan en la Figura 137, Figura 138 y Figura 139.

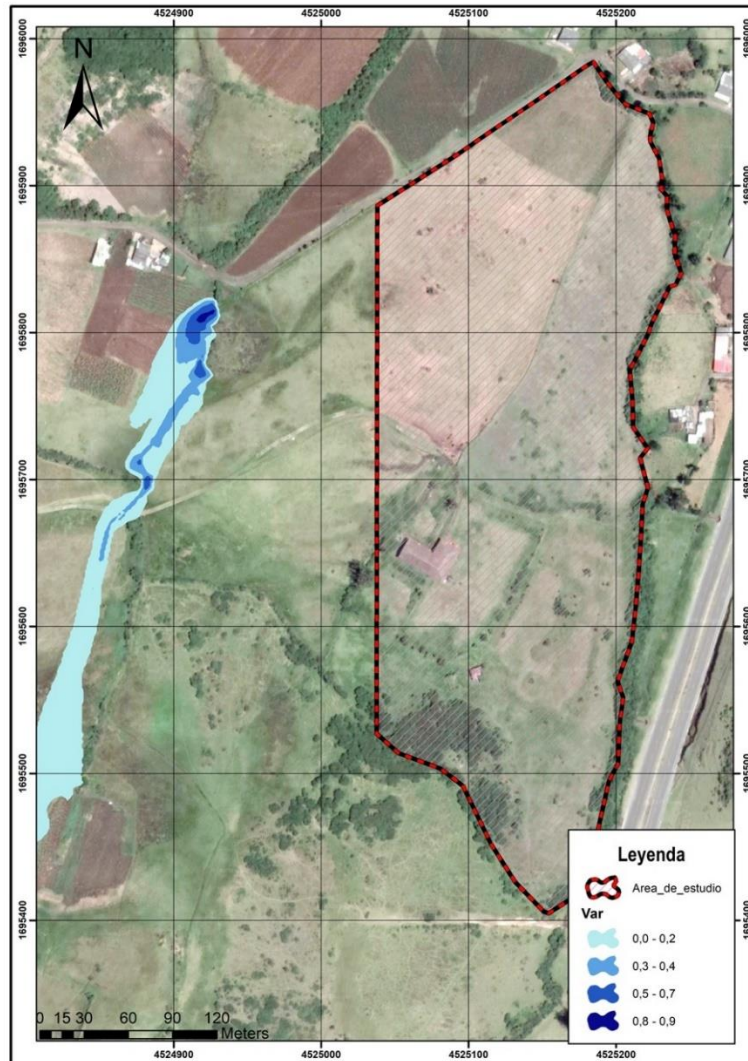


Figura 137. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2 años



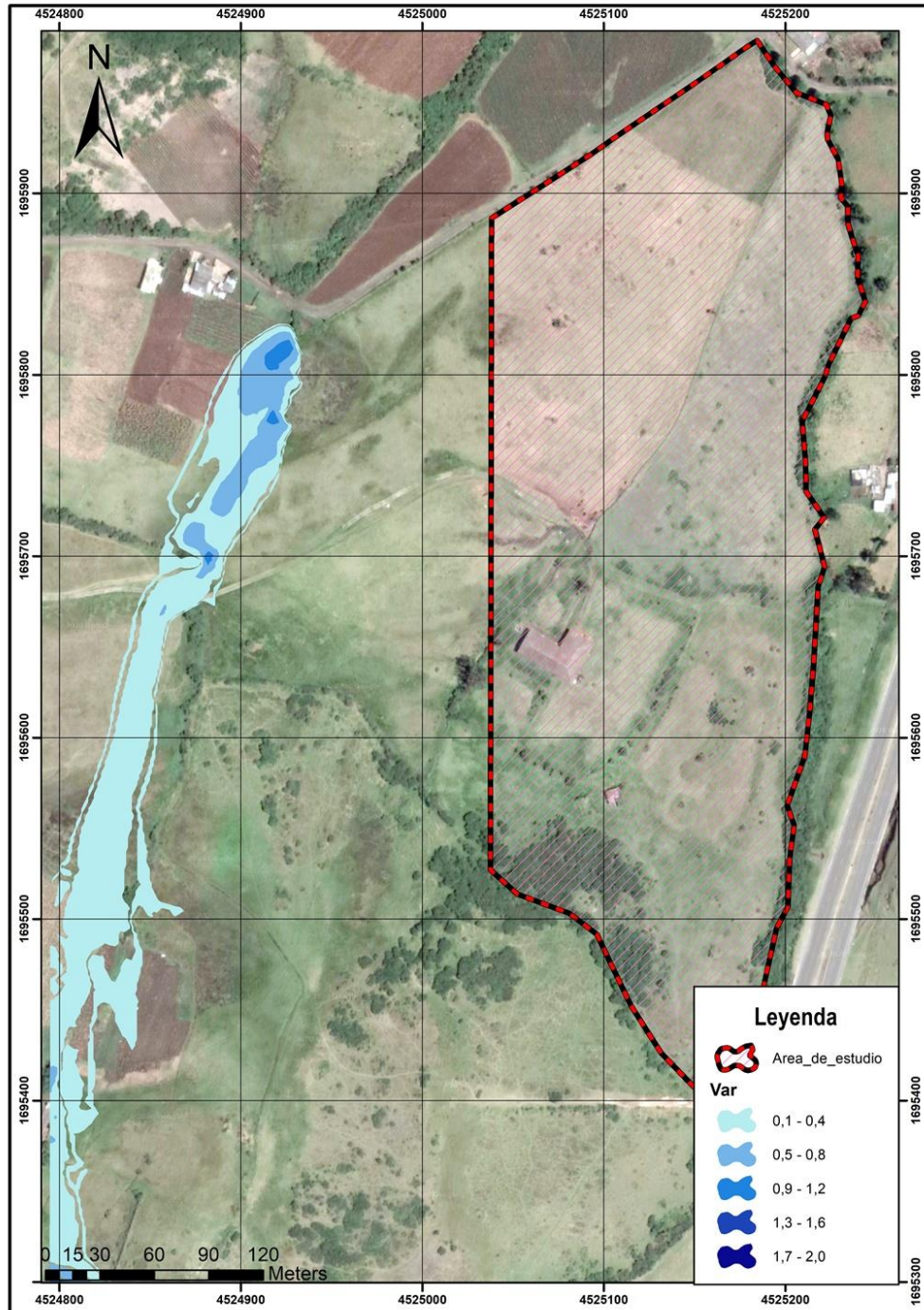


Figura 138. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 25 años

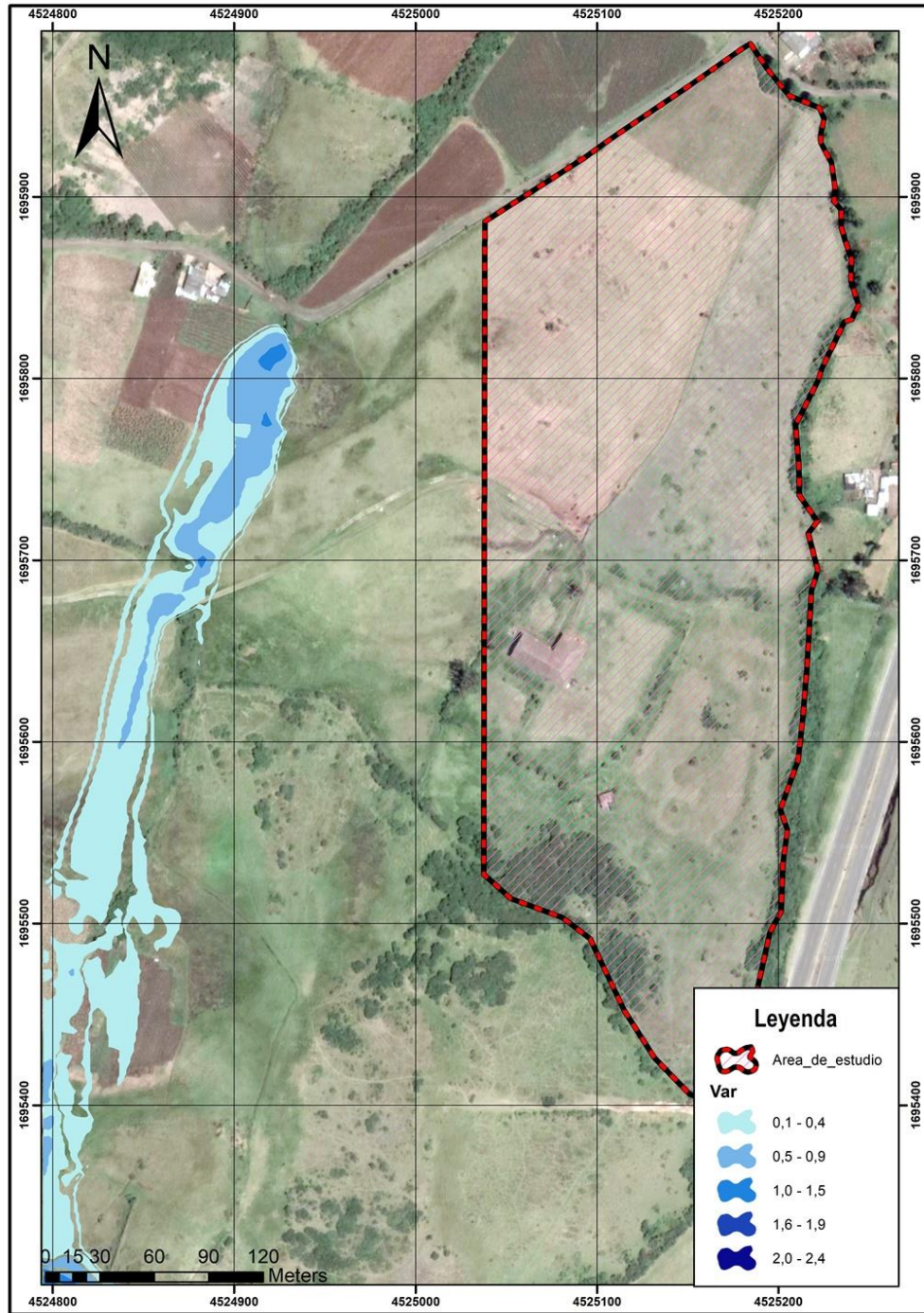


Figura 139. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 100 años



Por otro lado, los resultados de susceptibilidad por velocidades para diferentes tiempos de retorno se presentan en la Figura 140, Figura 141 y Figura 142.

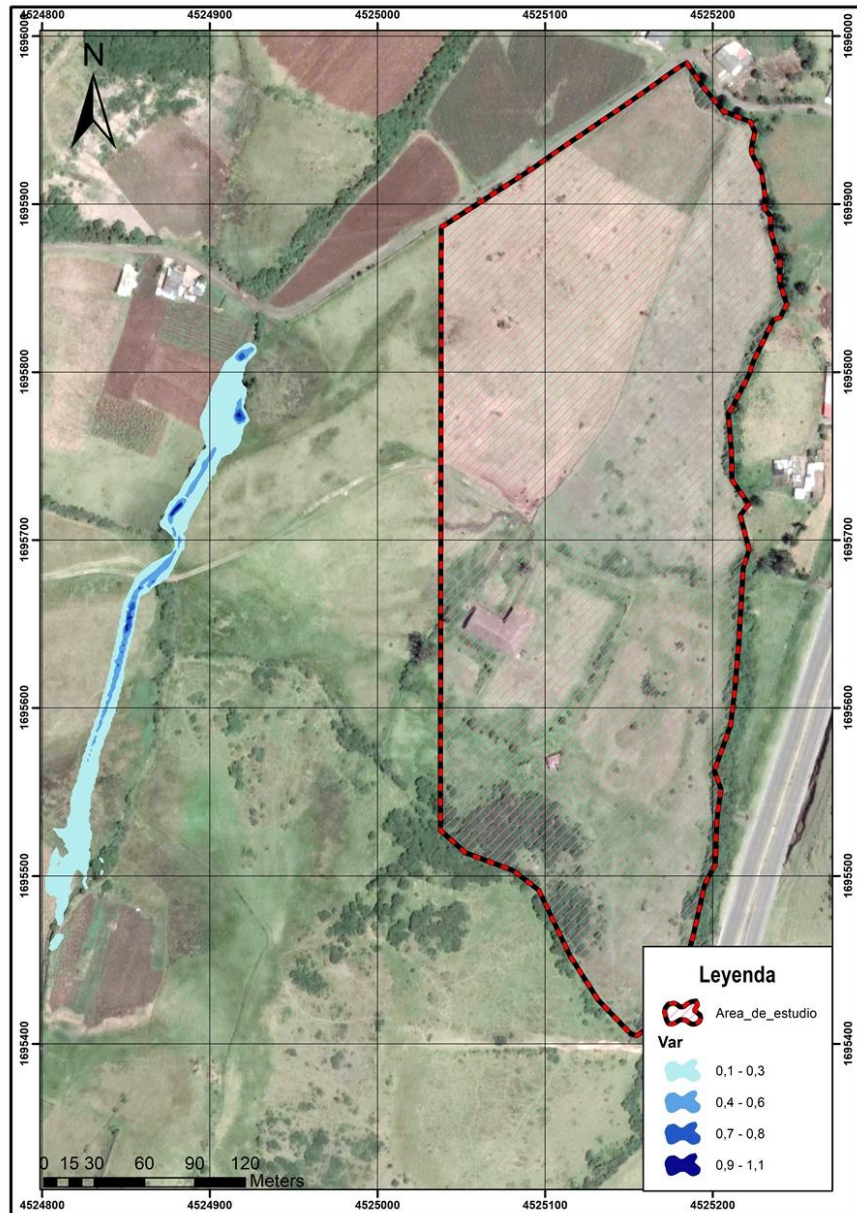


Figura 140. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2 años

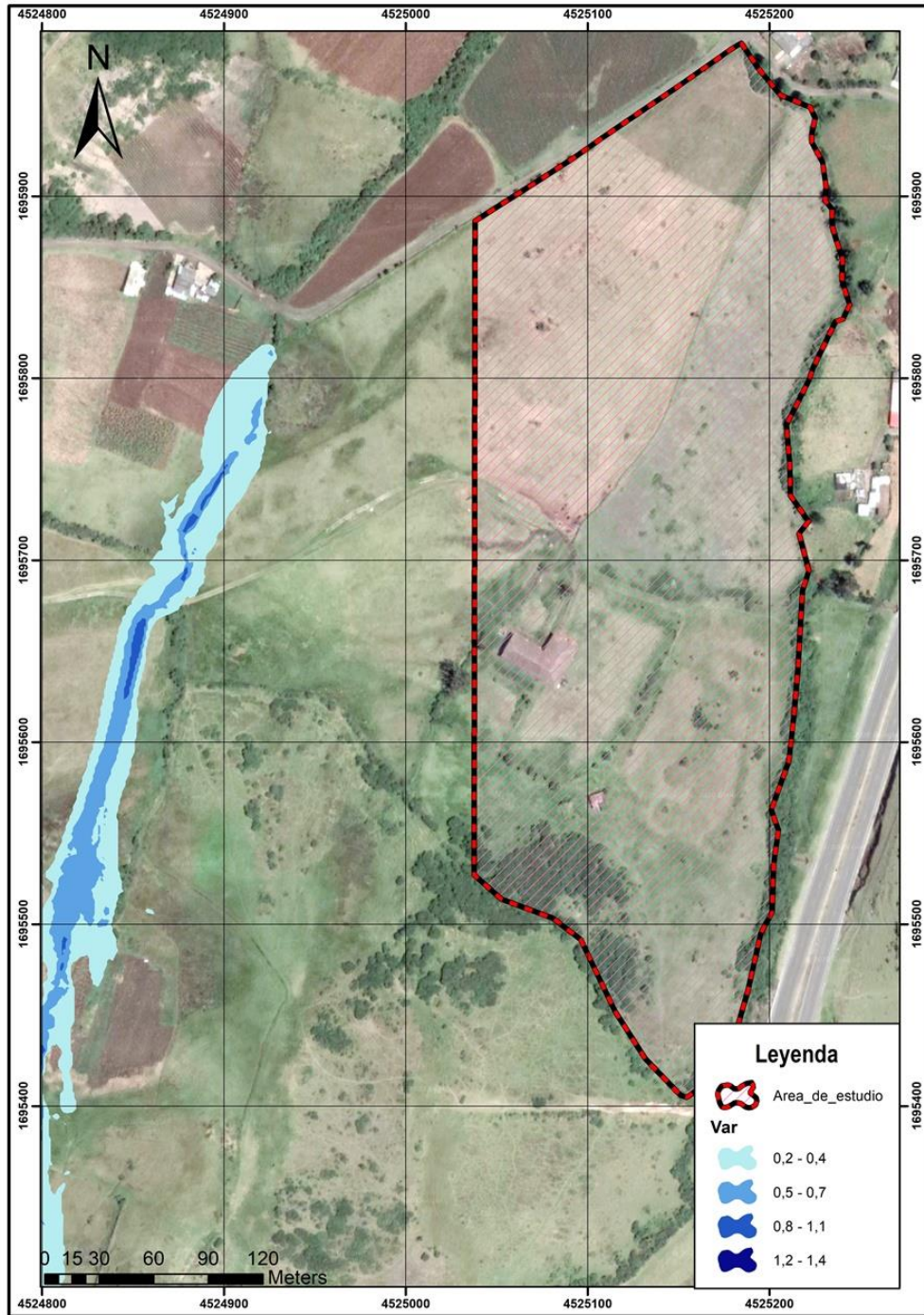


Figura 141. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 25 años

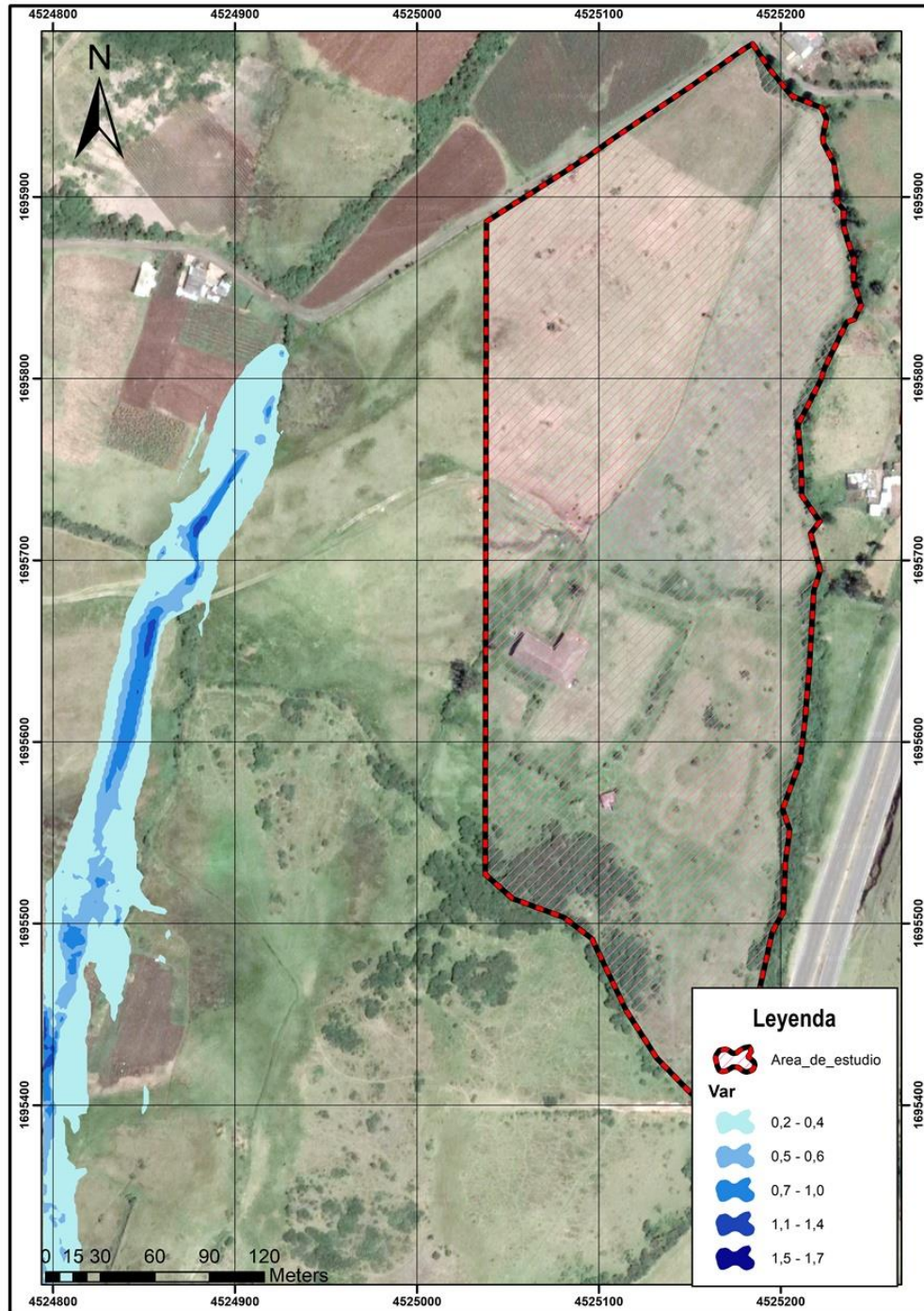


Figura 142. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR  
100 años



- Amenaza por Flujos Torrenciales

La categorización de la amenaza por flujo torrencial, como se mencionó anteriormente, se realizó con base en la metodología desarrollada por (García et al, 2003, 2005), la cual, fue aplicada a casos de abanicos aluviales en Caracas, Venezuela. El enfoque sigue los problemas suizos y austriacos que determinan tres zonas de amenaza, alta, media y baja, ver Figura 143 y Figura 144.

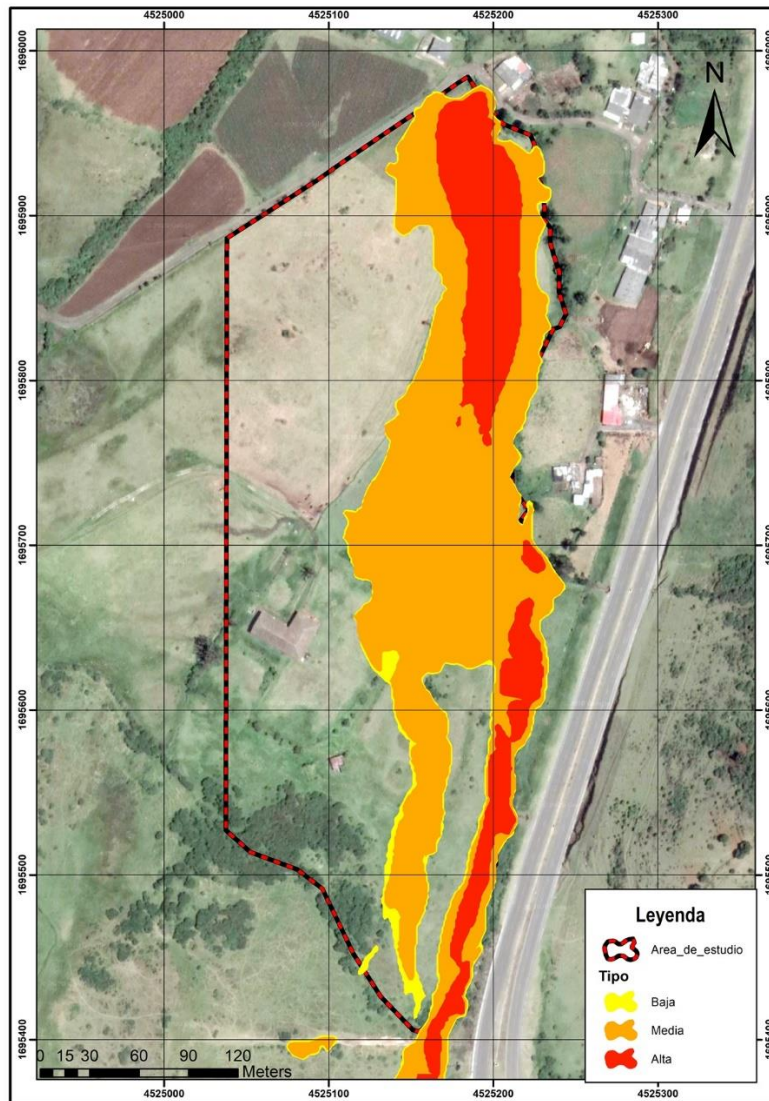


Figura 143. Categorización de amenaza por flujo torrencial quebrada La Merced

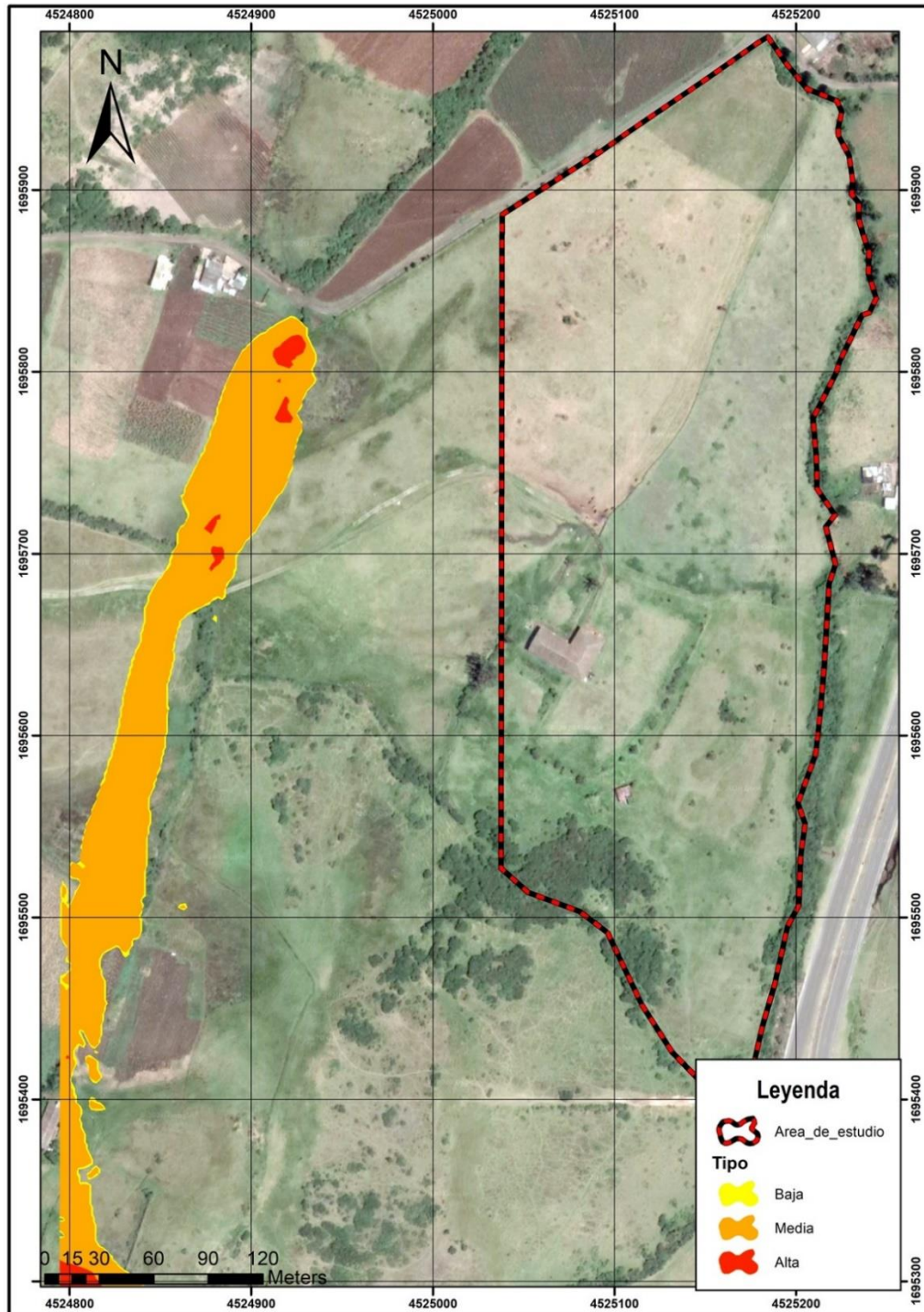


Figura 144. Categorización de amenaza por flujo torrencial quebrada La Rusia



#### 4.1.6. Amenaza sísmica

Geográficamente Colombia es un país que se encuentra ubicado en la esquina noroccidental de Suramérica, ver Figura 145, hace parte de la zona sísmica más activa de la tierra, denominado Anillo Circumpacífico, en donde ocurre un tipo de choque entre las Placas Nazca, Suramericana y del Caribe. Este país posee diversos volcanes de los cuales la mayoría se encuentran en la cordillera central y occidental, que en la actualidad son pocos los que permanecen activos.

Las Placas anteriormente mencionadas poseen características diferentes, considerando así una velocidad y sentido diferente, para lo cual en Colombia se presenta un comportamiento en donde las Placas de Nazca y del Caribe se desplazan bajo la Placa Suramericana, llamándose este proceso como un evento de subducción (Alcaldía Municipal de Pasto, 2013)

Este proceso posee características que varían para cada una de las Placas, donde la Placa del Caribe se desplaza hacia el sureste a una menor velocidad que la placa de Nazca, la cual se desplaza hacia el este.

Colombia, de acuerdo al mapa base del Servicio Geológico Colombiano, ver Figura 146, presenta zonas de amenaza sísmica alta (zona roja), media (zona amarilla) y baja (zona verde) debido a eventos de sismicidad asociados a la zona de subducción, así como también a eventos desde superficiales (profundidad menor a 30 km), hasta los más profundos.

En cuanto a eventos superficiales se cuenta con registros en el oeste de Nariño, Cauca y Mar Adentro, ocasionando consigo eventos de tsunamis de gran importancia en el siglo pasado, mientras que los eventos de sismicidad profunda están asociados a una posible antigua subducción, generándose sismicidad en los





departamentos de Boyacá hasta Norte de Santander (Servicio Geológico Colombiano, 2015)



Figura 145. Ubicación Geográfica de Colombia.

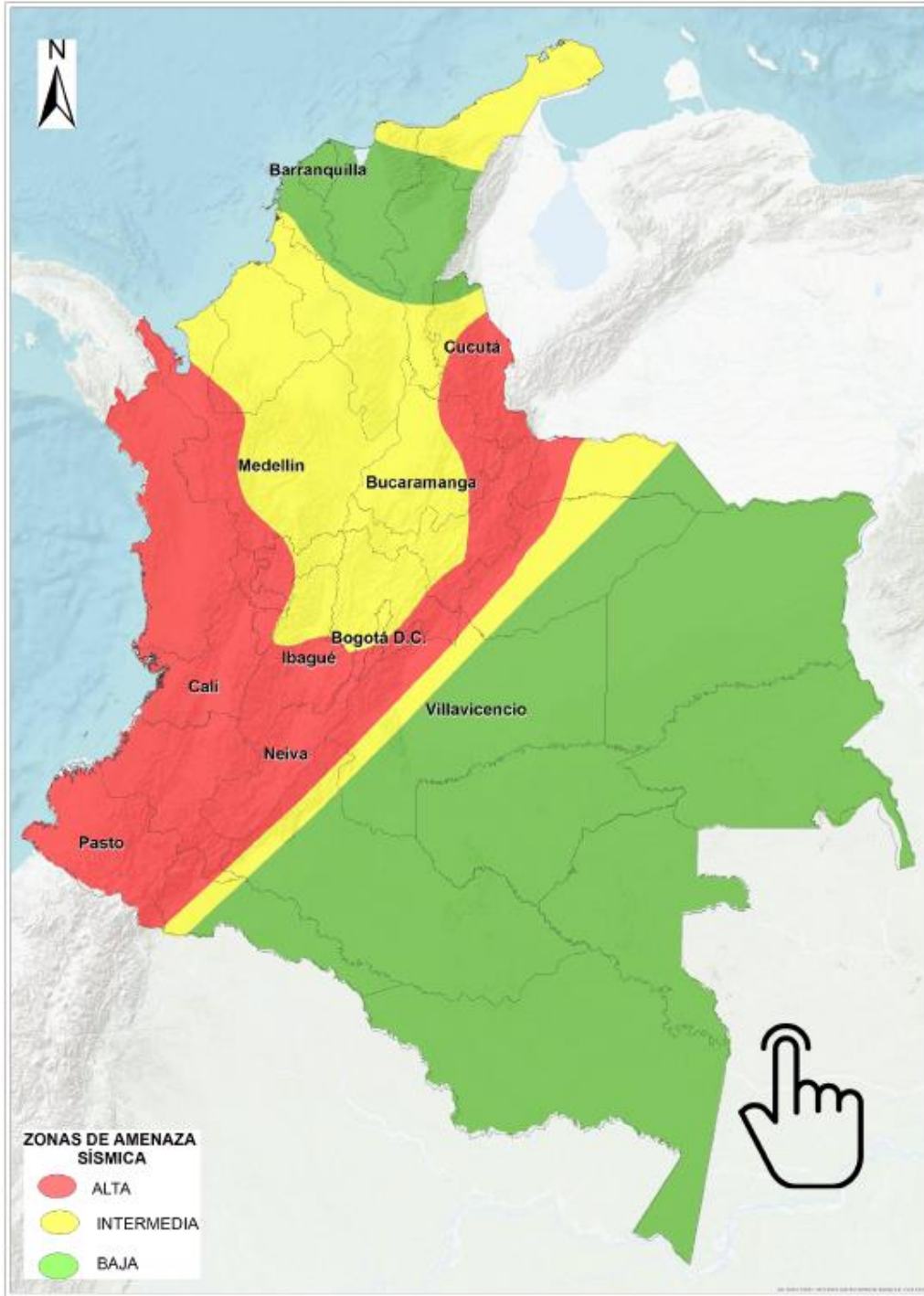


Figura 146. Mapa Base Zona de Amenaza Sísmica.



Por otra parte, la mayor parte de la sismicidad superficial es resultado del proceso de deformación existente de la corteza presente dentro de la Zona Andina, que se encuentra junto a los principales sistemas de fallas como: Romeral, Cauca, Medio del Magdalena y Valle Superior, donde sus epicentros comunes son: Departamento de Nariño, Páez (Cauca), Viejo Caldas, Norte del Tolima, Occidente de Risaralda, Norte del Valle y sector de Pulí.

Mientras que, para la zona norte de Colombia, debido a la baja presencia de convergencia entre las Placas Caribe y Sur-americana, la sismicidad es muy difusa dado que la deformación es mínima para generar cierta actividad (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

#### 4.1.6.1. Amenaza Plan Parcial Policía Metropolitana

El departamento de Nariño dada su ubicación, se encuentra expuesto a un sistema de fuerzas que resultan de las acciones entre las Placas Suramericana y Nazca, presentándose las fallas de Romeral y del Cauca, donde la falla de Romeral es considerada la estructura geológica de mayor importancia en el país, debido a que se extiende desde el sur de Nariño hasta el departamento de Córdoba, comprendiendo aproximadamente 800 km a través de Colombia, así como también intervienen diversas fallas como la de Ancuya, Yumbo, Manchabajoy, Guátara, Buesaco, Pasto, San Ignacio y el Sistema Magdalena, ver Figura 147. (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

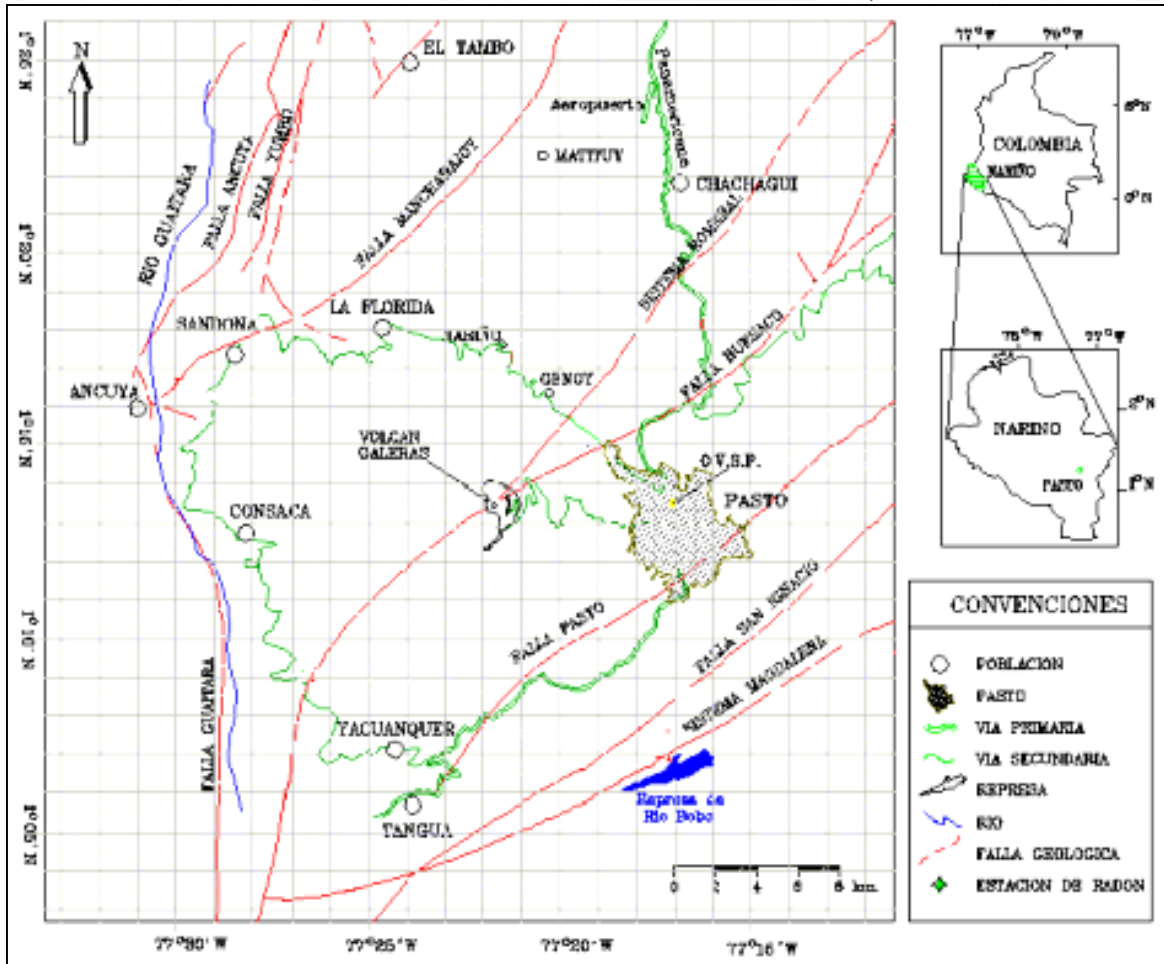


Figura 147. Fallas identificadas en el departamento de Nariño

Por su parte, el municipio de Pasto se caracteriza por tener una aceleración vertical (Ad) y horizontal efectivo (Aa) de 0.25, permitiendo categorizar esta amenaza como alta, ver Figura 148.

Cabe resaltar que no es posible con los insumos disponibles actualmente en definir una amenaza específica al predio del Plan Parcial Metropolitana puesto que a la fecha aún no se cuenta con los resultados definitivos de la micro-zonificación sísmica del municipio de Pasto.

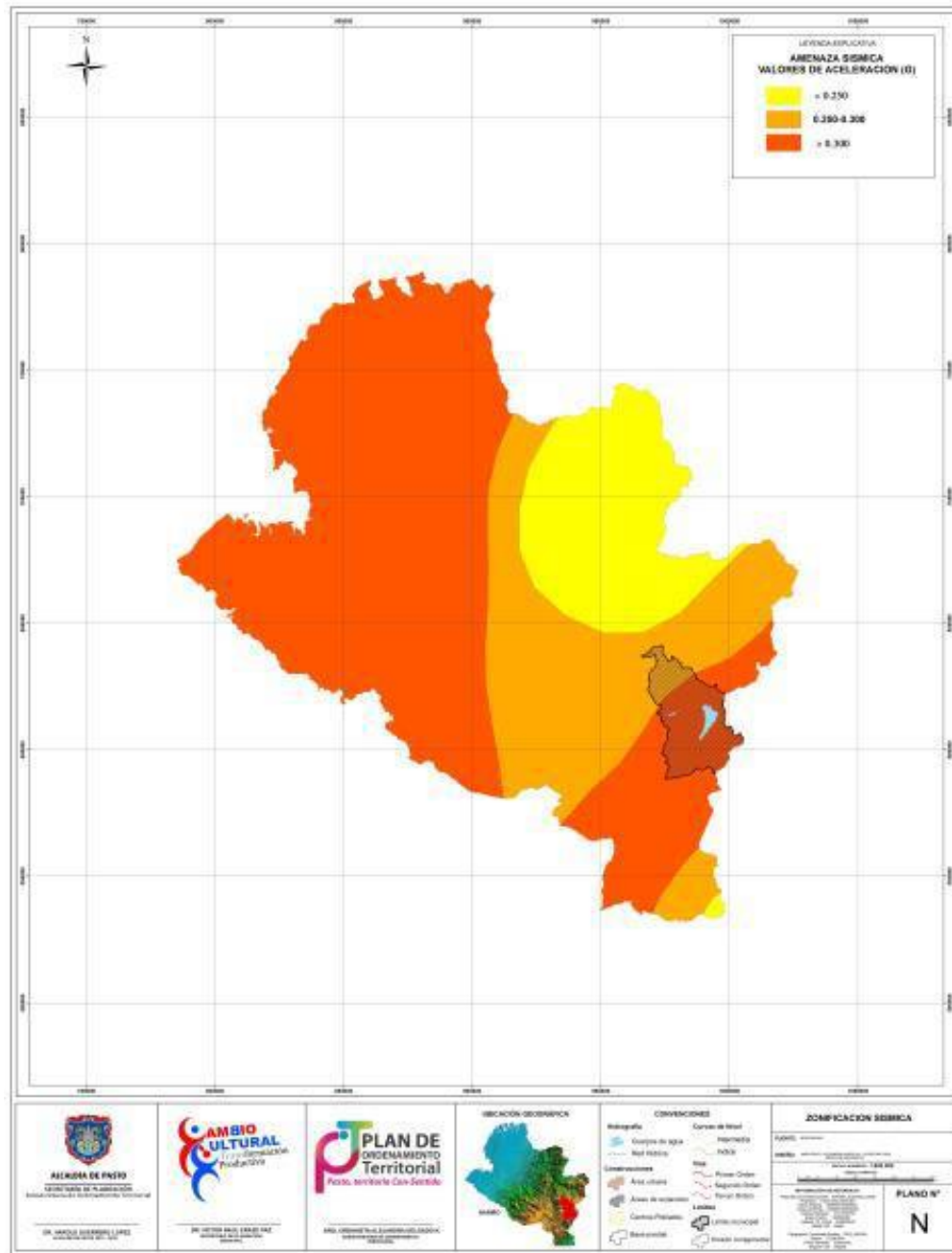


Figura 148. Zonificación de Amenaza Sísmica Plan parcial Metropolitana

Fuente: (Alcaldía Municipal de Pasto, 2013).



#### 4.1.7. Amenaza volcánica.

El Volcán Galeras se encuentra localizado en el Departamento de Nariño, aproximadamente a 9 km al Occidente de la Ciudad de San Juan de Pasto, ver Figura 149, específicamente en las coordenadas 1°13'43,8" Latitud Norte y 77°21'43,8" Longitud Oeste comprendiendo una elevación de 4276 msnm.

Dentro de sus características, el Volcán Galeras es considerado un Estratovolcán caldérico, con diámetro de base de 20 km y diámetro del cráter principal de 320 m y 80 m de profundidad, tomando una forma cónica destruido en la parte Occidental, considerándose este el centro eruptivo y más activo de Colombia denominado Complejo Volcánico Galeras (CVG), debido a su corta recurrencia en periodos de actividad.

Debido a la actividad de las fallas del Sistema Romeral, la cual separa un basamento formado por basaltos y metasedimentos cretáceos al occidente y metamorfitas paleozoicas al oriente, ha contribuido a la formación del Complejo Volcánico Galeras (CVG), el cual consta de diversas fases que se ha denominado a lo largo de la historia como: Cariaco, Pamba, Coba Negra, La Guaca, Genoy, Urcunina y actualmente Galeras.

El Volcán Galeras a lo largo de su historia, con aproximadamente 4500 años ha sufrido erupciones de tipo moderadamente explosivas, de los cuales se tiene registro de actividad eruptiva en los años 4500, 4000, 2900, 2300 y 1100 a.c y la erupción en el año 1866. Desde ese entonces hasta la actualidad la actividad volcánica se ha catalogado Vulcaniana, generando flujos de lava, emisiones de gases y cenizas y flujos piroclásticos que han alcanzado distancias hasta de 9,5 km desde el cráter principal.



Figura 149. Localización Volcán Galeras.

Dentro de los registros de actividad volcánica detallada, considerando diversas formas de actividad desde erupción explosiva hasta flujo piroclástico y bombas, se cuenta con eventos que oscilan desde el año 1535 hasta el 2005, ver Tabla 102.

Tabla 102. Actividad Eruptiva Volcán Galeras.

Fecha (año/mes/día)	Descripción	Magnitud	VEI
1535	Erupción explosiva del cráter central	4	3
1547	Actividad fumarólica	1	
1559-1560	Ciclo eruptivo: lavas, bombas	3	
1574	Fumarolas, explosiones	3	
1580	Erupción explosiva del cráter central	5	4



<b>Fecha (año/mes/día)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Magnitud</b>	<b>VEI</b>
1616	Erupción explosiva del cráter central, lava, represamiento	3	3
1641-1643	Explosión, bombas, lavas	4	4
1687	Erupción	3	2
1696	Erupción	3	3
1727	Erupción	3	3
1754-1756	Erupción	3	2
1796	Erupción explosiva del cráter central, lava		2
1823/06/17	Explosión	3	2
1823/06/24	Erupción	4	2
1828	Erupción explosiva del cráter central	2-3	3
1836	Erupción explosiva del cráter central		2
1865	Explosión	3	3
1866	Flujos lava	3	3
1866 – 1869	Explosión	3	
1869/03/27	Explosión, bombas	3	
1869/07/09	Erupción	3	3
1891	Erupción explosiva del cráter central, lava		2
1923	Erupción explosiva del cráter central		2
1924	Fumarolas, ceniza, sonidos, erupciones, lava y domo	3	3
1925/05/25	Explosiones	3	
1925/07/01	Explosión y bombas	3	
1925/08/04	Explosión, bombas y cenizas	4	4
1925/11/21	Explosión, bombas, lavas, flujos de lodo	4	4
1925/12/31	Explosión, bombas	3	
1926/03/21	Explosión, ceniza	3 - 4	3 – 4
1926/09/17	Explosión, ceniza	3	3
1927	Erupción explosiva del cráter central	1 – 2	
1930	Fumarola, ceniza, ruido, explosiones	2	
1932	Erupciones explosivas del cráter principal		2
1936/02/09	Explosiones	3	2





Fecha (año/mes/día)	Descripción	Magnitud	VEI
1936/08/27	Explosiones, flujo piroclástico, bombas	3	3
1989/05/05	Erupción freática principalmente desde un cráter secundario		2
1992	Erupción explosiva del cráter principal		2
1993/01/14	Erupción explosiva del cráter principal		2
1993/03/23	Erupción explosiva del cráter principal		2
1993/04/04	Erupción explosiva del cráter principal		1
1993/04/13	Erupción explosiva del cráter principal		1
1993/06/07	Erupción explosiva del cráter principal		2
2004/07/16	Emisiones de ceniza desde un cráter secundario		1
2004/07/21	Emisiones de ceniza desde un cráter secundario		1
2004/07/24	Emisiones de ceniza desde un cráter secundario		1
2004/08/11	Erupción explosiva del cráter central		2
2004/10/11	Emisiones de ceniza desde el cráter central		1
2004/11/21	Erupción explosiva del cráter central		2
2005/11/24	Erupción desde el cráter central		1
2005/12/23	Emisiones de ceniza desde el cráter central		1

**\*VEI:** Índice de Explosividad Volcánica

#### 4.1.7.1. Amenaza Volcánica Plan Parcial Metropolitana

Uno de los mayores riesgos que genera el Volcán Galeras a pesar de no ser considerado un Volcán destructivo, está relacionado con el asentamiento de poblaciones en zonas aledañas categorizadas de alta peligrosidad, por lo cual, según el Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Galeras, la zona en estudio Plan Parcial Metropolitana se encuentra localizada en zona de amenaza baja caracterizada por caída de piroclastos de ceniza, con espesores de depósito entre 1 cm y 0,5 mm, que podría afectar además a las áreas de los municipios de Pasto, Tangua, Yacuanquer, Fúnes, Imúes, Guaitarilla, Túquerres, Sapuyes, Iles, Ospina,



Guachucal, Pupiales, Aldana, Cumbal, Gualmatán, Mallama, Ricaurte, Santacruz, Barbacoas, Maguí, Los Andes, La Llanada, Samaniego, Linares, El Peñol, Cum bitara, Policarpa, Taminango, San Lorenzo, Arboleda, El Tambo, La Florida, Chachaguí, Buesaco, Nariño, Sandoná y El Tablón y en el departamento del Putumayo, algunas áreas de los municipios de Colón, Santiago, Sibundoy, San Francisco y Mocoa. Adicionalmente, esta zona también podría ser afecta por ondas de choque, gases y sismos volcánicos.

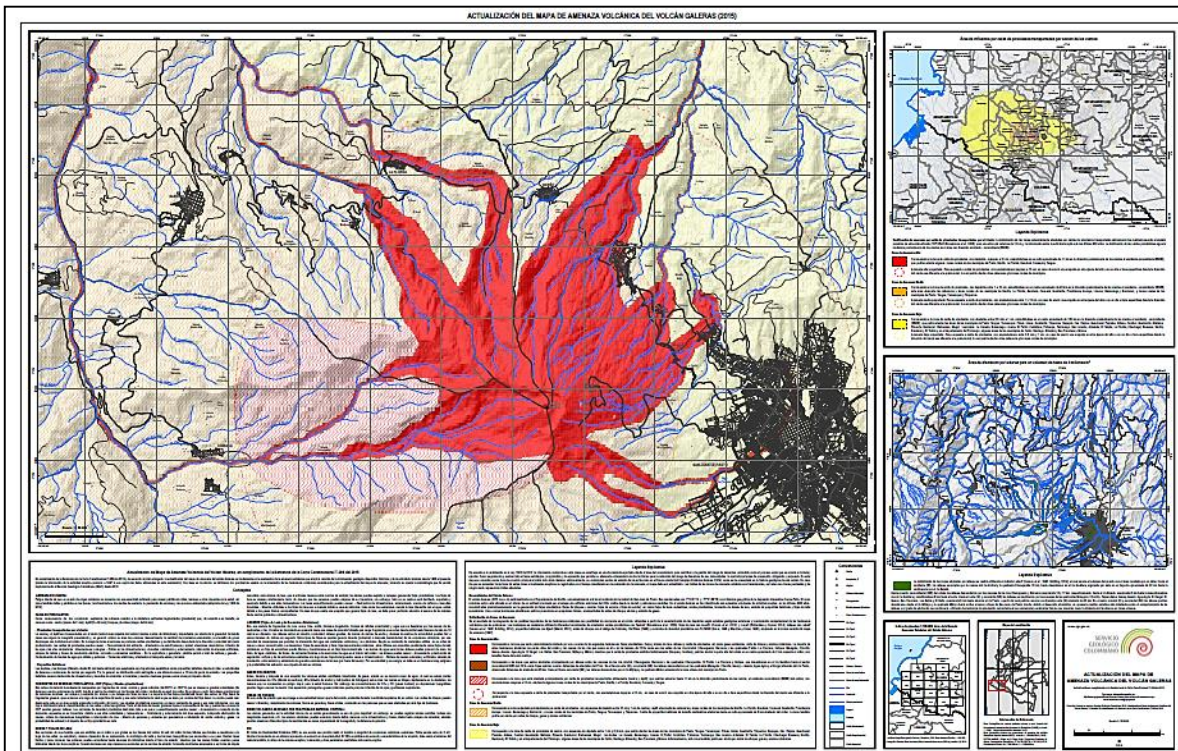


Figura 150. Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Galeras – 2016. Fuente. Observatorio Vulcanológico y Sismológico Pasto ,2017

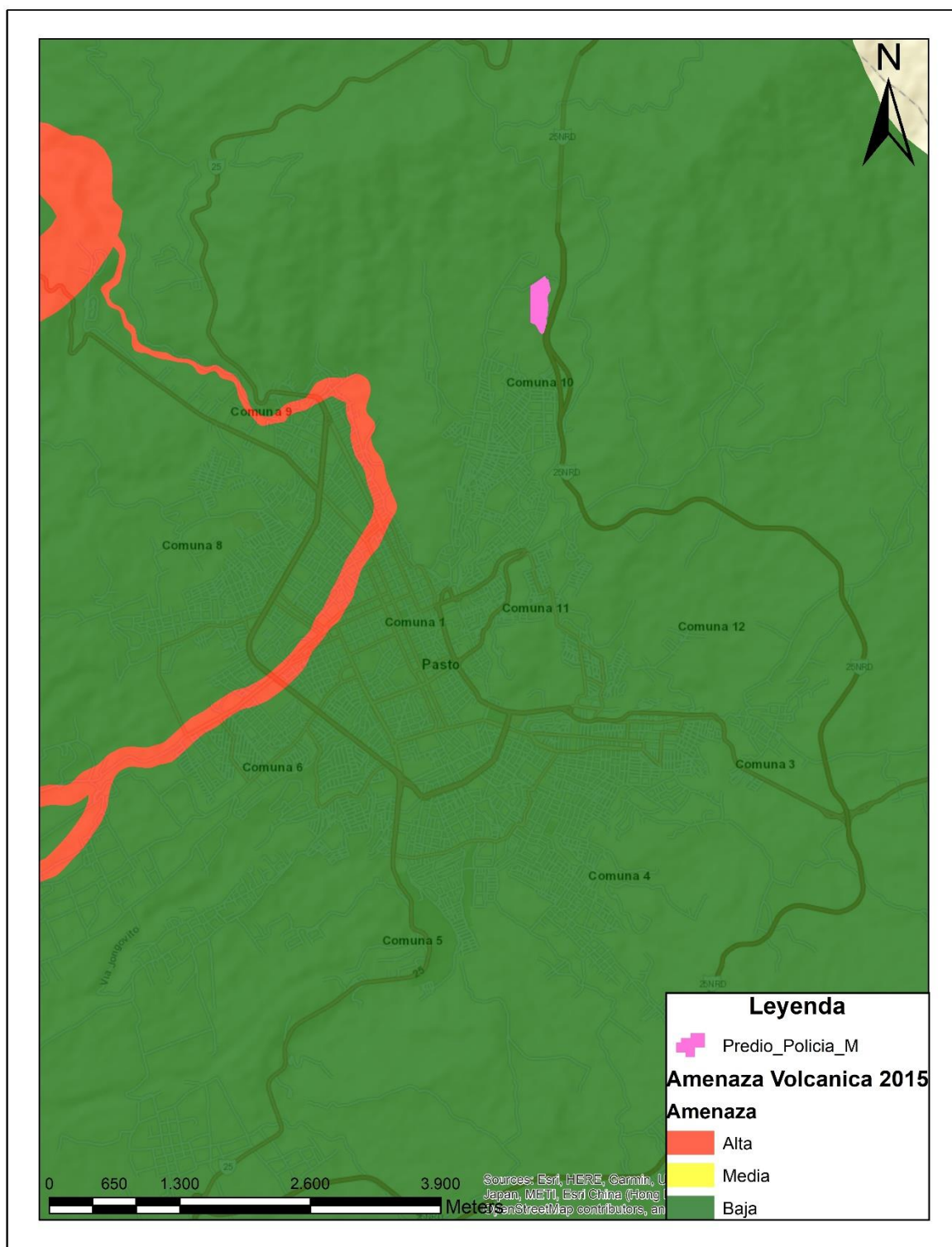


Figura 151. Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Galeras – 2016 y su incidencia sobre el predio plan parcial Metropolitana



#### 4.1.8. Amenaza por subsidencia antrópica-extracción de arena

La subsidencia es un término que hace referencia al hundimiento a largo plazo de la corteza terrestre. Este fenómeno se puede presentar por dos clases de factores naturales o antrópicos. Este es un fenómeno que a pesar de que se desarrolla en una gran área afectada no suele ocasionar víctimas mortales, sin embargo, cuando se presenta en ciudades por causas antrópicas los daños materiales puede llegar a ser cuantiosos, por esta razón este fenómeno es de gran importancia en estas zonas donde se puede originar daños en cualquier infraestructura asentada sobre el terreno que se deforma.

El fenómeno de subsidencia se puede clasificar de acuerdo al mecanismo que lo provoca, como son las actividades extractivas de mineral en túneles subterráneos, la extracción de fluidos (agua, petróleo o gas) acumulados en reservorios subterráneos, el descenso de nivel freático por estiajes prolongados, la disolución natural del terreno y lavado de materiales por efecto del agua, los procesos morfotectónicos y de sedimentación o los procesos de consolidación de suelos blandos u orgánicos.

Este fenómeno se puede evidenciar como un asentamiento de una zona normalmente llana que experimenta un descenso lento y progresivo del terreno sin que se produzca un movimiento horizontal, causado por la consolidación del suelo.

Cuando la deformación y el hundimiento son localizados y de dimensiones reducidas hablamos de un asentamiento, y si se da de manera muy rápida, de colapso. Los hundimientos pueden tener causas naturales (presencia de discontinuidades, disolución, oxidación, compactación, desecación, etc.) o por acciones antrópicas (extracción de recursos geológicos, humidificación excesiva de las arcillas, aumento de la carga, etc.). Este fenómeno geológico es un riesgo natural que afecta a amplias zonas del territorio causando importantes daños económicos y una gran alarma social, sin embargo no suelen ocasionar víctimas mortales.



En definitiva, la subsidencia del terreno es únicamente la manifestación en superficie de una serie de mecanismos subsuperficiales de deformación. Prokopovich (1979) define desde un punto de vista genético dos tipos de subsidencia: endógena y exógena. El primero de estos términos hace referencia a aquellos movimientos de la superficie terrestre asociados a procesos geológicos internos, tales como pliegues, fallas, vulcanismo, etc. El segundo se refiere a los procesos de deformación superficial relacionados con la compactación natural o antrópica de los suelos.

La subsidencia puede también clasificarse en función de los mecanismos que la desencadenan (Scott, 1979). Las actividades extractivas de mineral en galerías subterráneas, la construcción de túneles, la extracción de fluidos (agua, petróleo o gas) acumulados en reservorios subterráneos, el descenso de nivel freático por estiajes prolongados, la disolución natural del terreno y lavado de materiales por efecto del agua, los procesos morfotectónicos y de sedimentación o los procesos de consolidación de suelos blandos u orgánicos, son algunas de las causas de los procesos de subsidencia (Lopez & Gómez, 2014)

Específicamente, en el predio de policía metropolitana no hay evidencia de la presencia del fenómeno debido a la conformación topográfica del predio y soportada por la identificación realizada por el servicio Geológico Colombiano en la ciudad de Pasto, en donde el predio se encuentra excluido de los polígonos susceptibles ante el fenómeno, razón por la cual el análisis de esta amenaza no se considera en el documento, ver Figura 152

#### 4.1.8.1. Amenaza por subsidencia Plan Parcial Policía Metropolitana

La categorización de la amenaza por subsidencia, específicamente debido a la presencia de túneles de extracción de arena en el municipio de Pasto no se encuentra realizada, sin embargo a nivel de identificación de presencia del fenómeno el servicio Geológico Colombiano ha realizado la ubicación de estas áreas, siendo el predio de



plan parcial metropolitana excluido de dichos polígonos razón por la cual el análisis de esta amenaza no se considera en este documento puesto que como tal no existe dicho fenómeno amenazante en el predio, lo cual es rectificado por la conformación del predio y su dificultad para realizar algún tipo de extracción subterránea lo cual es verificado en campo, ver Figura 152

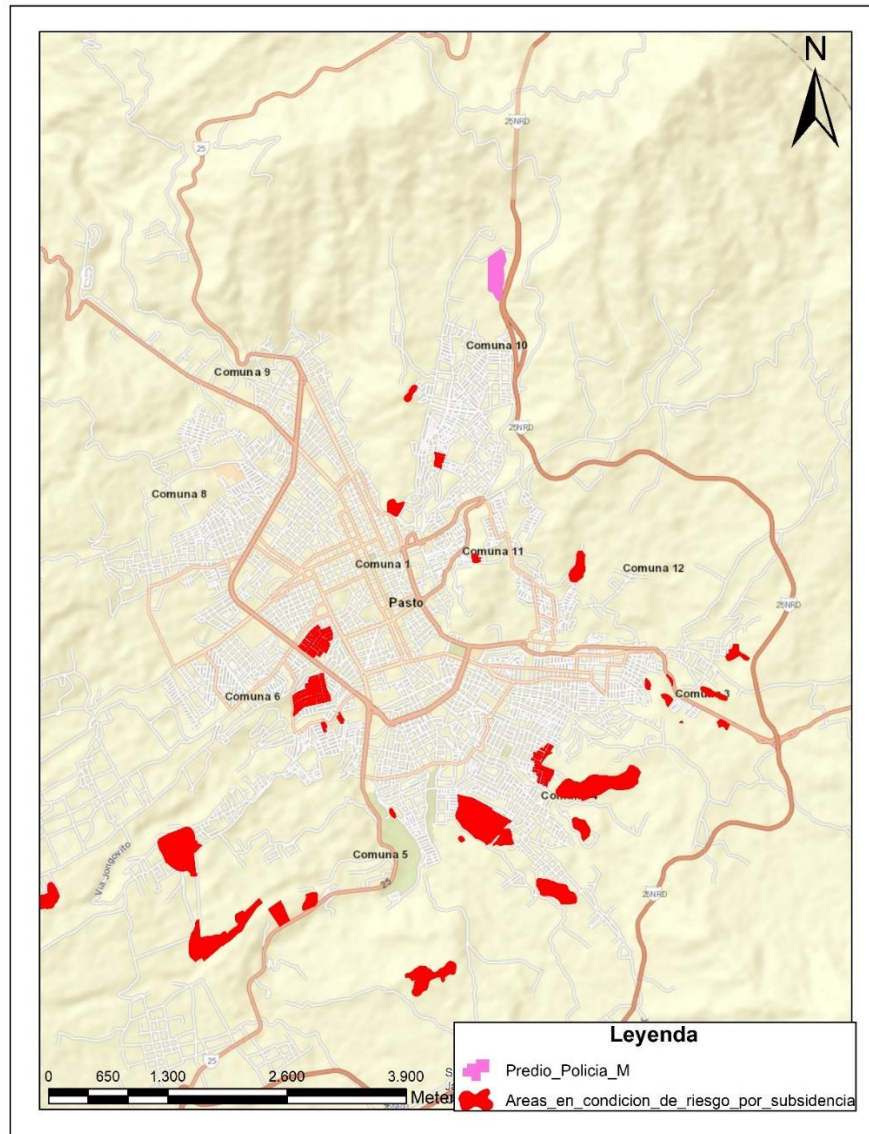


Figura 152. Localización de áreas afectadas por extracción de arena en forma subterránea



## 4.2. Elementos expuestos.

La identificación de elementos potencialmente expuestos, en este caso, está asociado al desarrollo urbano propuesto en el plan parcial metropolitana mostrado en la Figura 118, para mayor detalle remitirse a este acápite. Considerando que es una propuesta de ocupación que en fases posteriores tendrá la disposición arquitectónica de sus elementos se asumirá como condición crítica que toda el área propuesta para desarrollo urbano tendrá uno o varios elementos expuestos sujeto del análisis de vulnerabilidad.

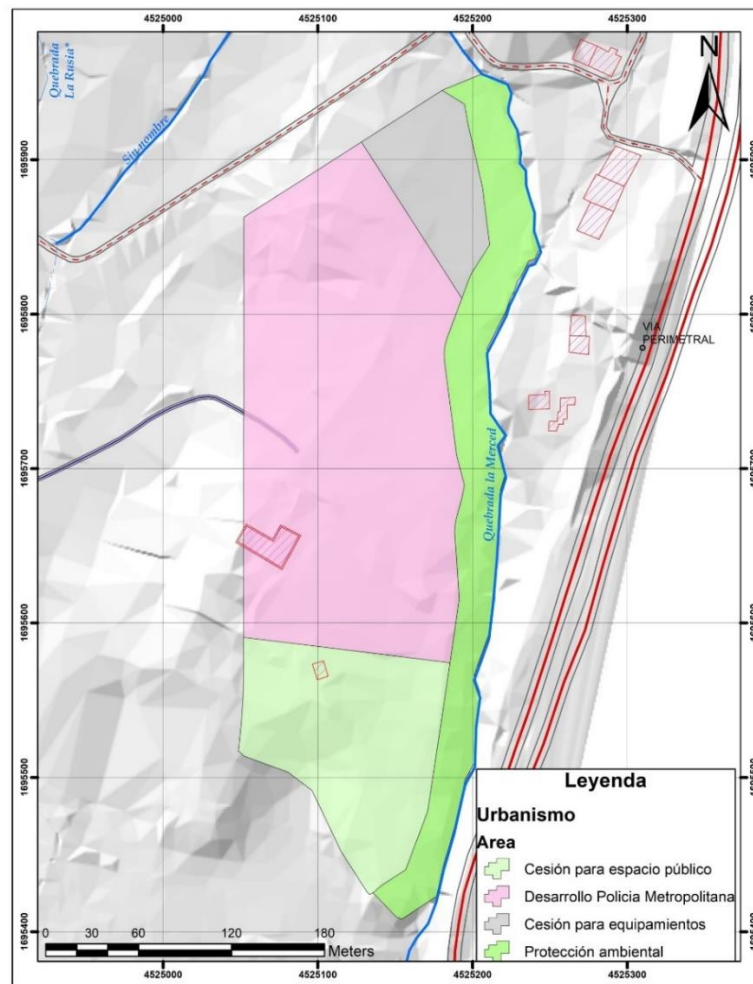


Figura 153. Áreas de desarrollo del plan parcial Metropolitana



#### 4.3. Vulnerabilidad.

Para la valoración de la vulnerabilidad en el proyecto es necesario inicialmente comprender su significado, siendo esta entendida como un conjunto de elementos, sean ellos seres vivos o infraestructura, que pueden ser afectados por el evento de amenaza. En ese sentido, es importante plantear dos conceptos básicos para el entendimiento de la vulnerabilidad física (otro tipo de vulnerabilidades como la sociocultural no son abordadas en el presente estudio): exposición y resistencia.

La exposición se entiende como la coincidencia física entre los elementos con el espacio donde se expresa la amenaza, mientras que la resistencia se refiere a si la infraestructura o los materiales o la manera en que el elemento se ha construido puede resistir las presiones o fuerzas que le imprimen la amenaza.

Refiriéndose a la resistencia, ésta se relaciona con el daño potencial o grado de afectación que puede sufrir un elemento o sistema que se encuentra expuesto a una amenaza, la cual puede identificarse a partir del nivel de exposición a este evento amenazante, la magnitud del daño que puede causar dicho evento, así como la resiliencia que tiene la población o el bien afectado (CORNARE, 2012).

Por tanto, para un evento de inundación o avenida torrencial, la vulnerabilidad dependerá de las personas expuestas, los activos y la infraestructura, como de la magnitud del peligro. Esta magnitud se refiere primordialmente a variables físicas como la profundidad del flujo, velocidad, presión o duración del evento. En el caso de movimientos en masa, la vulnerabilidad dependerá del peso de la masa involucrada y su velocidad de movimiento.

A continuación, se presenta el análisis de vulnerabilidad por los fenómenos amenazantes en los cuales se cumpla dos criterios fundamentales: que la amenaza en el estudio básico (Remoción en masa) o detallado (inundación y flujo torrencial)





sea considerada media o alta y que haya exposición al fenómeno con base en la propuesta urbanística. Si alguno de estos elementos no se cumple, no se realizará el análisis debido a que no generaran una condición de riesgo para el predio en cuestión.

Tabla 103. Criterios de los fenómenos amenazantes para análisis de vulnerabilidad

<b>Fenómeno</b>	<b>Categorización de Amenaza-Estudio Básico-detallado</b>	<b>Exposición al área de desarrollo del predio</b>	<b>Requiere análisis de Vulnerabilidad</b>
Remoción en Masa	Baja	No Existe	No
Inundaciones Q. La merced	Alta-Media-Baja	Si existe	Sí
Inundaciones Q. La Rusia	Media-Baja	No existe	No
Flujo Torrencial Q. La merced	Alta-Media-Baja	Si existe	Sí
Flujo torrencial Q. La Rusia	Alta-media-baja	No existe	No

Dado los alcances de la propuesta arquitectónica para el desarrollo del plan parcial metropolitana, la cual no genera información detallada en cuanto a las características de las futuras edificaciones, se establece que la vulnerabilidad ante inundaciones y flujos torrenciales en la quebrada La Merced es alta (como condición crítica) en toda el área expuesta al fenómeno con categoría de amenaza alta, media y baja.

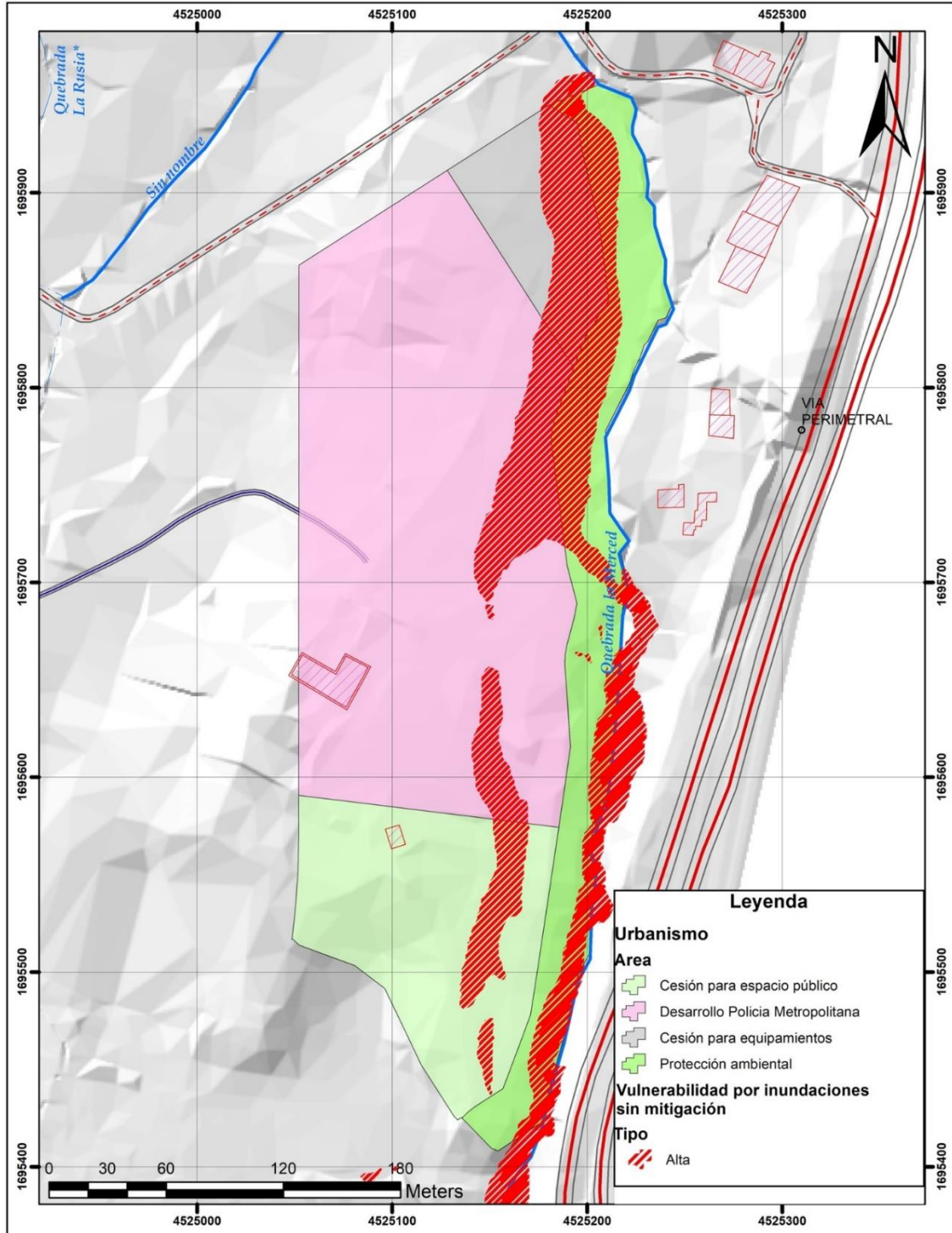


Figura 154. Vulnerabilidad ante inundaciones.

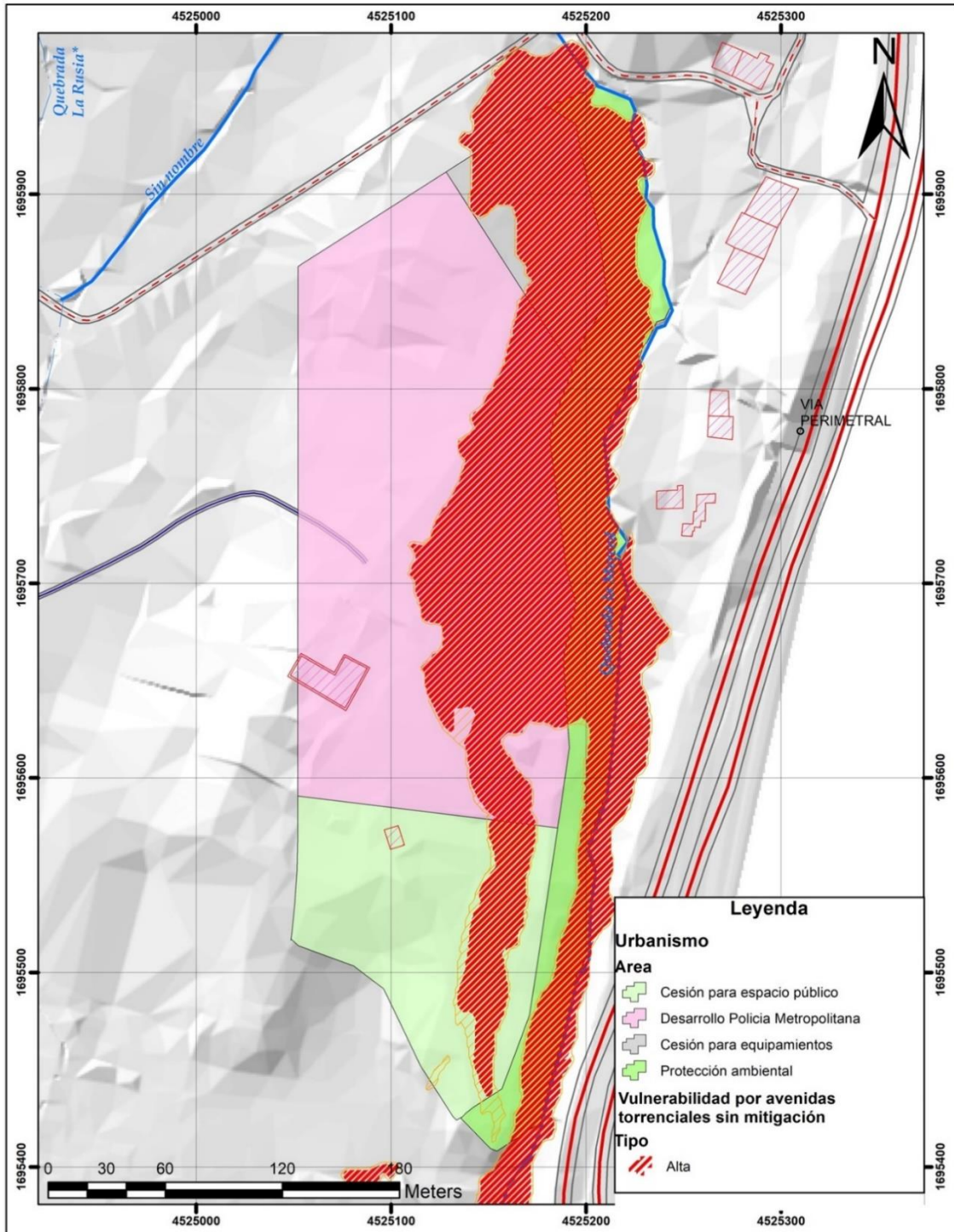


Figura 155. Vulnerabilidad ante Flujo torrencial.



#### 4.4. Riesgo por avenidas torrenciales e inundaciones.

El riesgo se da cuando confluyen la amenaza y la vulnerabilidad, es decir, cuando en el espacio geográfico donde se expresa la energía de un evento natural o inducido existen elementos vivos o de infraestructura que pueden ser afectados. La afectación puede ser por destrucción total o parcial, pérdida de vidas, heridas, disminución o pérdida de actividades económicas, entre otras.

Con base en la valoración de amenaza y de vulnerabilidad se realizó el análisis de riesgo de acuerdo con la matriz cualitativa presentada en la Tabla 104. Los resultados de la categorización del riesgo se presentan en la Figura 128 y Figura 129.

Tabla 104. Matriz de valoración para estructuras del riesgo cualitativo para avenidas torrenciales e inundación

		Vulnerabilidad		
		Baja	Media	Alta
Amenaza	Baja	Bajo	Bajo	Medio
	Media	Bajo	Medio	Alto
	Alta	Medio	Medio	Alto

Considerando que existe riesgo alto en el predio, se procederá a definir si este es mitigable o no, en este caso desde la viabilidad técnica y financiera de medidas estructurales como obras de contención para la reducción de la amenaza, las cuales se detallan en el siguiente acápite.

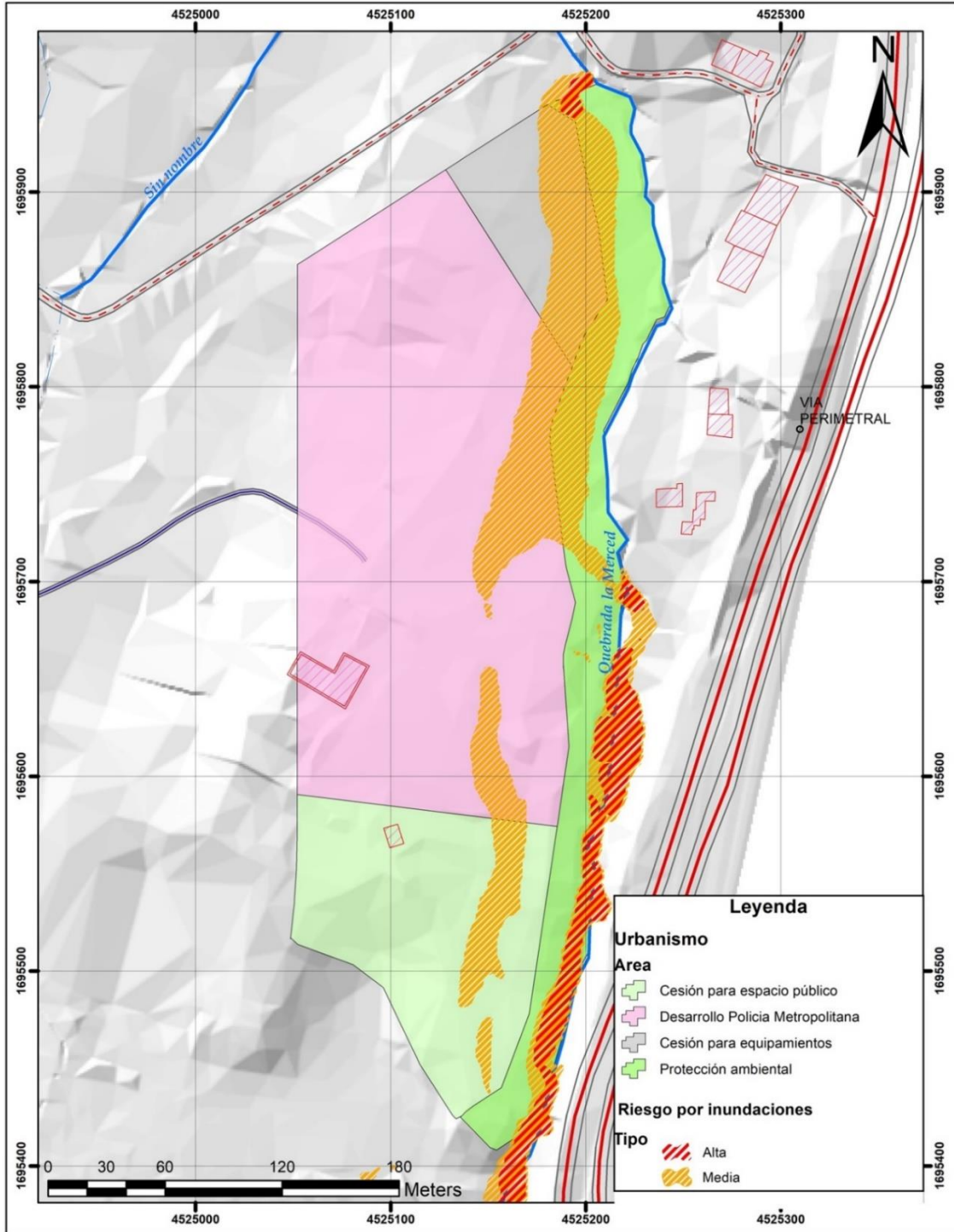


Figura 156. Riesgo ante inundaciones

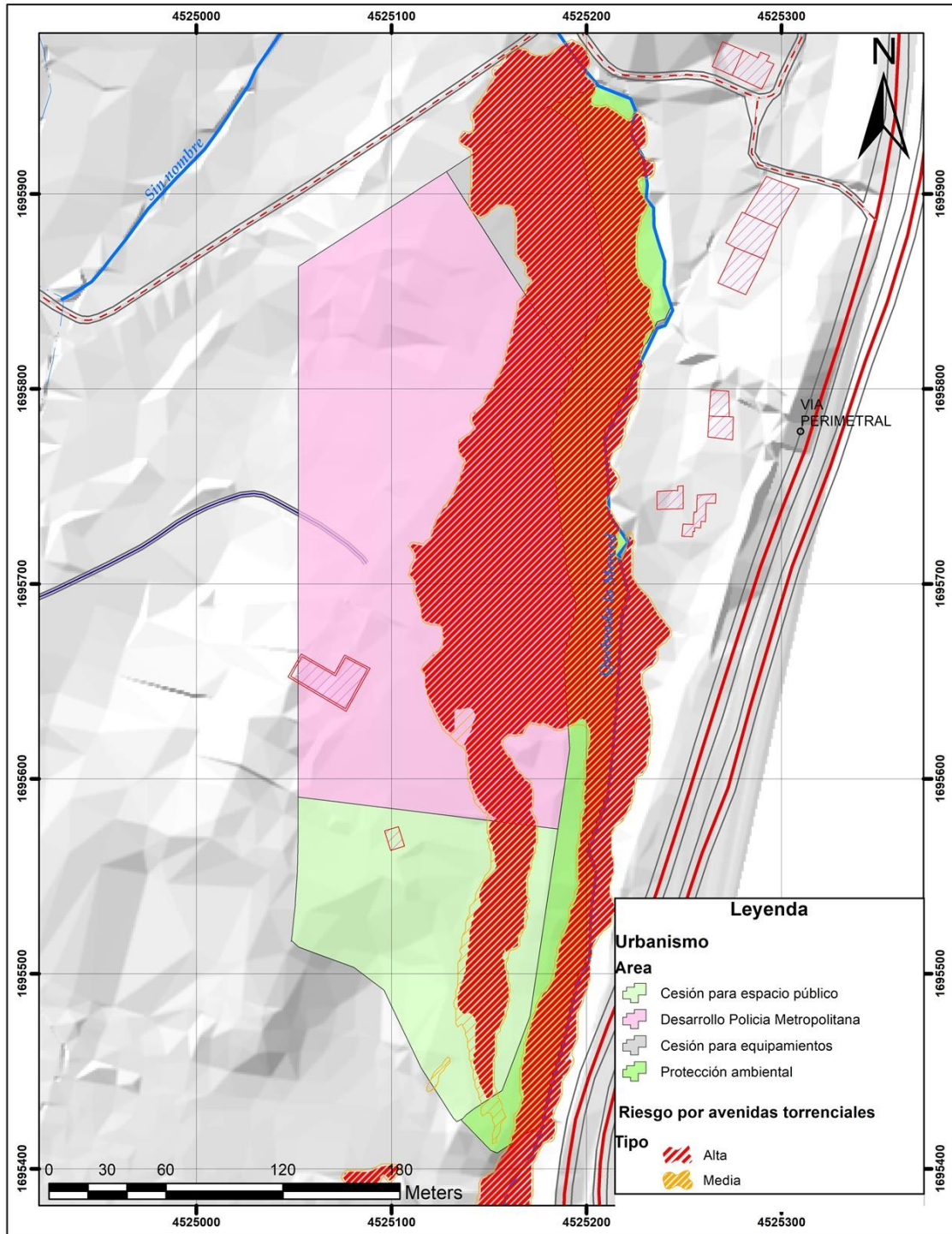


Figura 157. Riesgo ante Flujo Torrencial.



#### 4.4.1. Medidas de mitigación del riesgo.

##### 4.4.1.1. Tipología general de obras de mitigación, pre-diseño y presupuesto estimado del estudio.

El análisis de las amenazas en el Plan Parcial Policía Metropolitana, así como la evaluación de vulnerabilidad y riesgo asociado a los fenómenos naturales relacionados con los movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones hacen relevante la inclusión de las medidas de mitigación y presupuesto estimado.

En este documento se expone el marco conceptual en el cual se analizaron las propuestas de medidas de mitigación, se enuncian las posibles acciones que podrían ser adelantadas y se profundiza en aquellas medidas de mitigación y control de la amenaza consideradas ideales de acuerdo con el alcance del Plan Parcial.

En el presente estudio no se encuentran las especificaciones de construcción de obras que corresponden a la fase de diseño por lo cual se aclara que para poder estimar un presupuesto es necesario fijar algunos parámetros técnicos, es decir, pensar en especificaciones de la obra tipo, lo que no quiere decir que sean las especificaciones en sentido estricto.

##### 4.4.1.2. Marco Conceptual

En desarrollo del presente documento fueron analizadas las medidas de mitigación teniendo en cuenta las bases del denominado “Sistema de prevención y control de



avenidas torrenciales o avalanchas”, diagrama<sup>8</sup> basado en Fiebiger (1997)<sup>9</sup> el cual ha sido analizado y adaptado en este estudio para cubrir metodológicamente las alternativas de mitigación a proponer. El diagrama se observa en la Figura 158.

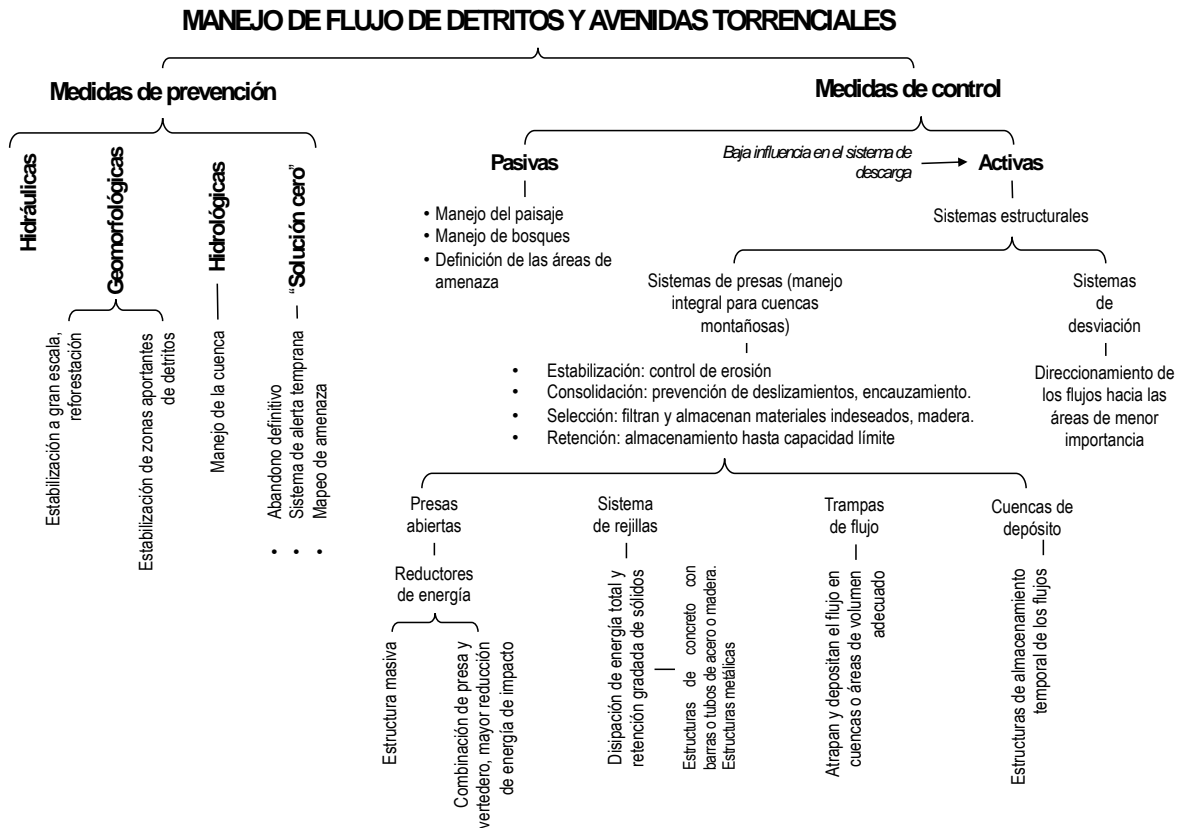


Figura 158. Diagrama para el análisis de alternativas de mitigación de las amenazas por avenidas torrenciales. Fuente: Modificado de “Sistema de prevención y control de avenidas torrenciales o avalanchas. (Elaborado por IGL, basado en Fiebiger, 1997)”.

<sup>8</sup> Diagrama Elaborado por IGL, modificado en este estudio de la presentación del Ingeniero Manuel García López, I.C., MSCE – “Primer Seminario de Ingeniería Geotécnica sobre Amenaza, Vulnerabilidad y Gestión del Riesgo”. Ibagué, noviembre 9 de 2017. -

<sup>9</sup> Fiebiger, G (1997). Structures of debris flow countermeasures. In: C-L Chen (ed), Debris flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment: Proceeding of 1st International Conference. San Francisco (pp. 596-605) American Society of Civil Engineers, New York.





Con base en el diagrama anterior se proponen las siguientes acciones dentro de las medidas de prevención enfocadas a la mitigación en el origen de las amenazas de inundaciones y avenidas torrenciales.

#### 4.4.1.3. Medidas de prevención

Conceptualmente se encuentran diferentes tipos de medidas de prevención, las cuales deben analizarse de manera detallada de acuerdo a las particularidades de afectación por los diferentes fenómenos amenazantes. Entre las medidas de prevención se encuentran las siguientes alternativas:

##### **Hidráulicas**

- Realización de visitas de inspección a sitios de posible almacenamiento de materiales en el cauce.
- Realización de visitas de seguimiento a obras.
- Evaluación de operación de estructuras hidráulicas a lo largo de los cauces.

##### **Hidrológicas**

- Monitoreo hidrológico de corrientes afluentes del río Pasto (mediciones de caudales sólidos y líquidos).

##### **Geomorfológicas**

- Diseño de los corredores ecológicos, barreras vivas y obras que limiten el área máxima de posible afectación, reglamenten la ronda y una zona de preservación y manejo ambiental y/o de riesgo.
- Estudios y diseños de obras de contención y estabilización de taludes de las diferentes corrientes en atención a la geomorfología de la zona.



- Definición de los corredores de drenaje de flujos máximos en caso de emergencia.

### **Denominadas “SOLUCIÓN CERO”**

- Evaluación de áreas críticas de inundación que sean compatibles con zonas de protección y donde no se requiera de intervención para preservar la estabilidad del cauce minimizando los daños a los ecosistemas.
- Delimitación de las zonas de ronda y sus drenajes.

#### **4.4.1.4. Medidas de control**

Las medidas de control aquí enunciadas hacen parte del análisis efectuado. Como se mencionó en la introducción a este informe, posteriormente se presentará la sugerencia de obras a implementar con su respectivo presupuesto.

Como se presenta en la Figura 158, dentro de las medidas de control se encuentran las denominadas pasivas<sup>10</sup> y las activas<sup>11</sup>, estas últimas aunque necesarias en algunos casos, son consideradas de baja influencia en el sistema de descarga.

Acorde al alcance de este estudio las medidas aquí indicadas obedecen a tipologías que deberán ser estudiadas en detalle a nivel de diseño.

---

<sup>10</sup> Las medidas pasivas de mitigación de avenidas torrenciales (flujo de detritos) son medidas de identificación, reconocimiento y seguimiento y se utilizan para reducir la pérdida potencial, por ejemplo, al alterar el carácter espacial y temporal del deterioro producido por las avenidas torrenciales o la vulnerabilidad asociada. Vale la pena recordar que la vulnerabilidad a un desastre puede cambiarse con la planificación del uso de la tierra, como la cartografía de amenazas o mediante la respuesta inmediata al desastre.

<sup>11</sup> Las medidas activas de mitigación de avenidas torrenciales (flujo de detritos) pueden afectar el transporte inicial o la depositación de los flujos y, por lo tanto, pueden cambiar su magnitud y características de frecuencia. Esto se puede lograr cambiando la capacidad de aparición de un flujo (gestión de disposición) o del flujo en sí mismo (gestión de eventos).



#### 4.4.1.5. Pasivas

- Monitoreo y diagnóstico de áreas afectadas por obstrucción de los cauces.
- Realineamientos de cauces naturales, dragado de mantenimiento y reforestación de márgenes.
- Monitoreo de calado mínimo de cauces.
- Diseños geotécnicos e hidráulicos de obras de estabilidad de márgenes.
- Delimitación de zonas de protección ambiental y de riesgo. Generación de zona de protección y manejo ambiental.
- Diseños de obras de protección marginal de cauces.
- Diseño de obras de estabilización de márgenes y canalización.
- Evaluación económica de las obras de mitigación y manejo ambiental requeridas.
- Evaluación económica del aseguramiento de la infraestructura estratégica en amenaza.

#### 4.4.1.6. Activas.

- SISTEMA DE PRESAS - Trampas de flujo

Construcción de trampas de flujo en los tramos previos a los sitios de ocupación, última barrera para retención de materiales con sobretamaños o empalizadas que transiten aún por el cauce.

- SISTEMA DE PRESAS - Cuencas de depósito

Destinación de áreas aferentes a los cauces previos a los sitios de ocupación, que eventualmente pueden funcionar como sitios de alivio o depósito retenido temporalmente del flujo (o parte del mismo) que transita por el cauce.



- SISTEMA DE DESVIACIÓN – Vertedero a cuenca aferente o derivación de flujo.

Construcción de un vertedero de excesos lateral al cauce de forma que parte del caudal que eventualmente pueda concentrarse en el cauce principal y supere temporalmente su capacidad (durante eventos no previsibles, por ejemplo), pueda encontrar alivio en una descarga segura (sitios de cambio brusco de dirección del flujo).

- SISTEMA DE DESVIACIÓN – Canal de descarga y confluencias de flujos

Conformación de un canal exclusivo para el tránsito de los flujos bajo criterios de riesgo (capacidad y geometría) y ambientales (restitución del cuerpo de agua) de forma que las avenidas torrenciales transiten sin obstrucciones y sin riesgo para los habitantes de las ciudades y centros poblados.

Tratándose de cuencas con respuestas hidrológicas similares en caudales y tiempos, es necesario generar en los cauces la mayor capacidad hidráulica de forma que los flujos ocupen el cauce determinado y eventualmente un sobre ancho establecido para el evento extremo establecido.

- SISTEMA DE DESVIACIÓN – Protección del cuerpo receptor

El cuerpo receptor corresponde a la cuenca del río Mocoa, contemplar la adecuación del tramo necesario para la recepción de eventuales flujos por avenidas torrenciales sin generar riesgo a las comunidades. Estas intervenciones se diseñan para eventos simultáneos extremos (muy baja probabilidad) de muy alto impacto en términos de pérdidas de vidas humanas, materiales y de ecosistemas asociados.



#### 4.4.2. Medidas estructurales

Considerando las características de la amenaza y el riesgo por los fenómenos de inundación y avenidas torrenciales que se presentan en el Plan Parcial Policía Metropolitana se plantean alternativas viables tanto técnica como financieramente, las cuales clasifican como riesgos mitigables los presentes en el área de estudio.

Teniendo en cuenta las particularidades de la quebrada la Merced y su cuenca de aporte, se considera adecuado plantear unas medidas de control pasivas. A continuación, se especifica el Plan de Obras que atiende las necesidades específicas técnicamente prioritarias para los fenómenos de avenidas torrenciales e inundaciones, que son los que requieren de medidas de mitigación, además se debe tener en cuenta que los predimensionamientos fueron determinados a partir de los resultados de las modelaciones realizadas en el presente estudio.

##### 4.4.2.1. Inundaciones y avenidas torrenciales

Para disminuir los impactos que puede presentar la quebrada La Merced, se requiere de obras de protección longitudinales para lograr mantener de forma segura el flujo de agua dentro de los cauces protegiendo las bancas de los mismos, especialmente donde el flujo tiende a desbordar debido a cambios bruscos de dirección o por falta de capacidad hidráulica actual del cauce.

La ubicación de las obras mencionadas anteriormente en el Plan Parcial Policía Metropolitana se puede observar esquemáticamente en la Figura 159.

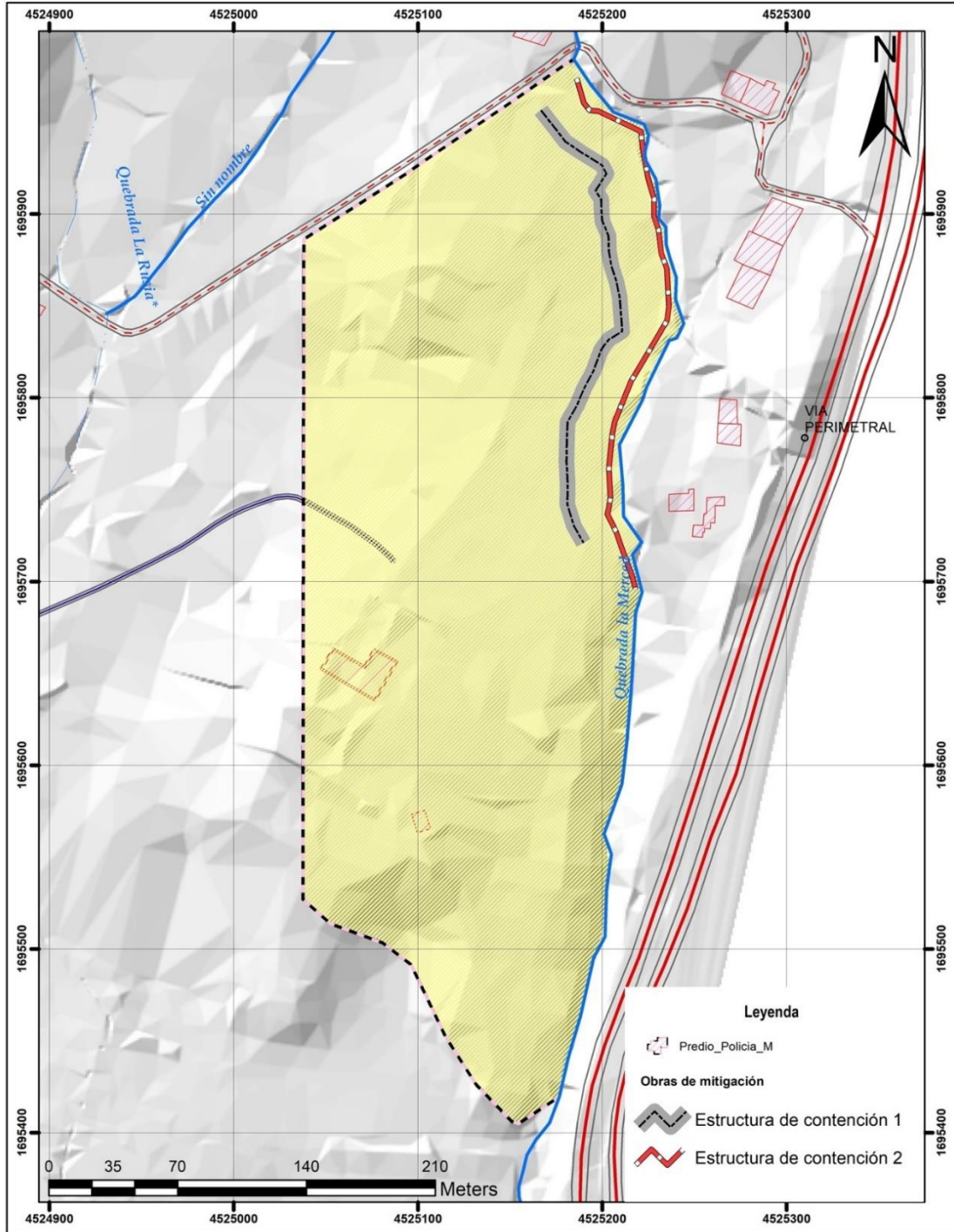


Figura 159. Ubicación obras de protección longitudinal.  
Fuente: Elaboración propia



Las estructuras de contención y protección se plantean en jarillones y corresponden a medidas en las cuales sea necesario que las márgenes o bancas de las corrientes sean mayormente susceptibles a erosión o que requieran de una definición de su curso natural ante la ocurrencia de mayores niveles de flujo para evitar así afectaciones en el desarrollo urbano.

El manejo de avenidas torrenciales e inundaciones se orienta a garantizar la capacidad hidráulica para el transporte del flujo.

**Alternativa 1.** Se propone una estructura de contención al borde de la quebrada (Estructura de contención 2) en jarillones empedrados geotécnicamente diseñados, los cuales van a tener una altura de 2 metros de alto, esto va a garantizar el transporte del flujo relacionado a un periodo de retorno de 2 años, y una estructura de contención en jarillones que se localizan en el borde de la ronda hídrica de protección de la quebrada La Merced (Estructura de contención 1), los cuales van a tener una altura de 2.5 metros, esto permitirá el tránsito del flujo relacionado a un periodo de retorno de 100 años.

**Alternativa 2.** Se propone realizar la rectificación del cauce, esto va a garantizar el transporte del flujo relacionado a un periodo de retorno de 2 años, y una estructura de contención en jarillones que se localizan en el borde de la ronda hídrica de protección de la quebrada La Merced (Estructura de contención 1), los cuales van a tener una altura de 2.5 metros, esto permitirá el tránsito del flujo relacionado a un periodo de retorno de 100 años.

Este tipo de estructuras de contención garantizan la protección de la infraestructura a desarrollarse en el área del Plan Parcial Policía Metropolitana y deben construirse como medidas de mitigación en armonía con el medio ambiente.



#### 4.4.2.2. Prediseño geotécnico de las estructuras.

Una vez planteadas las obras que se considera son las más adecuadas para el control de las avenidas torrenciales e inundaciones desde el punto de vista hidráulico – geotécnico, se procede con el prediseño de las estructuras, las cuales se plantea en este estudio sean construidas en jarillones por las siguientes ventajas que presentan:

- Está comprobada la funcionalidad de este tipo de obras a nivel internacional en lugares que han sido afectados por avenidas torrenciales y posteriormente se han implementado éstas como medidas de mitigación.
- Se tiene disponible el material a usar en las obras en fuentes cercanas.
- La inversión inicial y mantenimiento son económicos en comparación con las obras en concreto u otros materiales.
- Se genera un beneficio e impacto social muy favorable al poder vincular un número importante de personas como mano de obra local en la ejecución de las obras.
- En el caso de requerirse ampliaciones de las estructuras en ancho o altura, por ejemplo, pueden ser implementadas de forma ágil y con una demanda mínima de estudios y cálculos.

Se expusieron las numerosas ventajas de este tipo de obras en jarillones, pero para una adecuada toma de decisión además de los estudios técnicos para construcción, es igualmente necesario relacionar en este mismo contexto las deficiencias que pueden tener en su aplicación, las cuales son muy relevantes y por ende deben ser igualmente valoradas:

- Con el paso del tiempo, este tipo de obras requieren de mayor control en mantenimiento a fin de brindar la continuidad requerida para su operación segura.





- En la cara expuesta al paso de las avenidas torrenciales, flujos y crecidas hidrológicas, las obras pueden requerir de revestimientos mediante elementos adicionales tipo concreto o piedra pegada que permita reducir la ocurrencia de afectaciones por abrasión en el tiempo.

A continuación, se presentan los aspectos geotécnicos requeridos en el prediseño de las estructuras y poder así evaluar los costos generales de las intervenciones. Teniendo en cuenta los análisis realizados se plantean dos posibles soluciones:

- Jarillones como estructura de contención 1 y 2.
- Jarillones como estructura de contención 1 y realizar una rectificación del cauce de la quebrada La Merced en una longitud de 310 metros.

#### 4.4.2.3. Prediseño jarillones.

Se propone la implementación de un jarillón como estructura de contención 1, para lo cual se requiere que tenga una altura de 2.5 metros y una longitud de 266 metros y unos jarillones de 2 metros de altura y una longitud de 310 metros.

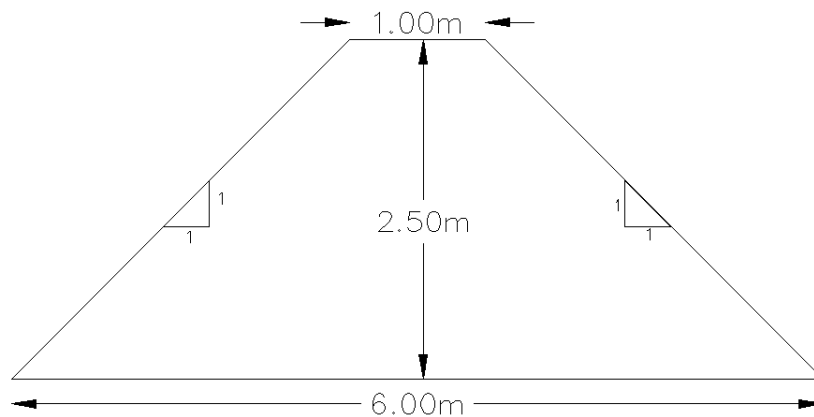


Figura 160. Obra de contención 1 tipo jarillon.  
Fuente: Elaboración propia

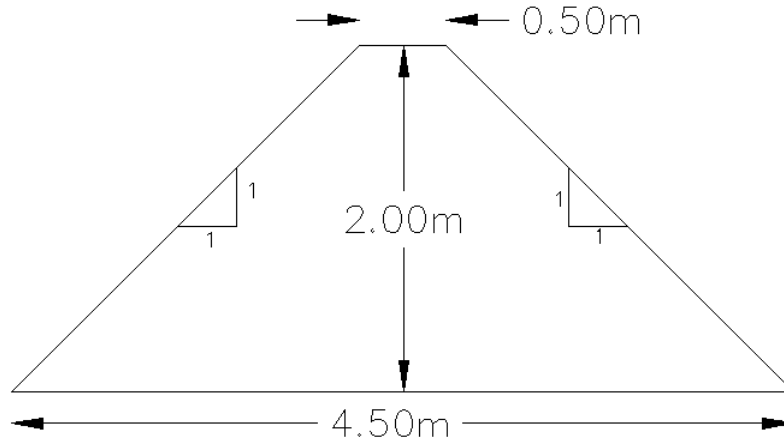


Figura 161. Obra de contención 2 tipo jarillon.  
Fuente: Elaboración propia

Se recomienda la construcción de un jarillón de cuerpo homogéneo el cual está conformado por material de préstamo y compactado por capas, la configuración del jarillón debe estar cubierta por material vegetal tipo césped.

#### 4.4.2.4. Rectificación del cauce de la quebrada La Merced.

Teniendo en cuenta el perfil longitudinal elaborado con el levantamiento topográfico, se observa que el cauce de la quebrada presenta contrapendientes, además de identificar en campo que el cauce se encuentra con presencia de ramas de árboles y vegetación que ocupa la sección transversal impidiendo el flujo transcurra libremente, una alternativa es implementar una rectificación en el cauce, definiendo una sección transversal de la quebrada y homogenizando la pendiente, esto permitirá que el flujo máximo generado por una avenida torrencial en un periodo de retorno de 2 años se mantenga sobre el cauce y no se desborde, para eventos extremos asociados a un periodo de retorno de 100 años el flujo será contenido por medio de la estructura de contención 1.

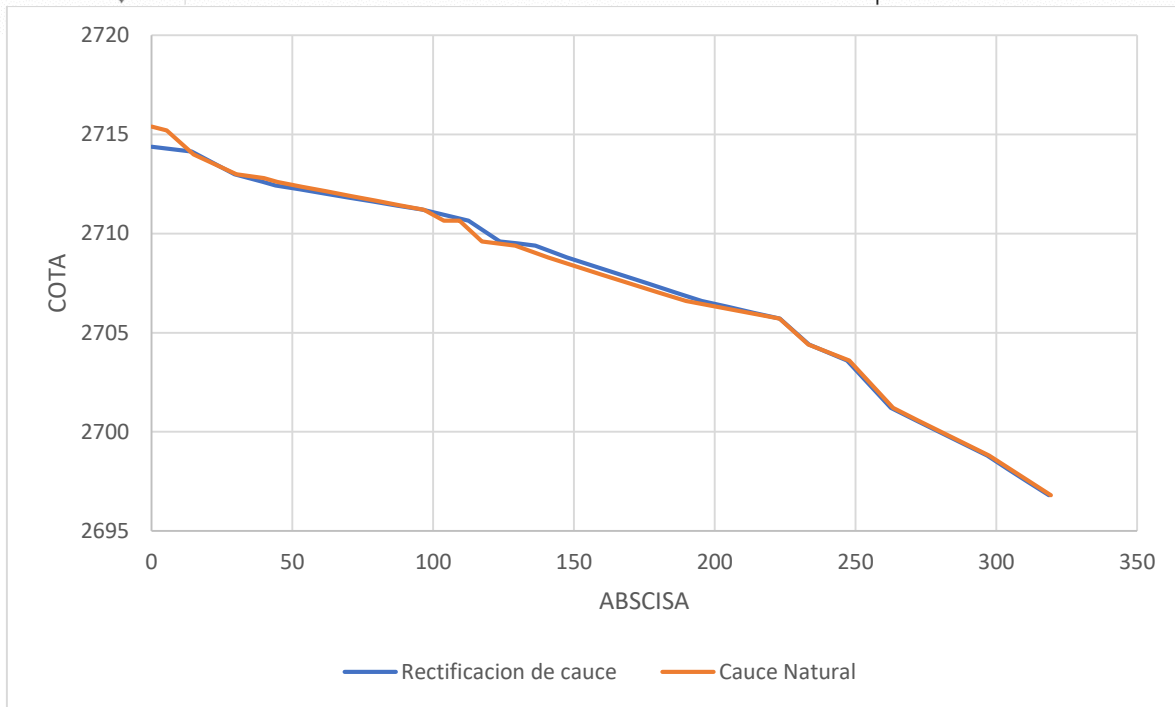


Figura 162. Obra de contención 2 tipo Jarillón.  
Fuente: Elaboración propia

En la rectificación del cauce en los 310 metros se presentan las pendientes de la Tabla 105 en las cuales fueron verificadas las condiciones hidráulicas para su funcionamiento.

Tabla 105. Pendientes para la rectificación del cauce.

<b>Pendiente m/m</b>	<b>Pendiente %</b>	<b>Tirante normal (y)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
0.001	0.1	0.95	1.50
0.002	0.2	0.9	1.95
0.003	0.3	0.88	2.27
0.004	0.4	0.85	2.53
0.005	0.5	0.81	2.74
0.006	0.6	0.77	2.93
0.008	0.8	0.71	3.27
0.009	0.9	0.69	3.41
0.01	1	0.67	3.54



Pendiente m/m	Pendiente %	Tirante normal (y)	Velocidad (m/s)
0.017	1.7	0.59	4.31

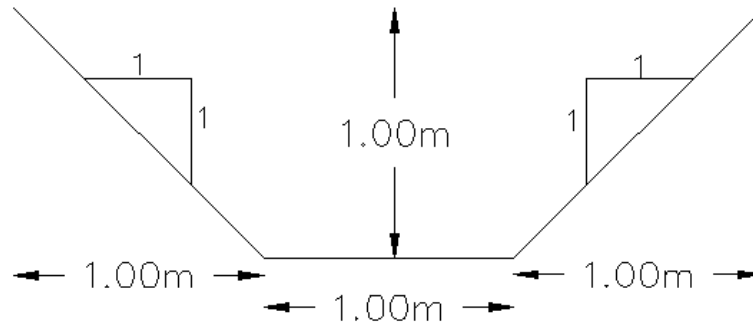


Figura 163. Geometría para la rectificación del canal.  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.3. Presupuesto de obras.

Se efectuó una investigación de costos en la región donde se tomaron referencias en la ciudad de Pasto.

##### 4.4.3.1. Presupuesto jarillones.

Longitud estructura de contención 1. Jarillón de 2.5 metros de altura. = 266 mts.

Volumen estructura de contención 1. Jarillón de 2.5 metros de altura. = 2375.5 m<sup>3</sup>

Tabla 106. Costo construcción de estructura de contención Jarillón 1.

ITEM	COMPONENTE O ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
<b>I.</b>	<b>PRELIMINARES</b>				
1.01	Localización y replanteo	M2	1596.00	\$ 3,223.00	\$ 5,143,908.00
1.02	Reocería y limpieza	M2	1596.00	\$ 8,703.00	\$ 13,889,988.00



ITEM	COMPONENTE O ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
					<b>\$ 19,033,896.00</b>
<b>II MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					
2.01	Excavación en material común h<2m	M3	478.80	\$ 17,917.00	\$ 8,578,659.60
					<b>\$ 8,578,659.60</b>
<b>III. RELLENOS</b>					
3.01	Relleno compactado con material de otras fuentes	M3	2375.50	\$ 68,634.00	\$ 163,040,067.00
					<b>\$ 163,040,067.00</b>
<b>IV EMPRADIZACION</b>					
4.01	Empradización con césped natural	M2	2146.62	\$ 18,000.00	\$ 38,639,160.00
					<b>\$ 38,639,160.00</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 229,291,782.60</b>

Longitud estructura de contención 2. Jarillon de 2 metros de altura. = 310 mts.

Volumen estructura de contención 2. Jarillon de 2 metros de altura. = 1550 mt<sup>3</sup>

Tabla 107. Costo construcción de estructura de contención Jarillón 2.

ITEM	COMPONENTE O ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
<b>I. PRELIMINARES</b>					
1.01	Localización y replanteo	M2	1395.00	\$ 3,223.00	\$ 4,496,085.00
1.02	Reocería y limpieza	M2	1395.00	\$ 8,703.00	\$ 12,140,685.00
					<b>\$16,636,770.00</b>
<b>II MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					
2.01	Excavación en material común h<2m	M3	418.50	\$ 17,917.00	\$ 7,498,264.50
					<b>\$ 7,498,264.50</b>
<b>III. RELLENOS</b>					
3.01	Relleno compactado con material de otras fuentes	M3	1550.00	\$ 68,634.00	\$ 106,382,700.00
					<b>\$ 106,382,700.00</b>
<b>IV EMPRADIZACION</b>					
4.01	Empradización con césped natural	M2	1909.00	\$ 18,000.00	\$ 34,362,000.00
					<b>\$ 34,362,000.00</b>



ITEM	COMPONENTE O ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
------	------------------------	------------------	----------	--------------	-----------

<b>TOTAL</b>					<b>\$ 164,879,734.50</b>
--------------	--	--	--	--	--------------------------

#### 4.4.3.2. Presupuesto canalización.

Tabla 108. Costo construcción de canalización.

ITEM	COMPONENTE O ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
------	------------------------	------------------	----------	--------------	-----------

<b>I. PRELIMINARES</b>					
1.01	Localización y replanteo	M2	1395.00	\$ 3,223.00	\$ 4,496,085.00
1.02	Reocería y limpieza	M2	1395.00	\$ 8,703.00	\$ 12,140,685.00
					<b>\$ 16,636,770.00</b>
<b>II MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					
2.01	Excavacion en material comun h<2m	M3	620.00	\$ 17,917.00	\$ 11,108,540.00
					<b>\$ 11,108,540.00</b>
<b>III. RELLENOS</b>					
3.01	Relleno compactado con material de otras fuentes	M3	124.00	\$ 68,634.00	\$ 8,510,616.00
					<b>\$ 8,510,616.00</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 36,255,926.00</b>

#### 4.4.3.3. Presupuesto implementación de Jarillones como estructura de contención 1 y 2.

El costo al implementar esta alternativa es de TRESCIENTOS NOVENTA Y CUATRO MILLONES CIENTO SETENTA Y UN MIL QUINIENTOS DIESICETE PESOS CON 10 CENTAVOS M/CTE (\$394,171,517.10), en la siguiente figura se puede observar la configuración del perfil transversal.

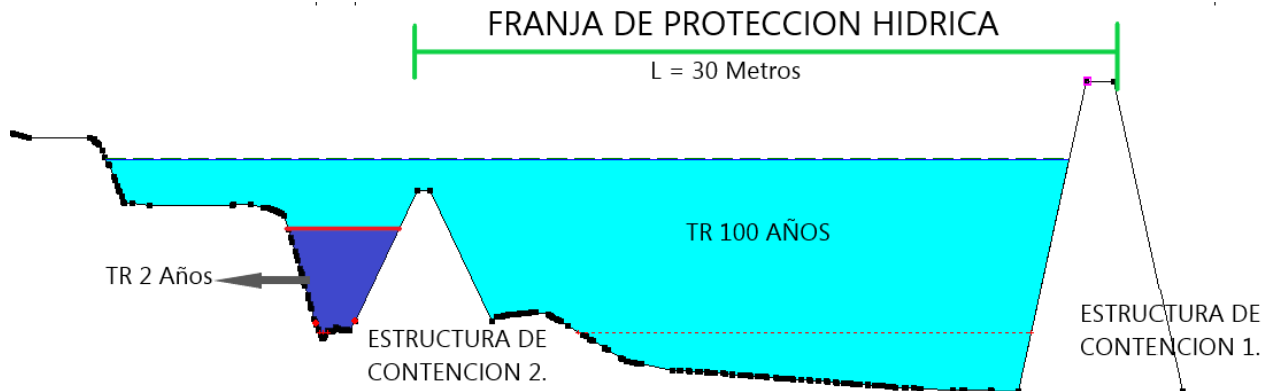


Figura 164. Perfil transversal estructuras de contención en jarillones.  
Fuente: Elaboración propia

4.4.3.4. Jarillones como estructura de contención 1 y realizar una rectificación del cauce de la quebrada La Merced en una longitud de 310 metros.

El costo al implementar esta alternativa es de DOSCIENTOS SESENTA Y CINCO MILLONES QUINIENTOS CUARENTA Y SIETE MIL SETECIENTOS OCHO PESOS CON SEIS CENTAVOS M/CTE (\$265,547,708.60), en la siguiente figura se puede observar la configuración del perfil transversal.

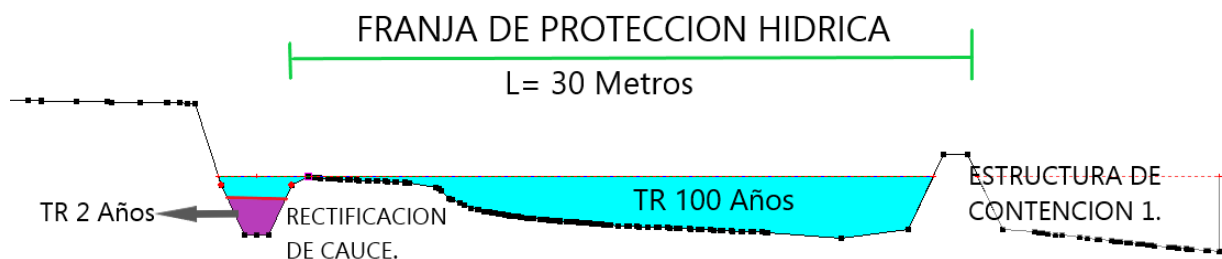


Figura 165. Perfil transversal canalización y estructura 1 de contención en jarillones.  
Fuente: Elaboración propia

Considerando las medidas propuestas para la mitigación del riesgo alto ante inundaciones y flujos torrenciales, la cual consistió en la reducción de la amenaza, se



evidencia que la potencial implementación reduce efectivamente la amenaza minimizando la exposición de las áreas donde se ubicaran los elementos expuestos o las denominadas áreas de desarrollo, logrando su propósito que es mitigar el riesgo haciendo posible el desarrollo urbano del predio siempre y cuando se implementen dichas acciones.

El desarrollador del Plan Parcial Policía Metropolitana debe implementar las obras de mitigación propuestas, para poder realizar el desarrollo urbano.

Se evalúa la presencia de los fenómenos de inundación y avenidas torrenciales en el escenario de implementación de las obras de mitigación, escogiendo la alternativa No. 1 que consiste en construir jarillones como estructura de contención 1 y 2, esto debido a que consideramos que es la alternativa más adecuada debido a que no se altera la geomorfología del cauce de la quebrada. Tal como se observa en las siguientes figuras la implementación de estas estructuras de contención protegen el predio de desarrollo, garantizando así la mitigación del riesgo. La amenaza por avenidas torrenciales debido al considerable volumen que transportaría sería controlada por el Jarillón No. 1 y la amenaza por inundaciones se controlaría por el Jarillón No. 2.



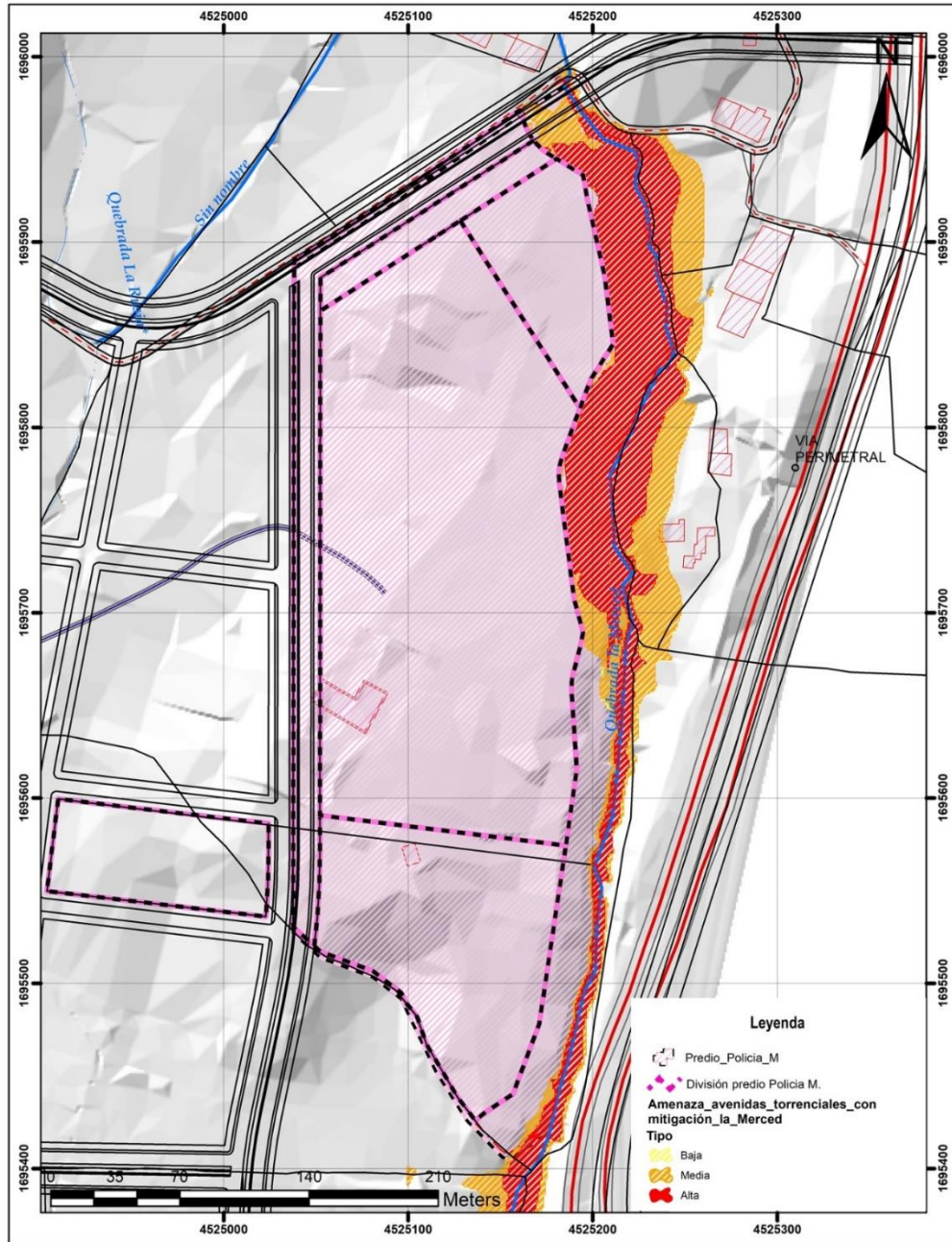


Figura 166. Amenaza por avenidas torrenciales con obras de mitigación.  
Fuente: Elaboración propia

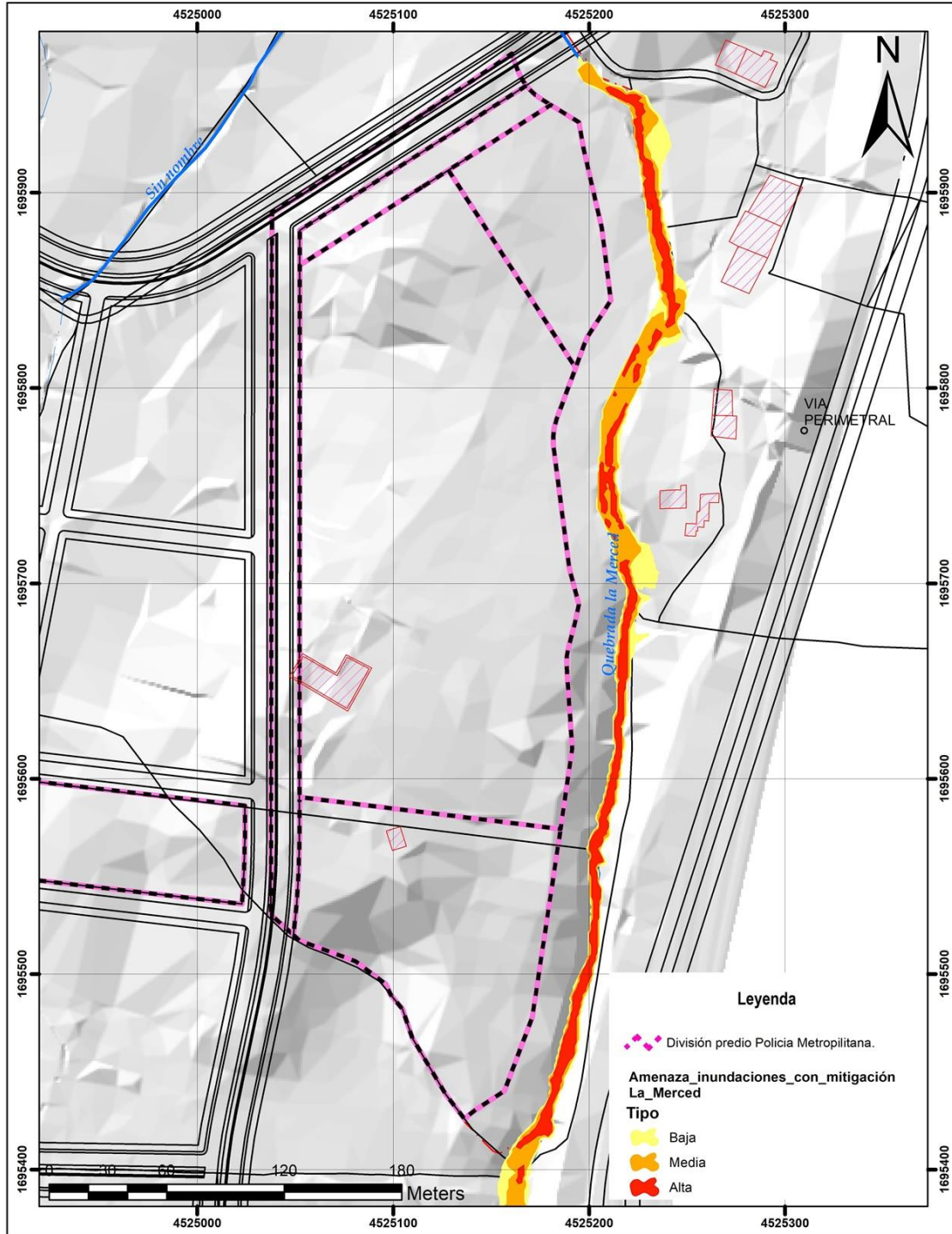


Figura 167. Amenaza por inundaciones con obras de mitigación.  
Fuente: Elaboración propia



## **5. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.**

La constitución Política de Colombia declara en su Artículo 79 que las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, y que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Se busca que en el desarrollo urbanístico del Plan Parcial Policía Metropolitana se implementen las buenas prácticas de manejo ambiental, lo cual contribuirá a la protección de todos los elementos de la Estructura Ecológica Principal (EEP) o ronda de la quebrada La Merced.

En este escenario, el Urbanizador-Constructor que desarrollara el Plan Parcial Policía Metropolitana, constituye uno de los principales actores del proceso de expansión urbana en el sector de Aranda, de la transformación del paisaje y la generación de impactos ambientales significativos.

Es importante resaltar que el gran volumen de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) generados por esta actividad, puede impactar de manera significativa, áreas de importancia ecológica en la ciudad, afectando la calidad de los recursos naturales y deteriorando la calidad de vida de sus habitantes.

En este orden de ideas, el Desarrollador, deberá implementar buenas prácticas ambientales en la obra, tales como; manejo del recurso agua; manejo integral de residuos de la construcción y demolición, manejo de suelos de excavación (lineamientos para adecuación de suelos – nivelaciones); utilización de asfaltos modificados con Grano de Caucho Reciclado (GCR) provenientes de llantas, neumáticos usados y productos no conformes; compensación por endurecimiento de zonas verdes; alternativas de manejo del paisaje para mejorar la oferta de biodiversidad (techos verdes, jardines verticales, Sistemas Urbanos de Drenaje



Sostenible); con el objeto de convertirse en ejemplo al armonizar el crecimiento urbano con los recursos naturales y la diversidad de ecosistemas.

Se debe dar cumplimiento a la siguiente normatividad:

### **Reglamentación general.**

- Constitución Política de 1991 (Artículos 1, 2, 7, 8, 79, 80, 84, 95, 209, 332 Principios fundamentales sobre normas constitucionales, que da el soporte a la normativa legal que aplica para la ejecución del presente documento y su alcance.
- Ley 9 de 1979, Código sanitario nacional.
- Decreto-Ley 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Parte IX: Protección y conservación de fauna silvestre.
- Ley 99 De 1993 Por la cual se crea el ministerio del medio ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema nacional ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
- Ley 388 De 1997 Por la cual se modifica la Ley 9a de 1989, y la Ley 3a de 1991 y se dictan otras disposiciones sobre ordenamiento territorial. El objeto de esta Ley es armonizar y actualizar las disposiciones contenidas en la Ley 9ª de 1989 con las nuevas normas establecidas en la Constitución Política, la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo, la Ley Orgánica de Áreas Metropolitanas y la Ley por la que se crea el Sistema Nacional Ambiental.
- Decreto 2820 De 2010 Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales.
- Ley 491 de 1999 Define los delitos contra los recursos naturales y el ambiente y se modifica el Código Penal.



## **Recurso Hídrico**

- Decreto 1541 de 1978. Reglamentar las normas relacionadas con el recurso agua en todos sus estados.
- Ley 373 de 1997, Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
- Decreto 475 de 1998. Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.
- Decreto 155 de 2004. Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.
- Decreto 1575 de 2007. Por el cual se establece el Sistema para la protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
- Decreto 1323 de 2007. Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH).

## **Ruido**

- Resolución 627 de 2006. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.

## **Aire**

- Decreto 948 de 1995. Reglamento de protección y control de calidad del aire.
- Resolución 601 de 2006. Establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para el territorio nacional en condiciones de referencia.
- Decreto 2107 de 1995. Se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el reglamento de protección y control de la calidad del aire.
- Resolución 910 de 2008. Niveles permisibles de emisiones de contaminación por fuentes móviles terrestres.
- Ley 769 de 2002. Código nacional de tránsito terrestre, establece la revisión técnica mecánica de los vehículos.



- Ley 1383 de 2010 Reforma la Ley 769 de 2002 – Código Nacional de tránsito

### **Vertimientos**

- Decreto 1594 de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
- Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI –Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Modificado.
- Decreto 4728 de 2010. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010.

### **Residuos Solidos**

- Decreto 1715 de 1978. Se reglamenta parcialmente el Decreto-Ley 2811 de 1974, la Ley 23 de 1973 y el Decreto-Ley 154 de 1976, en cuanto a protección del paisaje.
- Resolución 2309 de 1986 Por la cual se dictan normas para la gestión de residuos especiales.
- Ley 142 de 1994. Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.



- Decreto 1713 de 2002. Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- Decreto 838 de 2005 Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral
- Resolución 1362 de 2007 Tiene por objeto establecer los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos originados por las diferentes actividades productivas y sectoriales del país.
- Ley 1252 de 2008. Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
- Ley 1259 de 2008. Se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 3695 de 2009. Se reglamenta la Ley 1259 de 2008 y se dictan otras disposiciones: comparendo ambiental para las infracciones sobre aseo, limpieza y recolección de residuos sólidos, que adelante se codifican.
- Resolución 472 de 2017. Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición -RCD y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 1784 de 2017. Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo.

## **Flora**

- Resolución 438 de 2001. Salvoconducto Único Nacional para la movilización de especímenes de la diversidad biológica.



- Resolución 619 de 2002. Se establece el Salvoconducto Nacional para la movilización de productos primarios provenientes de plantaciones forestales, se modifican las Resoluciones números 0438 y 1029 de 2001
- Resolución 182 de 2008. Se fija el procedimiento y los requisitos para el registro de los sistemas agroforestales o cultivos forestales con fines comerciales, y se adopta el formato para la movilización.

### **Fauna**

- Decreto-Ley 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Parte IX: Protección y conservación de fauna silvestre.
- Decreto-Ley 1608 de 1978 Por el cual se reglamenta el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y la Ley 23 de 1973 en materia de fauna silvestre. Regula la preservación, conservación, restauración y fomento de la fauna silvestre.
- Ley 84 de 1989, Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales y se crean unas contravenciones y se regula lo referente a su procedimiento y competencia.

### **Señalización y manejo de tráfico**

- Ley 769 de 2002 (Código Nacional de Transito).
- Resolución 1937 de 1994 INVIAS.
- Manual de INVIAS sobre dispositivos para el control del tráfico en calles y carreteras.

### **Seguridad y salud en el trabajo.**

- Código Sustantivo Del Trabajo: ART. 205, ART. 206, ART.207, Obligación del empleador de prestar los P.A Asistencia médica y farmacéutica inmediata.





Posibilidad de contratar la asistencia médica. ART. 349, ART. 350, ART. 351. Elaboración, Contenido, Ubicación del reglamento de higiene y seguridad industrial. ART. 56, ART. 58, ART.60, Observar medidas y órdenes preventivas, Prohibiciones: presentarse al trabajo bajo el efecto de alcohol o drogas, conservar armas en el sitio de trabajo. ART. 56, ART. 57, ART. 348 Obligaciones específicas del empleador, suministrar y acondicionar sitios de trabajo que garanticen seguridad y salud de los trabajadores.

- Ley 9 de 1979. Norma Para preservar, conservar y mejorar la salud de los individuos en sus ocupaciones
- Resolución 2400 de 1979. Disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad industrial en establecimiento de trabajo.
- Resolución 2013 de 1986. Reglamenta la Organización y funcionamiento de los comités de medicina, higiene y seguridad industrial. Empresas con más de 10 trabajadores a su servicio están obligadas a conformar el comité de Medicina, Higiene y Seguridad Industrial.
- Ley 100 de 1993. Sistema de seguridad social integral.
- Decreto 1295 de 1994. Organización y administración del SGRP.
- Decreto 2644 de 1994. Tabla de indemnización por pérdida de capacidad laboral entre el 5% y 49,99%.
- Decreto 1772 de 1994. Por el cual se reglamenta la afiliación y las cotizaciones al Sistema General de Riesgos Profesionales.
- GTC 45 de 2012, ICONTEC. Guía para la identificación y evaluación de riesgos.
- Decreto 1703 de 2002. Medidas para promover y controlar la afiliación y pago al sistema de seguridad social en salud.
- Ley 1010 de 2006. Prevenir, corregir y sancionar diversas formas de maltrato, trato desconsiderado y en general todo ultraje a la dignidad humana. Art 9, Art 10: Medidas de prevención del acoso laboral, tratamiento sancionatorio al acoso laboral.



- Resolución 1401 de 2007. Se reglamenta la investigación de incidentes y accidentes de trabajo.
- Resolución 2346 de 2007. Se regula la práctica de evaluaciones médicas ocupacionales y el manejo y contenido de las historias clínicas.
  - Resolución 2646 de 2008. Factores de riesgo psicosocial en el trabajo.
  - Resolución 652 de 2012. Por la cual se establece la conformación y funcionamiento del Comité de Convivencia Laboral en entidades públicas y empresas privadas y se dictan otras disposiciones.
  - Decreto 1477 2014 Nueva tabla de enfermedades laborales
  - Decreto 0472 de 2015. Por el cual se reglamentan los criterios de graduación de las multas por infracción a las normas de Seguridad y Salud en el Trabajo y Riesgos Laborales,
  - Decreto 1072 de 2015. Por medio del cual se expide el decreto único del sector trabajo.
  - Resolución 0362 de 2019. Por medio de la cual se redefinen los Estándares Mínimos del SG-SST para empleadores y contratantes, deroga la Resolución 1111 de 2017.

#### 5.1. Actividades requeridas en el momento de ejecución de obra.

En el momento de ejecutarse la obra se deben realizar las siguientes actividades:

- Identificación de impactos
- Evaluación de los impactos ambientales en la fase de Construcción del proyecto.
- Análisis resultados de la matriz de impactos.
- Fichas propuestas para el manejo ambiental

#### 5.2. Programas del Plan de Manejo Ambiental.



Se deben implementar como mínimo los siguientes programas:

- Grupo de gestión ambiental
- Control de erosión y protección del suelo
- manejo y disposición de residuos sólidos, escombros y desechos de construcción
- Almacenamiento y manejo de materiales de construcción
- Manejo de campamentos e instalaciones temporales
- Manejo de residuos líquidos
- Manejo de maquinaria, equipo y transporte
- Manejo de aseo de la obra
- Control de emisiones atmosféricas, aire y ruido
- Manejo de aguas superficiales
- Señalización, manejo de tráfico vehicular y tránsito peatonal
- Control de plagas, roedores y manejo de olores
- Seguimiento, vigilancia y control

### 5.3. Medidas de manejo ambiental, determinantes en el desarrollo de la propuesta urbanística.

En años recientes, es cada vez más frecuente que temas referentes al medio ambiente urbano, tales como: contaminación atmosférica, ocupación del espacio, afectación a la capa de ozono, pérdida de áreas verdes, hacinamientos de alto riesgo e insalubres, entre otros, sean considerados como problemas de interés público; la expresión de deterioro ambiental en las ciudades es grave. La concentración poblacional, el consumismo, el incremento del parque vehicular, los procesos industriales, las actividades del sector servicios, los sistemas de transporte y otras manifestaciones de la vida urbana, han contribuido a una situación de degradación de la naturaleza y la calidad de vida en las ciudades. La idea de un medio ambiente en



peligro, ha pasado a formar parte de la conciencia colectiva y se refleja tanto en la ciudadanía como en los encargados de la toma de decisiones.

Así, la Alcaldía de Pasto y a su vez la Secretaria de Planeación Municipal se enfoca en el desarrollo urbanístico sostenible, en la búsqueda de alternativas ante la problemática ambiental y en su pretensión de ordenar la ciudad para elevar la calidad de vida de sus habitantes, defender la naturaleza y conservar los ecosistemas.

Por tal razón el plan parcial Policía Metropolitana deberá estar enfocado y articulado con el planteamiento urbanístico del Plan Parcial Aranda, toda vez que este contempla una zona de espacio público ambiental, el cual, en articulación con la zona de sesión planteada y la zona de ronda hídrica de la quebrada La Merced constituyan una franja ambiental que garantice una buena calidad de vida para los futuros habitantes del sector.

En desarrollo de las determinaciones adoptadas en el componente ambiental del presente Plan Parcial, se definieron las siguientes medidas especiales para garantizar el cuidado y conservación de los elementos de valor ambiental ubicados en su entorno inmediato, específicamente el Parque Central del suelo de expansión, las áreas de ronda hídrica de la quebrada la Merced.

1. Medidas en relación con la localización de las zonas de cesión para parques, las cuales se encuentran incorporadas en el proyecto urbanístico del Plan Parcial.

a. Ubicar una zona de cesión para parques que conecte ecológicamente al Parque central del suelo de expansión con el área de ronda hidrica de la quebrada la Merced

b. Ubicar alamedas y áreas verdes en sentido Norte con la finalidad de promover la conectividad ecológica del Plan Parcial "Policia Metropolitana " con zonas de ronda hídrica de la quebrada la Merced.



2. Medidas en relación con las características de adecuación de las zonas de cesión para parques y alamedas:

a. Mantener un 80% del área en zona blanda.

b. Aplicar los criterios de restauración ecológica.

c. Contemplar en el diseño cobertura vegetal nativa.

d. Ejecutar el diseño paisajístico correspondiente e informar a la Secretaría de Gestión Ambiental una vez terminada la ejecución, para su verificación.

3. Disponer las zonas libres privadas, así como mantener las mismas en zona blanda y libres de construcciones.



## 6. PROGRAMA DE EJECUCION

### 6.1. Consideraciones Generales

El Programa de ejecución del Plan Parcial Policía Metropolitana expone las prioridades, la programación de actividades, las entidades responsables, los recursos respectivos y el esquema de gestión, financiación, ejecución y seguimiento.

Para el desarrollo del Plan Parcial Policía Metropolitana es necesario que se ejecuten las obras de infraestructura requeridas para garantizar la movilidad, el espacio público, la prestación de los servicios públicos domiciliarios.

#### Responsables

El ejecutor de cada obra de infraestructura a realizarse en el Plan Parcial Policía Metropolitana se encargará de llevar a cabo el respectivo manejo ambiental de la obra siguiendo los lineamientos establecidos en el presente plan parcial y siguiendo las directrices de la entidad encargada de su supervisión.

Tabla 109. Entidades supervisoras.

PROYECTO	ENTIDAD SUPERVISORA
Construcción de calzadas – Ciclo ruta – espacio público (andenes)	AVANTE SETP
Construcción de redes de acueducto y alcantarillado sanitario y pluvial.	EMPOPASTO S.A.E.S.P
Construcción de redes eléctricas	CEDENAR S.A.E.S.P
Construcción de redes de alumbrado público	SEPAL S.A.
Construcción de redes de gas domiciliario.	ALCANOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P.
Construcción de espacio público.	SECRETARIA DE PLANEACION MUNICIPAL
Construcción de obras de mitigación de riesgo.	SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA MUNICIPAL



El cumplimiento de las actividades del Plan de Manejo Ambiental en la ejecución del proyecto Construcción del Comando de la Policía Metropolitana serán responsabilidad de la Policía Nacional como ente promotor, quienes deberán incluir estas actividades en la financiación del proyecto para el cabal cumplimiento de las Determinantes Ambientales del Plan Parcial.

En la siguiente tabla se realiza la cuantificación de las obras requeridas, así como los responsables de su ejecución física y financiera.

Tabla 110. Programa de ejecución de las obras.

OBRAS CARGAS GENERALES		Responsable	VR PARCIAL
ALCANTARILLADO		Municipio	\$ 273.040.000
CALZADA +		Por definir	\$ 208.000.000
REDES DE SERVICIOS PÚBLICOS 12"		RED MATRIZ DE ACUEDUCTO	\$ 240.000.000
ACUEDUCTO RED MATRIZ	Participacion en cargas generales	Policia metropolitana	
subtotal			\$ 721.040.000
OBRAS OBLIGATORIAS PLAN PARCIAL EN SUELO DE CESION OBLIGATORIA			
CALZADA PARALELA AL PREDIO		Policia metropolitana	\$ 151.320.000
PARQUE		Policia metropolitana	\$ 1.143.177.300
ANDEN ORIENTAL		Policia metropolitana	\$ 106.800.000
EP NORTE			\$ 216.000.000
SUBTOTAL			\$1.617.297.300
TOTAL			<b>\$2.338.337.300</b>

A continuación, se plantea un cronograma para la ejecución de las obras, sin embargo, es importante tener en cuenta los diseños definitivos y la programación de obra de los mismos para su ejecución.



Tabla 111. Cronograma de obras.

<b>OBRAS PLAN PARCIAL</b>	<b>MES 1</b>	<b>MES 2</b>	<b>MES 3</b>	<b>MES 4</b>	<b>MES 5</b>	<b>MES 6</b>
<b>VIA</b>						
CALZADA + REDES DE SERVICIOS PÚBLICOS						
ANDEN ORIENTAL						
ANDEN OCCIDENTAL						
PARQUE						
EP NORTE						
SEPARADOR						
FRANJA AMBIENTAL						
<b>RED MATRIZ DE ACUEDUCTO</b>						





## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Agua y SIG. (2017). *Calcular numero de curva con ArcGIS* . Obtenido de <https://aguaysig.com/calcular-numero-de-curva-con-arcgis/>
- Aguilar, J., & Díaz, M. (2016). *Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo Hec-Hms*. Alcalá de Henares: Centro para el Conocimiento del Paisaje. Obtenido de [https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/news/20161215/Cuadernos%20de%20Geoma%CC%81tica%204\\_b.pdf](https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/news/20161215/Cuadernos%20de%20Geoma%CC%81tica%204_b.pdf)
- Alcaldía Municipal de Pasto. (2019). *Documento Técnico de Diagnóstico Plan Parcial Aranda*. Pasto.
- Bertoni, J., Chevallier, P., Bouvier, C., & Desbordes, M. (2000). *Análisis relativo a la estimación del tiempo de concentración : Aplicación a tres cuencas semi urbanizadas de la región central de Argentina*. Cordoba.
- Caballero, J. (2011). *Las Avenidas Torrenciales una amenaza potencial en el Valle de Aburrá*. Gestión y Ambiente.
- Carvajal, J. H. (2011). *Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia*. Bogotá: INGEOMINAS.
- Castro, J. (2007). Deslizamientos y Avenidas Torrenciales. *Cosmos*, Año 10, No. 41, 3.
- Chaudhry, M. (2008). *Open-Channel Flow* (Segunda ed.). South California: Springer.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: Mc Graw Hill.
- CIDETER. (2019). *Plan Plarcial Aranda*. Pasto.
- Collado, C. (2010). *Modelación hidrológico e hidráulica para la estimación de caudales máximos en el área urbana de Matagalpa, Nicaragua*. Ciudad de Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0397\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0397_MT.pdf)
- Dai, F., & Lee, C. (2002). *Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS* . Lantau Island, Hong Kong.: Geomorphology.



EMPOPASTO S.A.E.S.P. S.A. E.S.P. (2005). *Plan Maestro de Alcantarillado Ciudad de Pasto, estudio de caudales máximos área rural a 2700 m.s.n.m. .*

Escalante Sandoval, C., & Reyes Chávez, L. (2005). *Técnicas Estadísticas en Hidrología (2ª Edición ed.)*. México D.F: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

ESRI. (2016). *ArcGis for Desktop*. Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/surface-difference.htm>.

ESRI. (2020). *superficie TIN*. Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm>.

FLO-2D. (2014). *Simulating Mudflow Guidelines*.

Flo2D. (2017). *Mapper Manual*.

FLO-2D Software, Inc. (2018). *Reference Manual Flo-2D*. Nutrioso.

Flórez, A., & Suavita, M. (1997). *Génesis y manifestación de las inundaciones en Colombia*. Cuadernos de Geografía.

García et al. (2003, 2005). Hazard Mapping for Debris Flow Events in the Alluvial Fans of the Northern Venezuela. *Proc. Third International Conference on Debris-Flow Hazards*.

Gómez, H., & Kavzoglu, T. (2005). *Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural network in Jabonosa River Basin*. Venezuela. Eng: Geol.

Huertas, E. (2016). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y AMENAZA DE LOS SISTEMAS HÍDRICOS NATURALES EN EL MARCO DE LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA PARA LA CUENCA DEL RIO SUMAPAZ, JURISDICCIÓN CAR*. Obtenido de [shorturl.at/tFNV6](http://shorturl.at/tFNV6)

IDEAM. (2011). *Proyecto vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras de acueductos*.

IDEAM. (2012). *METODOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD GENERAL DEL TERRENO A LOS MOVIMIENTOS EN MASA*. Bogotá.

IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional de agua*. Bogotá D.C.



- IDEAM. (2013). *Sistema de Información del Recurso Hídrico SIRH*. Obtenido de <http://capacitacion.sirh.ideam.gov.co/homeSIRH/HOME/riesgo.html>
- IDEAM. (2017). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN*. Bogotá, D. C.
- IGAC. (2020). *INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI* . Obtenido de INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI : <https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/control-terrestre-y-clasificacion-de-campo>.
- Julien, P., & Lan, Y. (1991). Rheology of Hyperconcentrations. *Journal of Hydraulic Engineering*, 346-353.
- Kite, G. (1988). *Frequency and risk analysis in hydrology*. Colorado State: Water Resources Publication.
- Mafla Chamorro, F. (2014). *Urbanización sobre el escurrimiento superficial en el macro drenaje: situación actual de la cuenca del río Pasto, Colombia*. Córdoba.
- Mafla, F. (2020). *Las amenazas naturales en Colombia*. Pasto: Mc Graw Hill.
- Mattos, S., Parodi, G., & Damiano, F. (S. F). Análisis de amenaza por inundación en área urbana empleando modelos hidrodinámicos y herramientas SIG (Pergamino, Argentina). *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. Obtenido de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-analisis\\_de\\_amenaza\\_por\\_inundacin\\_en\\_rea\\_urbana\\_emplea.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-analisis_de_amenaza_por_inundacin_en_rea_urbana_emplea.pdf).
- Ministerio de Medio Ambiente. (2014). *PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS*. Bogotá D.C. Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/PROTOCOLO\\_INCORP. GESTION DEL RIESGO - POMCA.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/PROTOCOLO_INCORP. GESTION DEL RIESGO - POMCA.pdf)
- Monsalve, G. (1995). *Hidrología En La Ingeniería*. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Murcia, A., & Cepeda, H. (1991). *Geología de la Plancha 429 Pasto*. Bogotá: INGEOMINAS.
- Niño, V. (2015). *Comparación de criterios de engrosamiento del flujo para la simulación de avalanchas en casos colombianos de estudio*. Bogotá.



O'Brien, J., Julien, P., & Fullerton, W. (Febrero de 1993). Two-dimensional, water flood and mudflow simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 19. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/da57/34a89aef1760879c462279e5bbccf7b0becb.pdf>.

OSSO – La Red. (2003). *La Red, 2003. Guía metodológica de DesInventar. Sistema de Inventario de Desastres*. Obtenido de <http://www.desinventar.org/sp/metodologia/DesInventar-MethodologicalGuideSpanish.pdf>.

Palacios, S. V. (2018). *Estimación de volúmenes removidos y análisis multitemporal en la evolución del deslizamiento localizado e la vía que comunica al municipio de Buenavista con la vereda El Carmen en el Departamento del Meta*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

POMCH, P. (2009). *Plan de Ordenamiento y manejo de la cuenca del Rio Pasto*. Pasto.

Raisz, E. (2005). *Cartografía*. Barcelona: Ediciones Omega, S. A.

Rendón, G. (1997). La Hidráulica Torrencial. En: DYNA.

Rivas, & Soto. (2009). Determinación de niveles de potencialidad torrencial de la cuenca del río Mocotíes. *Revista Forestal Venezolana*, 33-44.

Saaty, T. H. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting*. New York.: McGraw-Hill.

SGC. (2012). *Servicio Geológico Colombiano. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000*. Bogotá.

SGC. (2015). *Estudios de Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por Movimientos en Masa*. Bogotá.

SGC. (2015). *Servicio Geológico Colombiano. MEMORIA EXPLICATIVA MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA, ESCALA 1:100.000 PLANCHA 429 PASTO*. Bogotá: Convenio de Cooperación Especial.

SGC. (2017). *Guía Metodológica para la zonificación de Amenaza por movimientos en masa. Escala 1:25.000*. Bogotá.

Smith, K., & Ward, R. (1998). *Floods: Physical Processes and Human Impacts*. 382.



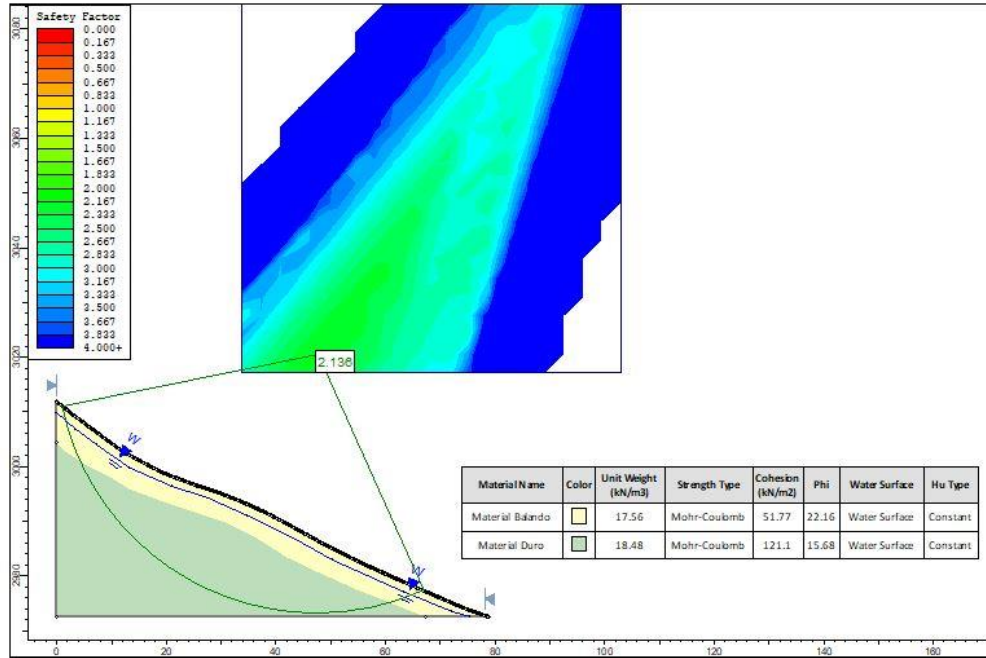
- Teng, J., Jakeman, A., Vaze, J., Croke, B., Dutta, D., & v Kim, S. (2017). Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Elsevier*, 16.
- Tucci, C. (1993). *Hidrología, Ciencia y Aplicación*. Porto Alegre: Editora da Universidade, Universidade Federal do Río Grande do Sul, Brasil.
- Urrea, H., & Vásquez, G. (1996). *Caracterización, cartografía y estrategias de manejo de las cuencas hidrográficas torrenciales del municipio de Guatapé*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Vergara, L. (S. f). *Simulación de flujos hiperconcentrados, usando el modelo Flo-2D: un caso de estudio del río Seco - Huaraz*. Doctorado en Recursos Hídricos. Obtenido de [http://eusebioingolb.weebly.com/uploads/2/5/2/4/2524387/flujos\\_hiperconcentrados\\_vergara.pdf](http://eusebioingolb.weebly.com/uploads/2/5/2/4/2524387/flujos_hiperconcentrados_vergara.pdf)
- Wikipedia. (05 de 07 de 2019). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_digital\\_del\\_terreno](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_digital_del_terreno).
- Wu, Y.-H., Liu, K.-F., & Chen, Y.-C. (2013). Comparison between Flo-2D and Debris-2D on the Application of Assessment of granular debris flow hazard with case study. *Science Press and Institute of Mountain Hazards and Enviroment*. doi:10.1007/s11629-013-2511-1.
- Zafra, C. (2013). "Morfometria de cuencas hidrograficas". *Hidrologia*. Bogotá D.C, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.



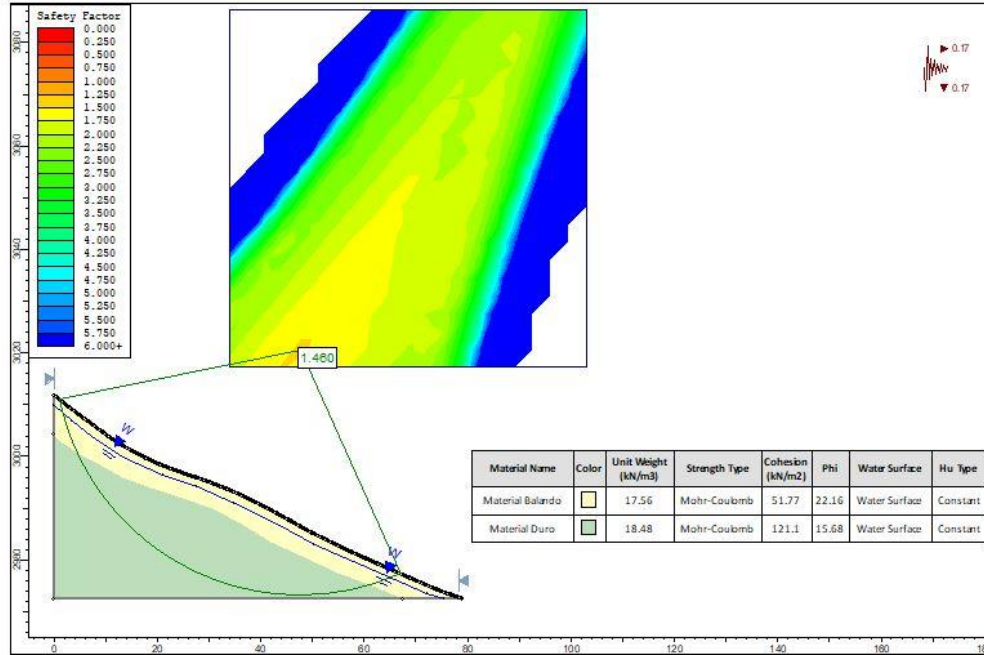
**8. ANEXOS**

**ANEXO 1**

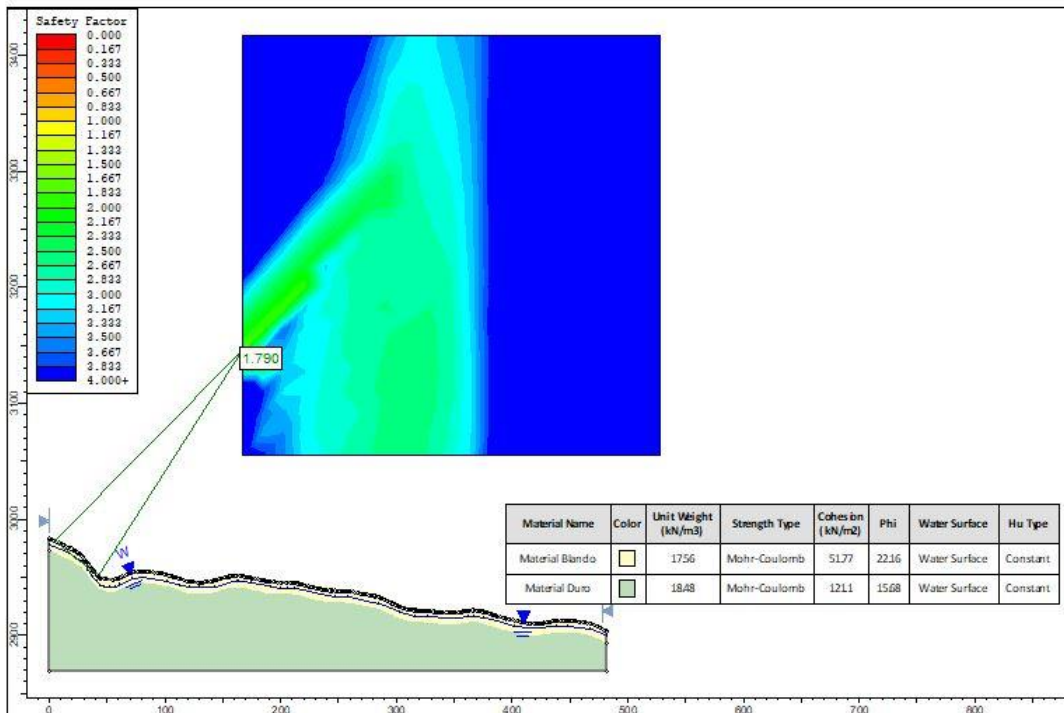
Factor de seguridad calculado para el área 1, en condiciones de saturación.



Factor de seguridad calculado para el área 1, en condiciones de saturación y sismo.

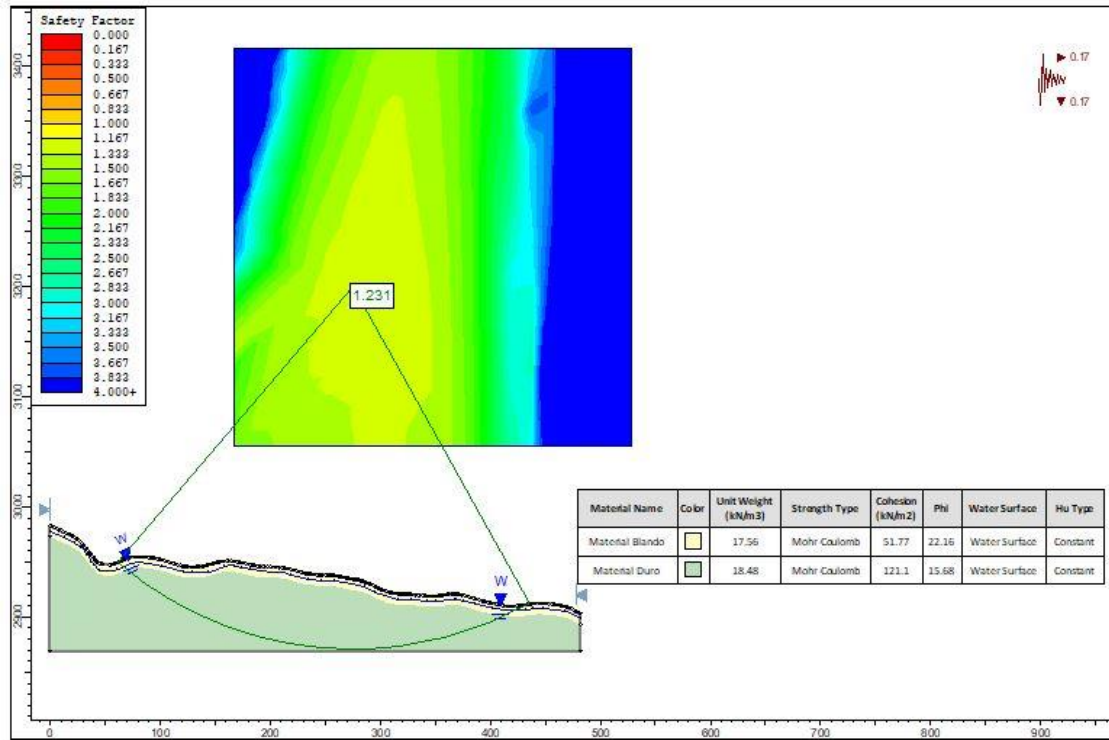


Factor de seguridad calculado para el área 2, en condiciones de saturación.



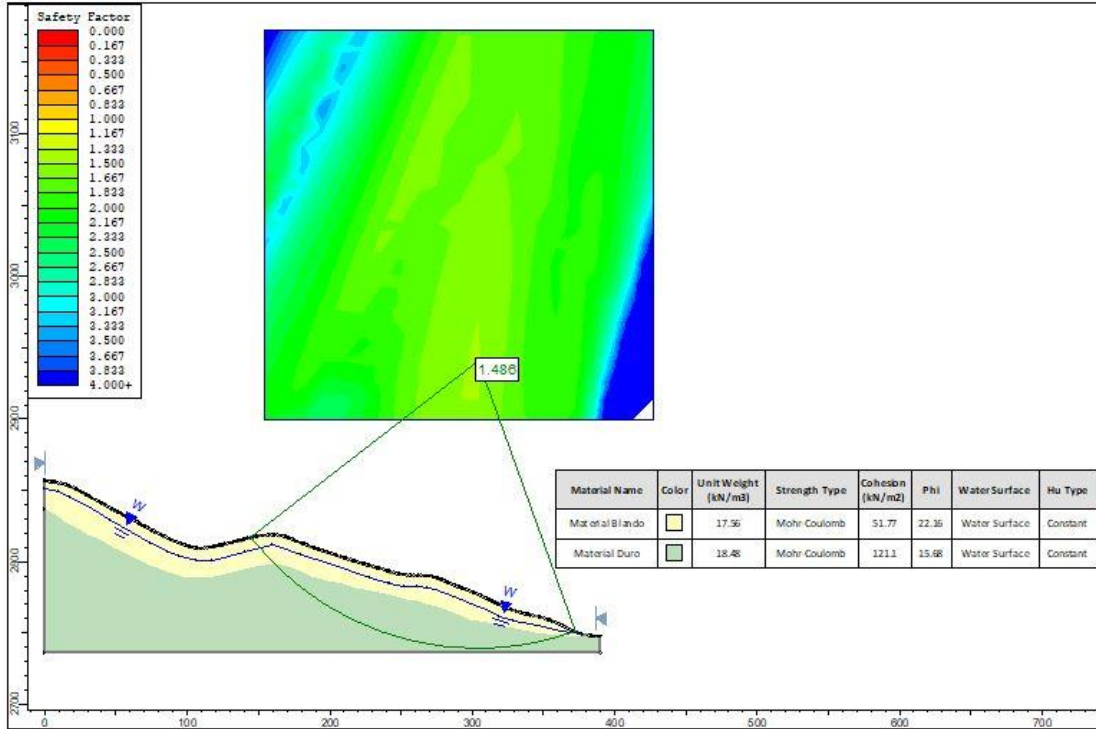


Factor de seguridad calculado para el área 2, en condiciones de saturación y sismo.

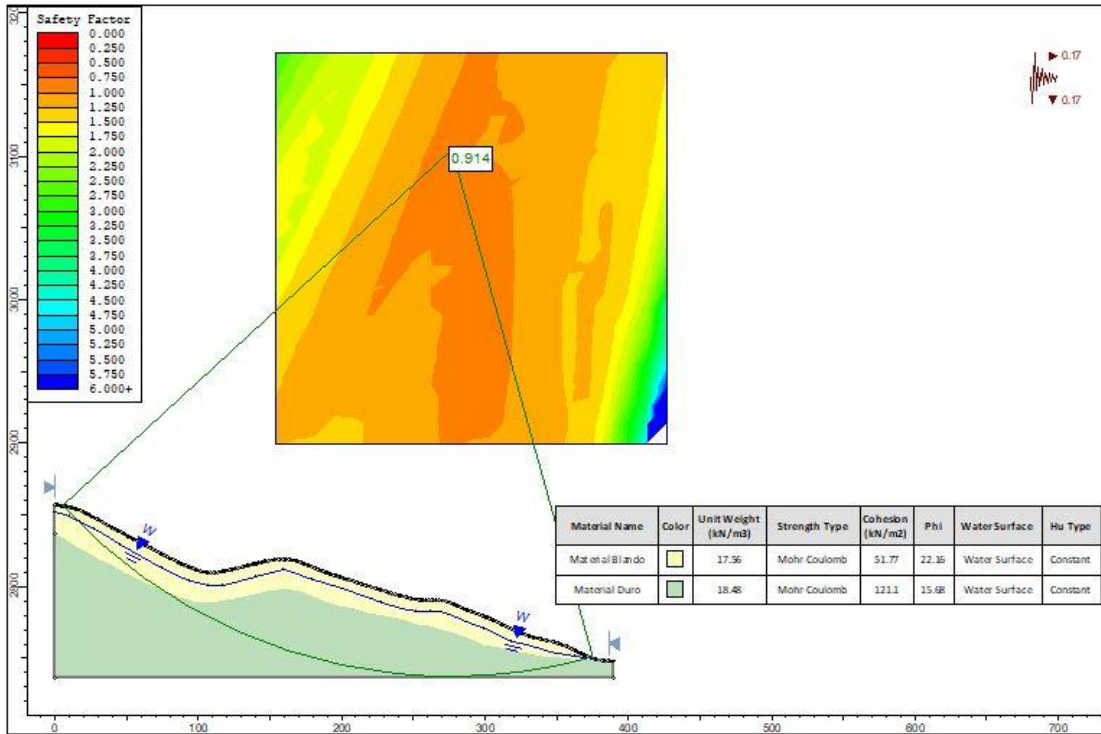


Factor de seguridad calculado para el área 3, en condiciones de saturación.

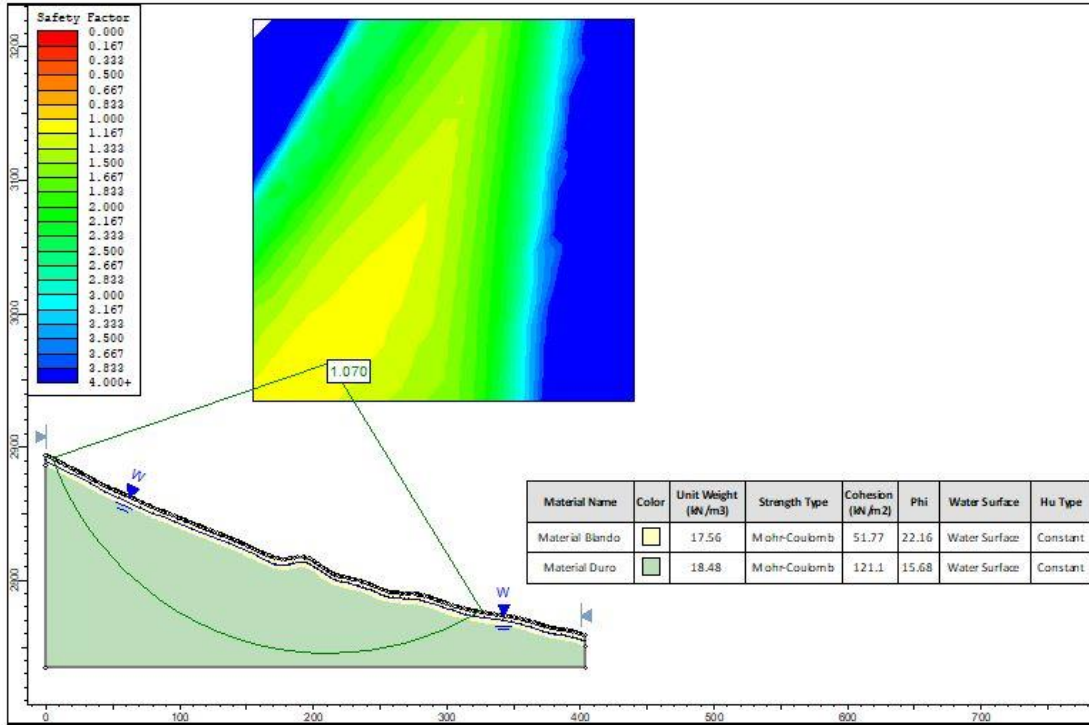




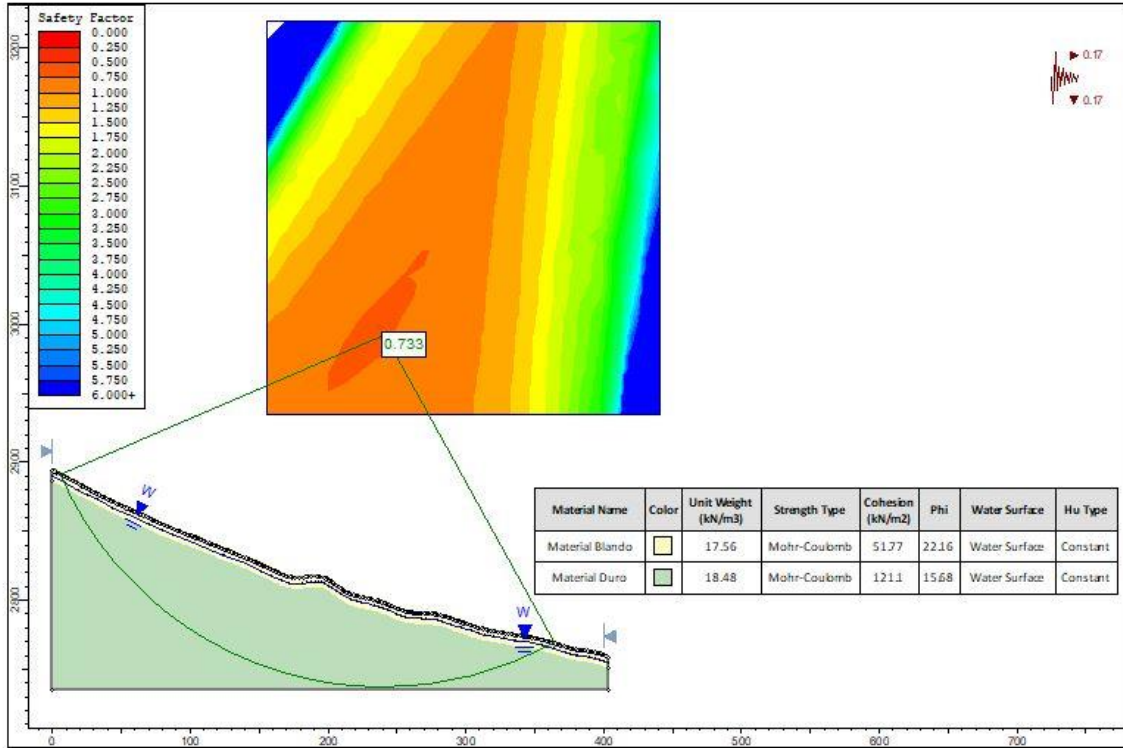
Factor de seguridad calculado para el área 3, en condiciones de saturación y sismo.



Factor de seguridad calculado para el área 4, en condiciones de saturación.



Factor de seguridad calculado para el área 4, en condiciones de saturación y sismo.





**ANEXO 2**



1330/177-2020

San Juan de Pasto, 5 de Mayo de 2020

Arquitecto  
GERMÁN ORTEGA GÓMEZ  
Secretario de Planeación Municipal  
Alcaldía de Pasto  
Ciudad

Asunto: Respuesta a su solicitud de 30 de Abril de 2020.

Cordial saludo,

En atención a su solicitud, me permito informar que una vez revisados los planos de los "Estudios de GEI (Gases de Efecto Invernadero), vulnerabilidad al cambio climático y desarrollo urbano para la ciudad de Pasto", realizados por la empresa IDOM (Ingeniería y Dirección de Obras y Montaje) en el año 2015, y revisada la base catastral del municipio de Pasto, se identifica que el inmueble distinguido con el código catastral No. 00-02-0003-0754-000, ubicado en la vereda La Merced del Corregimiento de Morasurco, de propiedad de la Policía Metropolitana de San Juan de Pasto, se encuentra ubicado en zona de inundación de acuerdo a diferentes períodos de retorno que se describen a continuación (se anexa plano):

PERIODO DE RETORNO (en años)	ÁREA APROXIMADA AFECTADA POR INUNDACIÓN (M2)	ÁREA APROXIMADA LIBRE DE INUNDACIÓN (M2)
3 Años	555,8	84.386,9
25 Años	1.143,1	83.799,6
50 Años	1.304,7	83.638
100 Años	1.388,1	83.554,6

En lo referente a registros históricos, la DGRD no evidencia eventos e información adicional sobre el mencionado sector.

Atentamente,

  
ARQ. DARIO ANDRÉS GÓMEZ CABRERA  
Dirección para la Gestión del Riesgo de Desastres  
Director

Proyectó: Geo. Miguel Calpa



SC-CER367095



Alcaldía de Pasto - NIT: 891280000-3  
Sitio web: [www.pasto.gov.co](http://www.pasto.gov.co) - Correo: [contactenos@pasto.gov.co](mailto:contactenos@pasto.gov.co)  
Teléfono: +57(2) 7244326, Conmutador Principal: +57(2) 7244326 - Ext: 1001  
Carrera 25 No. 18-93 Casa de Don Lorenzo



### ANEXO 3

#### LISTADO DE MAPAS

CÓDIGO      NOMBRE

##### Base Cartográfica

BC01 Localización general

BC02 Mapa base

BC03 Predios colindantes

##### Riesgos

R01 Pendientes

R02 Cuencas

R03 Coberturas del suelo

R04 Número de curva

R05 Coberturas Maning

R06 Unidades geológicas superficiales

R07 Geomorfología

R08 Zonas Homogéneas

R09 Susceptibilidad a amenazas por movimientos en masa

R10 Amenaza por movimientos en masa



R11 Amenaza por inundaciones sin mitigación La Merced

R12 Amenaza por avenidas torrenciales sin mitigación La Merced

R13 Amenaza inundaciones La Rusia

R14 Amenaza avenidas torrenciales La Rusia

R15 Riesgo inundaciones La Merced

R16 Riesgo avenidas torrenciales La Merced

R17 Medidas de mitigación

R18 Amenaza inundaciones con mitigación

R19 Amenaza avenidas torrenciales con mitigación

#### Estructura ambiental

EA1 Cobertura y uso del suelo

EA2 Zonas de vida

EA3 Estructura Ecológica Principal existente

#### Propuesta

F01 Estructura Ecológica Principal

F02 Localización de los sistemas generales o estructurantes proyectados y

#### Existentes

F03 Propuesta urbana o planeamiento urbanístico

F04 Red vial y perfiles viales



**PASTO**  
LA GRAN CAPITAL  
ALCALDÍA MUNICIPAL

SECRETARÍA  
DE PLANEACIÓN

F05 Espacio público y localización de equipamientos

F06 Disponibilidad de servicios públicos

F07 Usos generales zona de expansión Aranda

F08 Asignación de cargas urbanísticas





## ANEXO 4

### MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD PROFESIONAL

San Juan de Pasto, 9 de noviembre de 2020

Señores  
Corporación Autónoma Regional de Nariño  
CORPONARIÑO  
Ciudad

#### MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, OSCAR BRIAN BOLAÑOS GUERRERO, Geógrafo, debidamente titulado e inscrito con matrícula profesional No. 2017 (1121) Colegio profesional de Geógrafos, declaro que hice parte del equipo técnico que trabajó en la elaboración de los ESTUDIOS DE GESTION DEL RIESGO POR LOS FENOMENOS DE REMOCION EN MASA, INUNDACION Y AVENIDAS TORRENCIALES PARA EL AREA DEL PLAN PARCIAL POLICIA METROPOLITANA, que se encuentra ubicado dentro de la Zona del Plan Parcial Aranda, municipio de Pasto en el departamento de Nariño, el cual ha sido elaborado siguiendo en todas las normas vigentes y lineamientos establecidos en el Decreto 1077 de 2015.

En consecuencia, asumo la responsabilidad desde mi profesión de acuerdo con las leyes vigentes.

Atentamente,

*Oscar Brian Bolaños Guerrero*

OSCAR BRIAN BOLAÑOS GUERRERO  
Geógrafo  
2017 (1121)



San Juan de Pasto, 9 de noviembre de 2020

Señores  
Corporación Autónoma Regional de Nariño  
CORPONARIÑO  
Ciudad

#### MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, FRANCISCO RICARDO MAFLA CHAMORRO, Ingeniero Sanitario, debidamente titulado e inscrito con matrícula profesional No. 7623783545 VLL otorgada por el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería COPNIA, declaro que hice parte del equipo técnico que trabajó en la elaboración de los ESTUDIOS DE GESTION DEL RIESGO POR LOS FENOMENOS DE REMOCION EN MASA, INUNDACION Y AVENIDAS TORRENCIALES PARA EL AREA DEL PLAN PARCIAL POLICIA METROPOLITANA, que se encuentra ubicado dentro de la Zona del Plan Parcial Aranda, municipio de Pasto en el departamento de Nariño, el cual ha sido elaborado siguiendo en todas las normas vigentes y lineamientos establecidos en el Decreto 1077 de 2015.

En consecuencia, asumo la responsabilidad desde mi profesión de acuerdo con las leyes vigentes.

Atentamente,

---

FRANCISCO RICARDO MAFLA CHAMORRO  
Ingeniero Sanitario  
7623783545 VLL



San Juan de Pasto, 9 de noviembre de 2020

Señores  
Corporación Autónoma Regional de Nariño  
CORPONARIÑO  
Ciudad

#### MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, JORGE ANDRÉS ROSERO LEGARDA, Ingeniero Ambiental, debidamente titulado e inscrito con matrícula profesional No. 52238-398801 NRÑ otorgada por el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería COPNIA, declaro que hice parte del equipo técnico que trabajó en la elaboración de los ESTUDIOS DE GESTION DEL RIESGO POR LOS FENOMENOS DE REMOCION EN MASA, INUNDACION Y AVENIDAS TORRENCIALES PARA EL AREA DEL PLAN PARCIAL POLICIA METROPOLITANA, que se encuentra ubicado dentro de la Zona del Plan Parcial Aranda, municipio de Pasto en el departamento de Nariño, el cual ha sido elaborado siguiendo en todas las normas vigentes y lineamientos establecidos en el Decreto 1077 de 2015.

En consecuencia, asumo la responsabilidad desde mi profesión de acuerdo con las leyes vigentes.

Atentamente,

---

JORGE ANDRÉS ROSERO LEGARDA  
Ingeniero Ambiental  
52238-398801 NRÑ



San Juan de Pasto, 9 de noviembre de 2020

Señores  
Corporación Autónoma Regional de Nariño  
CORPONARIÑO  
Ciudad

#### MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, DANIA SOFÍA VARONA BRAVO, Geóloga, debidamente titulada e inscrita con matrícula profesional No. 4285 otorgada por el Consejo Profesional de Geología, declaro que hice parte del equipo técnico que trabajó en la elaboración de los ESTUDIOS DE GESTION DEL RIESGO POR LOS FENOMENOS DE REMOCION EN MASA, INUNDACION Y AVENIDAS TORRENCIALES PARA EL AREA DEL PLAN PARCIAL POLICIA METROPOLITANA, que se encuentra ubicado dentro de la Zona del Plan Parcial Aranda, municipio de Pasto en el departamento de Nariño, el cual ha sido elaborado siguiendo en todas las normas vigentes y lineamientos establecidos en el Decreto 1077 de 2015.

En consecuencia, asumo la responsabilidad desde mi profesión de acuerdo con las leyes vigentes.

Atentamente,

---

DANIA SOFÍA VARONA BRAVO  
Geóloga



San Juan de Pasto, 9 de noviembre de 2020

Señores  
Corporación Autónoma Regional de Nariño  
CORPONARIÑO  
Ciudad

#### MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, **DIEGO FERNANDO GALINDO GONZALEZ**, Ingeniero Sanitario y Ambiental, debidamente titulado e inscrito con matrícula profesional No. 52236159339NRÑ otorgada por el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería, declaro que hice parte del equipo técnico que trabajó en la elaboración de los **ESTUDIOS DE GESTION DEL RIESGO POR LOS FENOMENOS DE REMOCION EN MASA, INUNDACION Y AVENIDAS TORRENCIALES PARA EL AREA DEL PLAN PARCIAL POLICIA METROPOLITANA**, que se encuentra ubicado dentro de la Zona del Plan Parcial Aranda, municipio de Pasto en el departamento de Nariño, el cual ha sido elaborado siguiendo en todas las normas vigentes y lineamientos establecidos en el Decreto 1077 de 2015.

En consecuencia, asumo la responsabilidad desde mi profesión de acuerdo con las leyes vigentes.

Atentamente,

**DIEGO FERNANDO GALINDO GONZALEZ**  
Ingeniero Sanitario y Ambiental



San Juan de Pasto, 9 de noviembre de 2020

Señores  
Corporación Autónoma Regional de Nariño  
CORPONARIÑO  
Ciudad

### MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, FREDERMAN GALINDO LOPERA, Topógrafo, debidamente titulado e inscrito con matrícula profesional No. 01-0422 otorgada por el Consejo Profesional Nacional de Topografía, declaro que hice parte del equipo técnico que trabajó en la elaboración de los ESTUDIOS DE GESTION DEL RIESGO POR LOS FENOMENOS DE REMOCION EN MASA, INUNDACION Y AVENIDAS TORRENCIALES PARA EL AREA DEL PLAN PARCIAL POLICIA METROPOLITANA, que se encuentra ubicado dentro de la Zona del Plan Parcial Aranda, municipio de Pasto en el departamento de Nariño, el cual ha sido elaborado siguiendo en todas las normas vigentes y lineamientos establecidos en el Decreto 1077 de 2015.

En consecuencia, asumo la responsabilidad desde mi profesión de acuerdo con las leyes vigentes.

Atentamente,



---

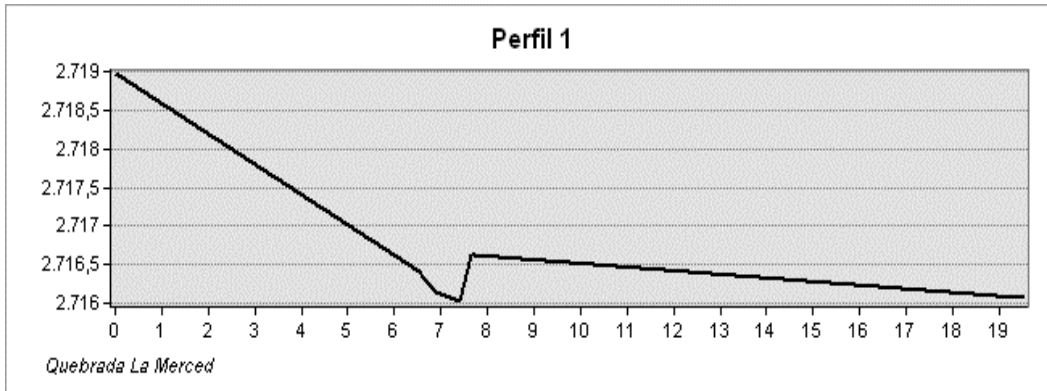
FREDERMAN GALINDO LOPERA  
Topógrafo



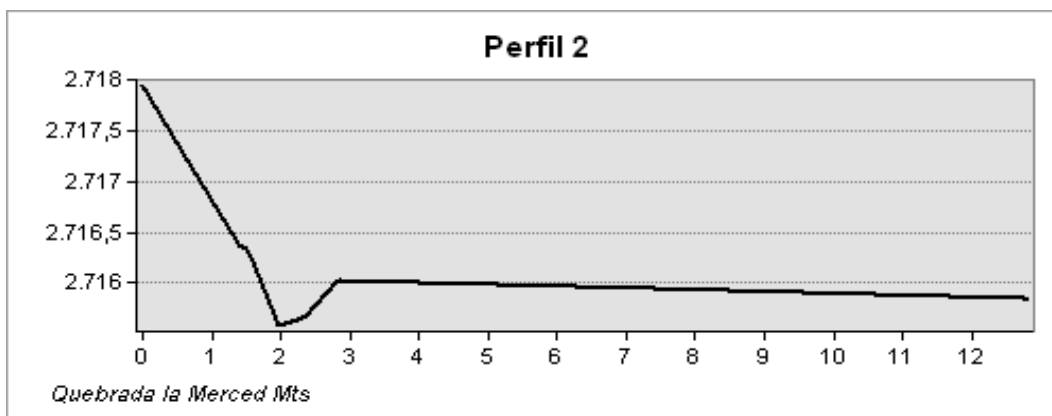
**ANEXO 5**

**INFORMACIÓN BATIMETRICA.**

Perfil 1				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
16	1695973.746	4525200.08	2718.95	Orilla izquierda
	1695970.811	4525194.25	2716.412	Cauce
	1695970.193	4525193.65	2716.127	Cauce
	1695970.089	4525193.37	2716.021	Cauce
	1695970.089	4525193.37	2716.632	Cauce
	1695966.044	4525182.27	2716.071	Orilla derecha

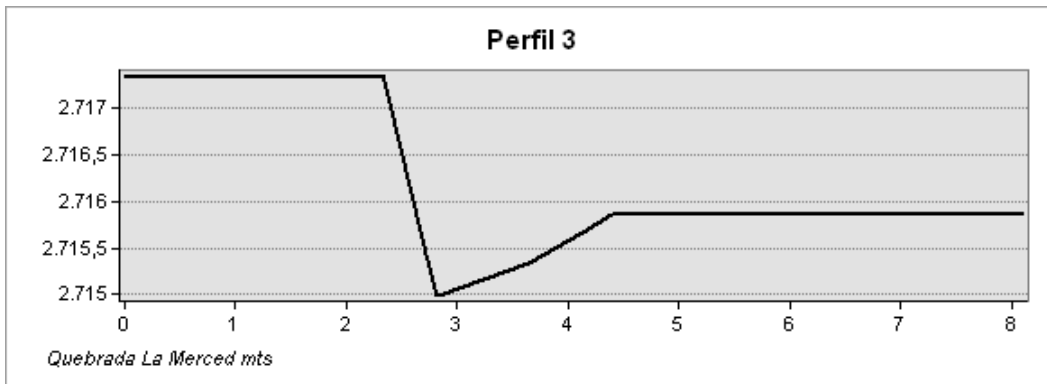


Perfil 2				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
33.4	1695958.528	4525205.86	2717.962	Orilla izquierda
	1695958.08	4525204.52	2716.361	Cauce
	1695957.572	4525204.54	2715.553	Cauce
	1695957.289	4525204.25	2715.676	Cauce
	1695957.037	4525203.84	2716.028	Cauce
	1695955.729	4525193.99	2715.84	Orilla derecha

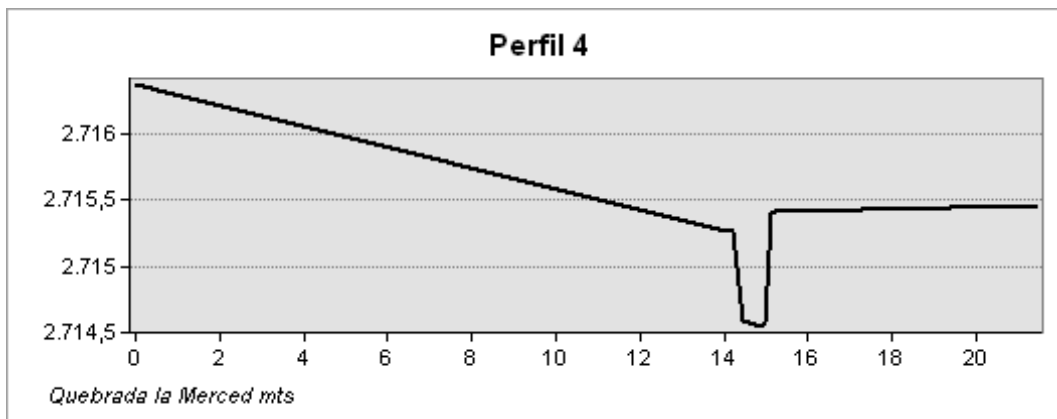




Perfil 3				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
52.42	1695952.047	4525222.99	2717.348	Orilla izquierda
	1695950.083	4525221.65	2717.327	Cauce
	1695949.707	4525221.43	2714.982	Cauce
	1695948.846	4525221.43	2715.322	Cauce
	1695948.221	4525220.98	2715.867	Cauce
	1695946.371	4525217.79	2715.951	Orilla derecha



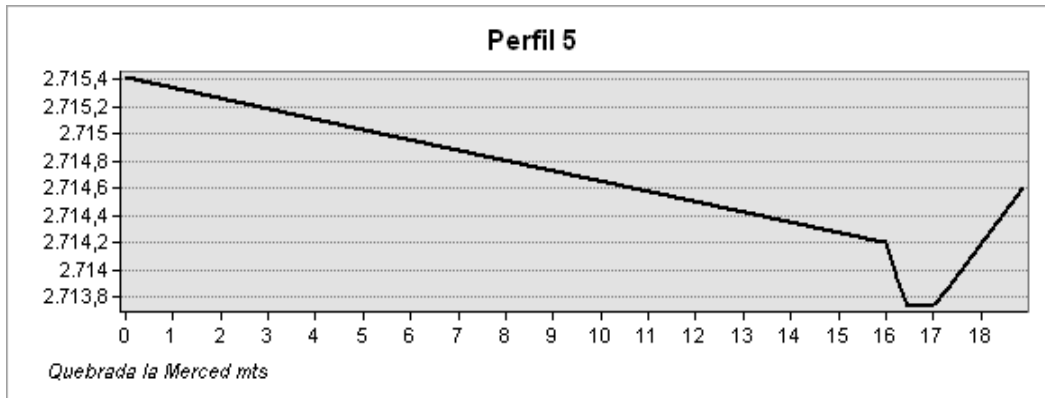
Perfil 4				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
59	1695948.171	4525238.72	2716.38	Orilla izquierda
	1695943.815	4525225.32	2715.259	Cauce
	1695943.596	4525225.02	2714.357	Cauce
	1695943.369	4525224.56	2714.444	Cauce
	1695943.289	4525224.33	2715.408	Cauce
	1695941.314	4525218.42	2715.459	Orilla derecha



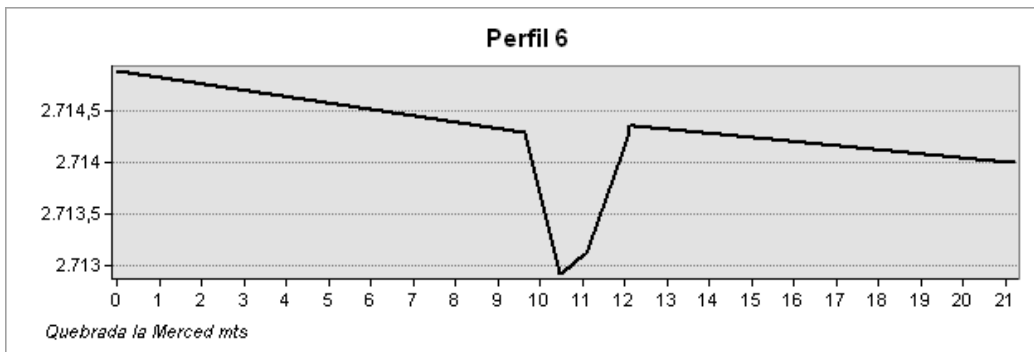




Perfil 5				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
73	1695934.306	4525239.03	2715.418	Orilla izquierda
	1695929.665	4525223.73	2714.198	Cauce
	1695929.833	4525223.28	2713.732	Cauce
	1695930.03	4525222.78	2713.741	Cauce
	1695929.105	4525221.16	2714.609	Orilla derecha

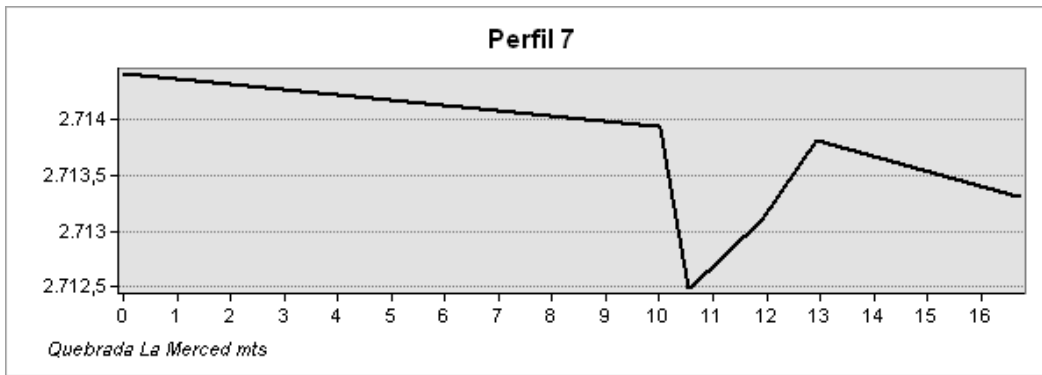


Perfil 6				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
89.6	1695918.124	4525239.5	2714.882	Orilla izquierda
	1695916.786	4525229.93	2714.284	Cauce
	1695916.112	4525229.45	2712.921	Cauce
	4525229.137	1695915.63	2713.115	Cauce
	1695915.371	4525228.06	2714.359	Cauce
	1695916.31	4525219.08	2713.995	Orilla derecha

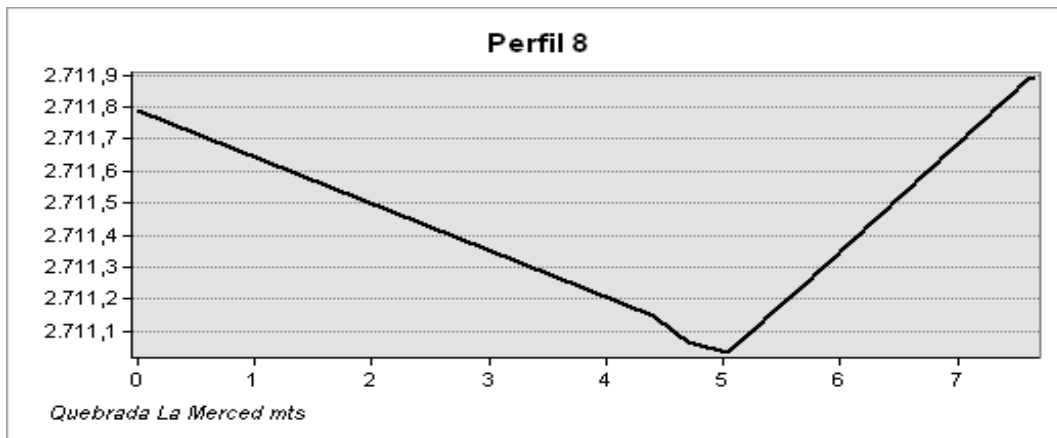




Perfil 7				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
101	1695901.322	4525241.62	2714.409	Orilla izquierda
	1695901.547	4525231.65	2713.935	Cauce
	1695901.473	4525231.08	2712.49	Cauce
	1695900.832	4525229.89	2713.096	Cauce
	1695900.228	4525229.06	2713.815	Cauce
	1695898.073	4525225.96	2713.301	Orilla derecha

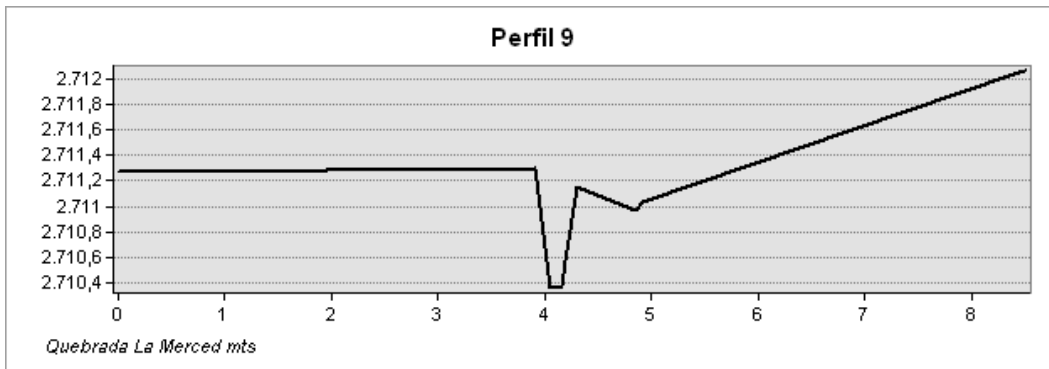


Perfil 8				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
155	1695850.987	4525245.34	2711.786	Orilla izquierda
	1695851.187	4525240.93	2711.148	Cauce
	1695851.1	4525240.63	2711.063	Cauce
	1695851.165	4525240.32	2711.033	Cauce
	1695851.097	4525237.73	2711.891	Orilla derecha

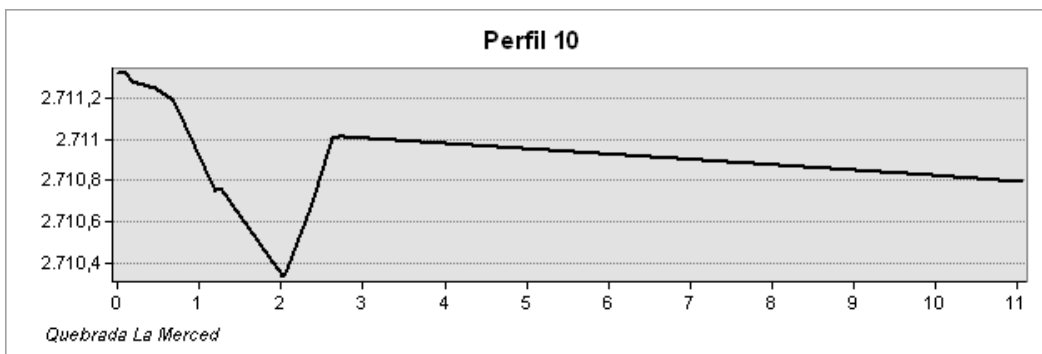




Perfil 9				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
162	1695844.707	4525247.11	2711.265	Orilla izquierda
	1695843.646	4525243.38	2711.293	Cauce
	1695843.565	4525243.24	2710.36	Cauce
	1695843.505	4525243.05	2710.377	Cauce
	1695843.341	4525242.43	2711.027	Cauce
	1695842.531	4525238.95	2712.061	Orilla derecha

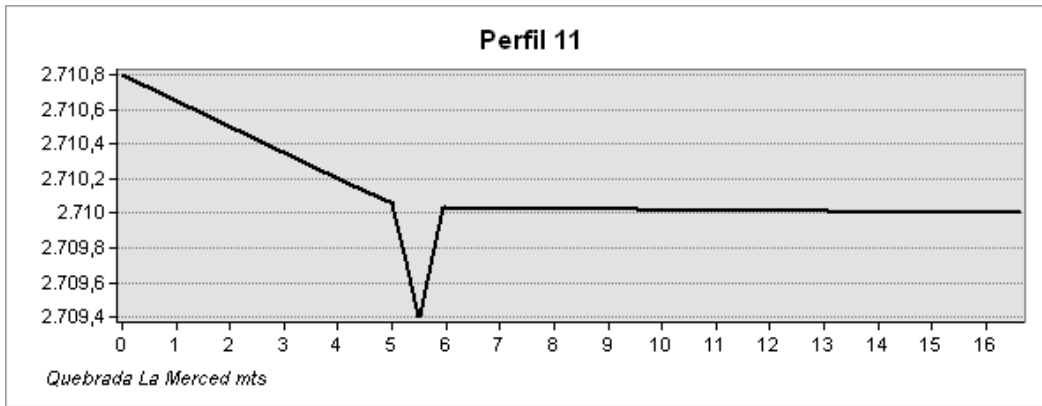


Perfil 10				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
175	1695834.845	4525243.52	2711.369	Orilla izquierda
	1695835.336	4525243.14	2711.188	Cauce
	1695835.534	4525242.65	2710.751	Cauce
	1695835.507	4525241.83	2710.338	Cauce
	1695835.883	4525241.3	2711.012	Cauce
	1695833.229	4525233.41	2710.795	Orilla derecha

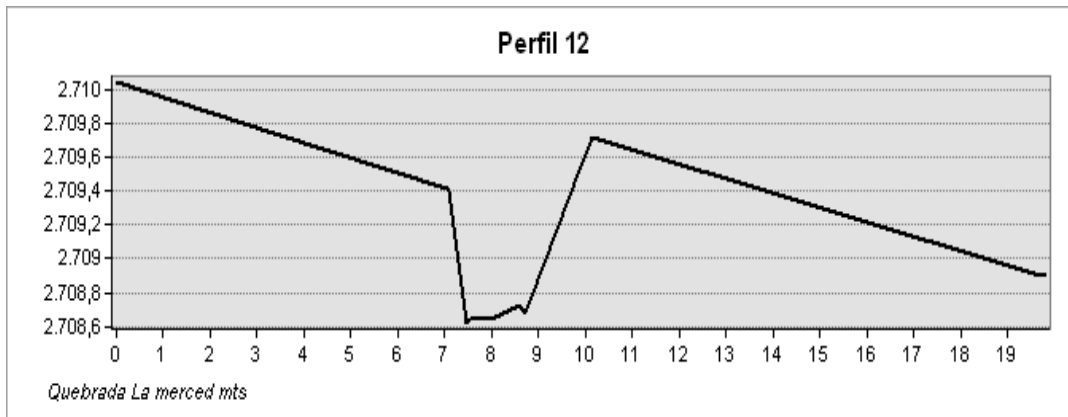




Perfil 11				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
186	1695823.49	4525238	2710.805	Orilla izquierda
	1695827.612	4525235.08	2710.05	Cauce
	1695828.036	4525234.85	2709.4	Cauce
	1695828.048	4525234.71	2709.4	Cauce
	1695828.105	4525234.42	2710.036	Cauce
	1695823.888	4525224.62	2710.004	Orilla derecha

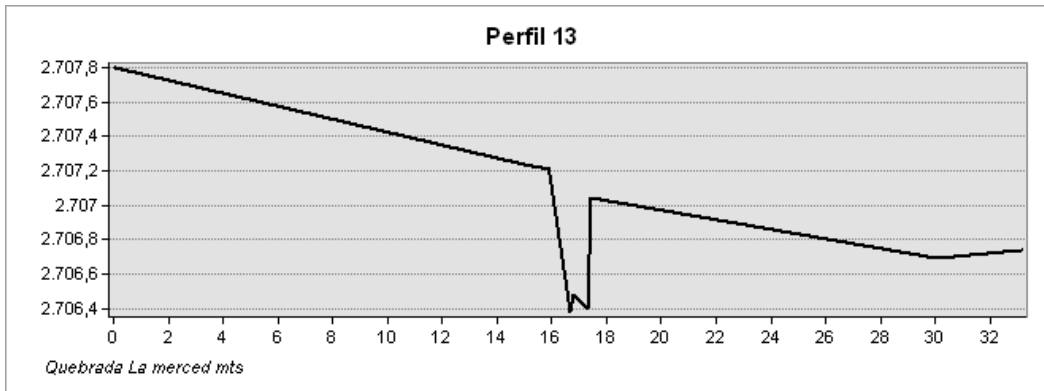


Perfil 12				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
209	1695805.257	4525231.26	2710.045	Orilla izquierda
	1695802.904	4525224.59	2709.412	Cauce
	1695802.871	4525224.19	2708.62	Cauce
	1695803.621	4525223.21	2708.674	Cauce
	1695803.691	4525221.78	2709.725	Cauce
	1695798.053	4525213.98	2708.907	Orilla derecha

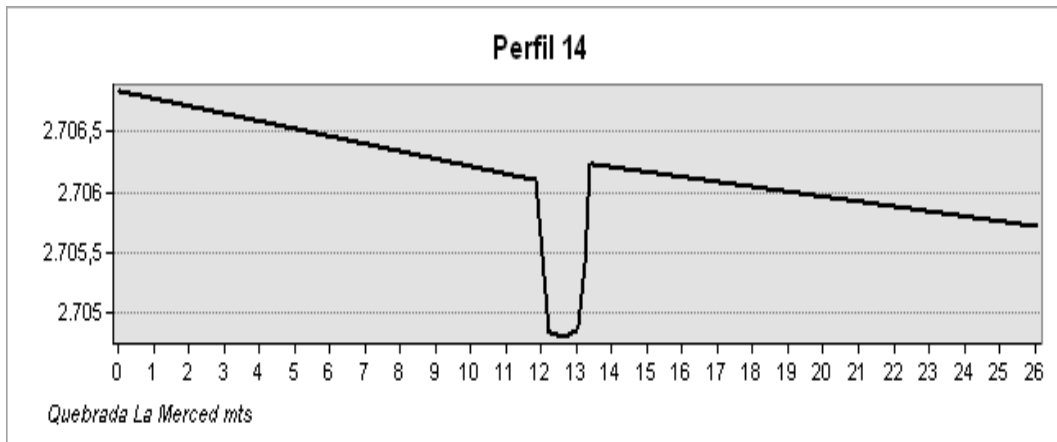




Perfil 13				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
261	1695752.416	4525228.9	2707.801	Orilla izquierda
	1695756.172	4525213.42	2707.205	Cauce
	1695756.051	4525212.65	2706.377	Cauce
	1695755.966	4525212.06	2706.378	Cauce
	1695756.001	4525211.94	2707.043	Cauce
	1695753.064	4525196.48	2706.736	Orilla derecha

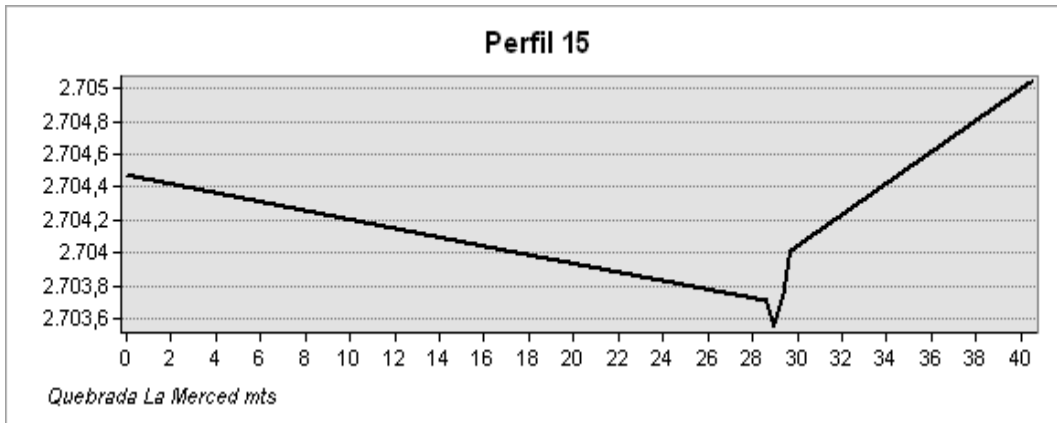


Perfil 14				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
289	1695735.704	4525226.62	2706.836	Orilla izquierda
	1695730.33	4525216.14	2706.106	Cauce
	1695729.943	4525216.04	2704.821	Cauce
	1695729.377	4525215.44	2704.774	Cauce
	1695729.275	4525215.08	2706.236	Cauce
	1695722.158	4525204.63	2705.723	Orilla derecha

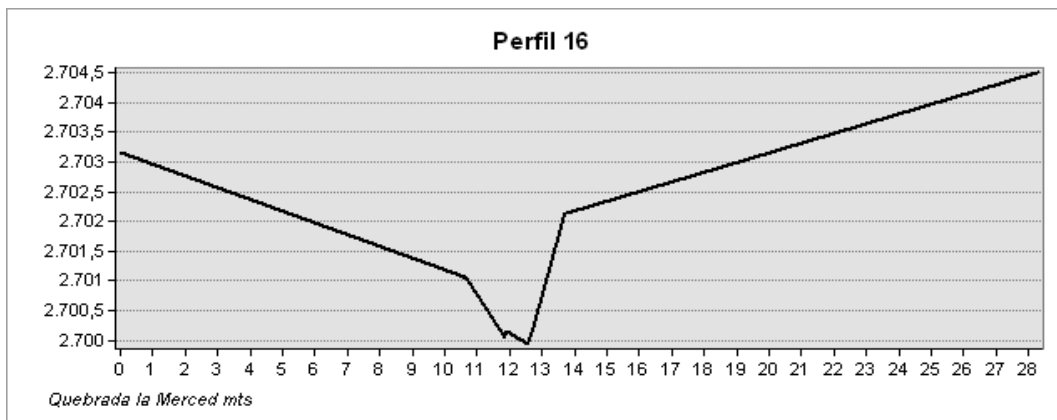




Perfil 15				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
312	1695701.939	4525246.34	2704.456	Orilla izquierda
	1695708.486	4525218.43	2703.71	Cauce
	1695708.538	4525218.11	2703.556	Cauce
	1695708.631	4525217.74	2703.543	Cauce
	1695708.64	4525217.38	2704.013	Cauce
	1695709.528	4525206.59	2705.034	Orilla derecha

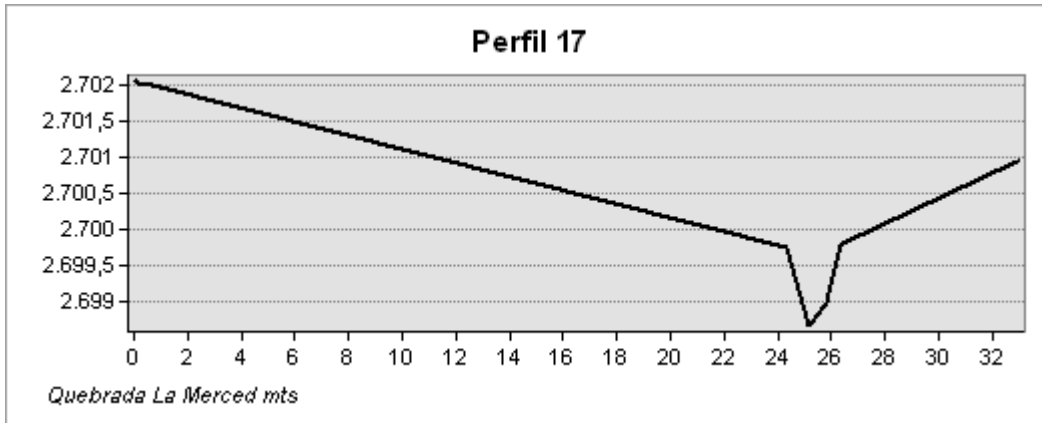


Perfil 16				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
331	1695692.403	4525233.32	2703.167	Orilla izquierda
	1695694.189	4525222.81	2701.052	Cauce
	1695694.217	4525221.63	2700.055	Cauce
	1695693.679	4525221.14	2699.922	Cauce
	1695693.153	4525220.1	2702.129	Cauce
	1695698.739	4525206.7	2704.496	Orilla derecha

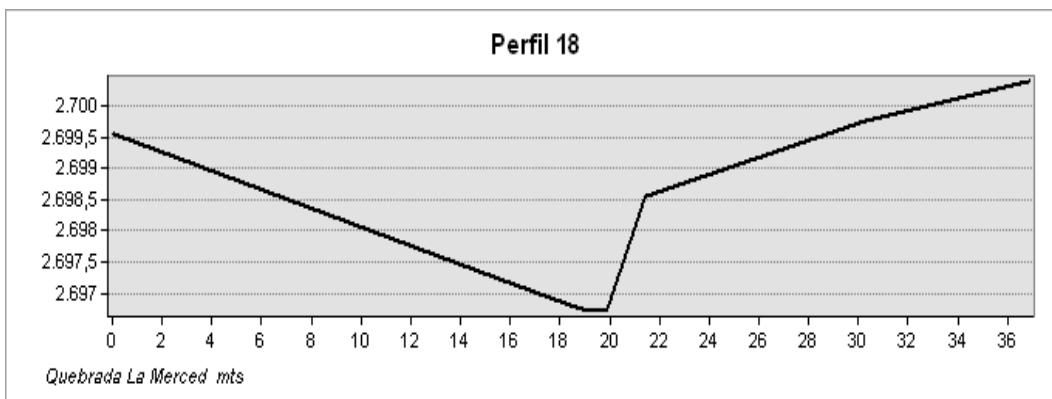




Perfil 17				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
362	1695648.75	4525239.89	2702.024	Orilla izquierda
	1695659.602	4525217.36	2698.658	Cauce
	1695659.8	4525216.79	2698.941	Cauce
	1695659.851	4525216.19	2699.785	Cauce
	1695660.127	4525209.63	2700.943	Orilla derecha

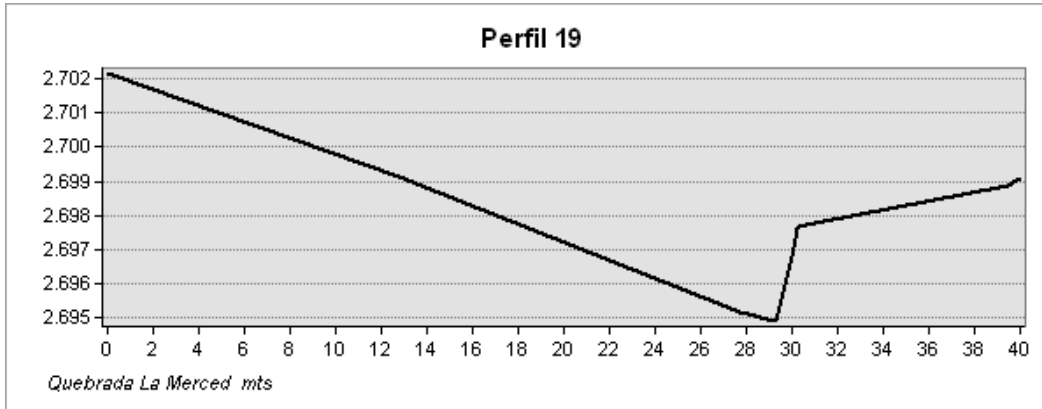


Perfil 18				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
383	1695627.963	4525232.6	2699.539	Orilla izquierda
	1695637.542	4525216.36	2696.74	Cauce
	1695637.531	4525215.4	2696.697	Cauce
	1695637.478	4525213.87	2698.533	Cauce
	1695635.634	4525198.53	2700.379	Orilla derecha

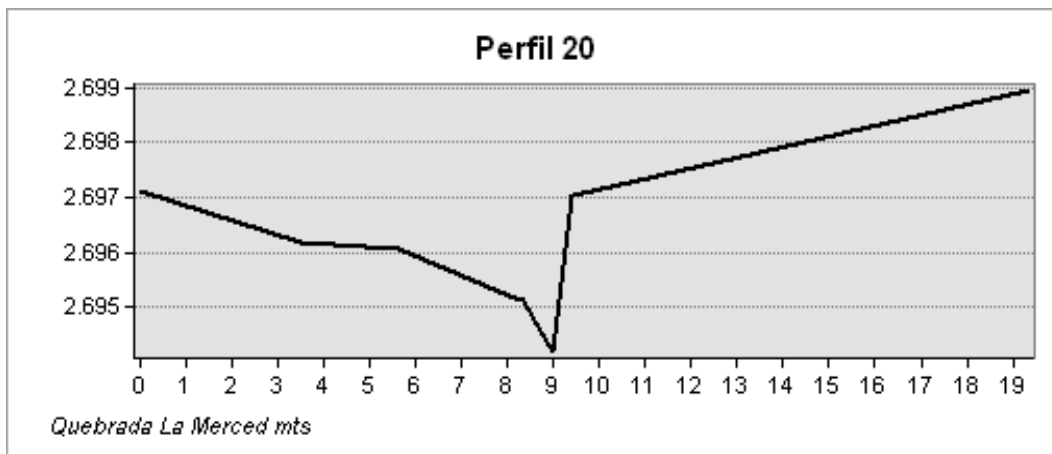




Perfil 19				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
400	1695620.681	4525243.15	2702.1702	Orilla izquierda
	1695619.362	4525215.2	2695.079	Cauce
	1695619.341	4525213.99	2694.863	Cauce
	1695619.031	4525203.49	2699.089	Orilla derecha



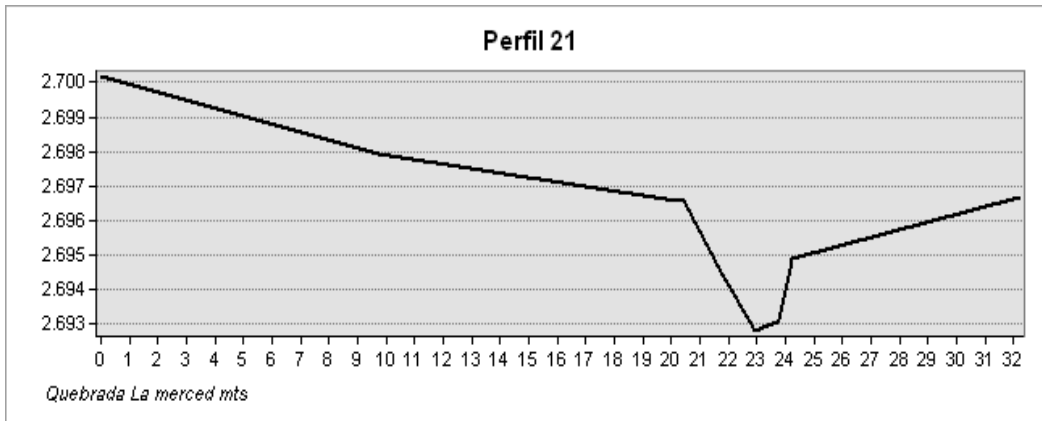
Perfil 20				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
404	1695614.487	4525222.49	2697.094	Orilla izquierda
	1695615.706	4525214.28	2695.129	Cauce
	1695615.759	4525213.55	2694.196	Cauce
	1695615.832	4525213.15	2697.028	Cauce
	1695616.162	4525203.19	2698.949	Orilla derecha



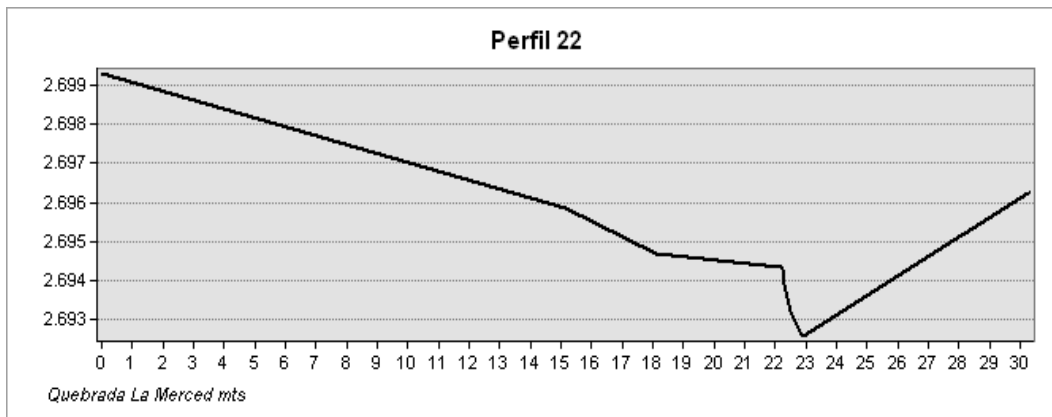




Perfil 21				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
440	1695582.333	4525230.78	2700.2137	Orilla izquierda
	1695579.76	4525210.42	2696.573	Cauce
	1695579.697	4525207.93	2692.774	Cauce
	1695579.624	4525207.07	2693.069	Cauce
	1695579.532	4525206.58	2694.855	Cauce
	1695581.549	4525198.83	2696.647	Orilla derecha

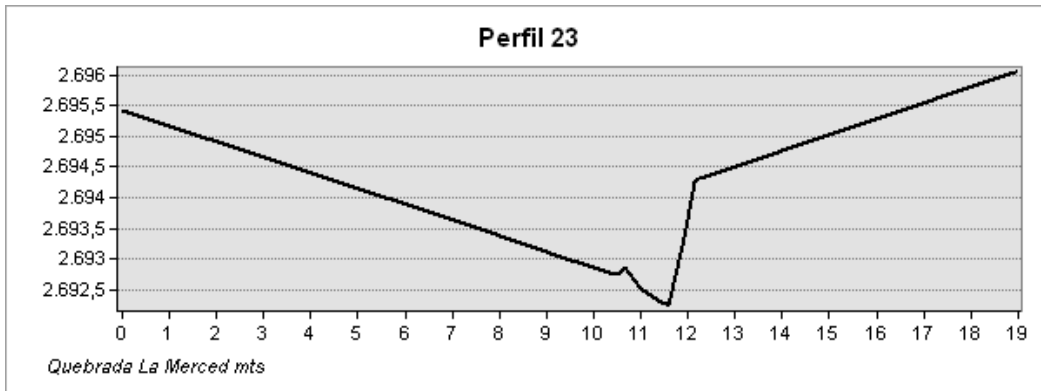


Perfil 22				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
453	1695569.924	4525226.15	2699.2944	Orilla izquierda
	1695570.188	4525203.9	2694.324	Cauce
	1695570.36	4525203.75	2693.068	Cauce
	1695570.781	4525203.59	2692.582	Cauce
	1695572.655	4525196.49	2696.235	Orilla derecha

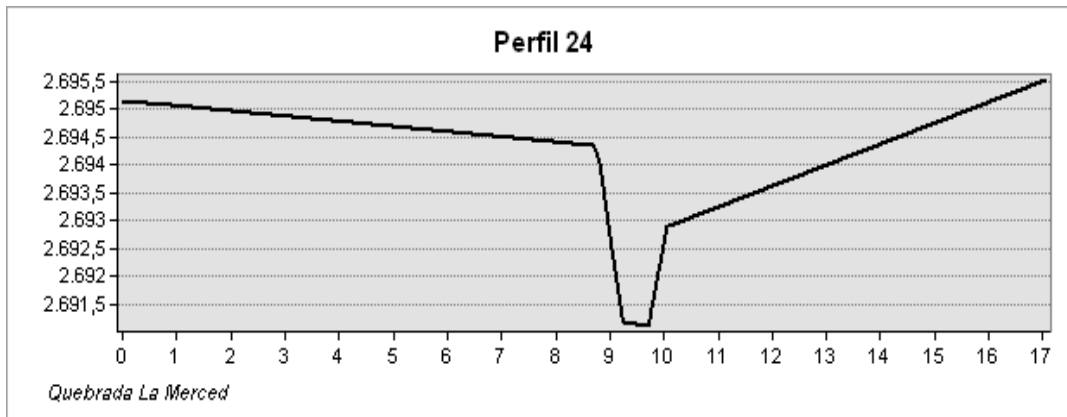




Perfil 23				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
461	1695564.614	4525211.31	2695.415	Orilla izquierda
	1695563.403	4525201.7	2692.952	Cauce
	1695562.847	4525201.05	2692.741	Cauce
	1695562.745	4525200	2692.231	Cauce
	1695562.447	4525199.47	2694.305	Cauce
	1695558.082	4525194.31	2696.052	Orilla derecha

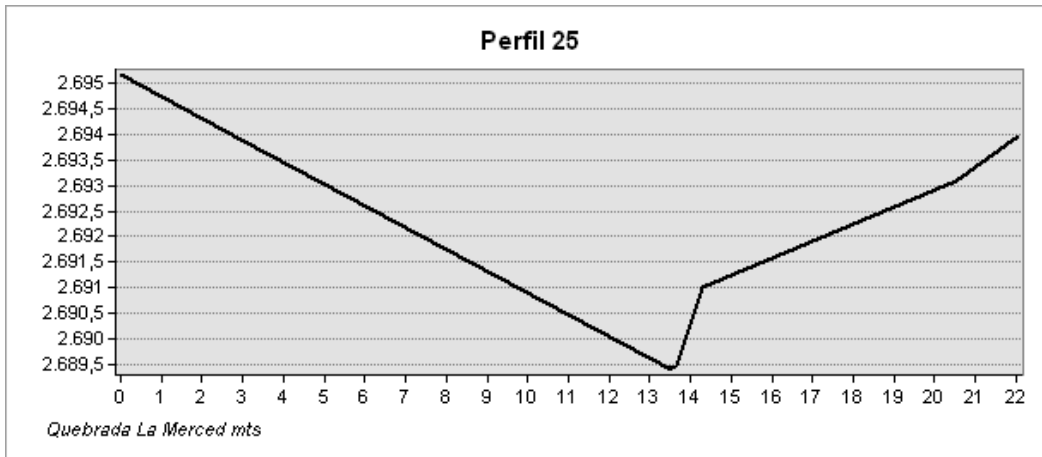


Perfil 24				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
479	1695553.583	4525212.14	2695.169	Orilla izquierda
	1695556.315	4525203.86	2694.341	Cauce
	1695556.294	4525203.31	2691.156	Cauce
	1695556.467	4525202.88	2691.103	Cauce
	1695556.57	4525202.57	2692.898	Cauce
	1695556.419	4525195.62	2695.506	Orilla derecha

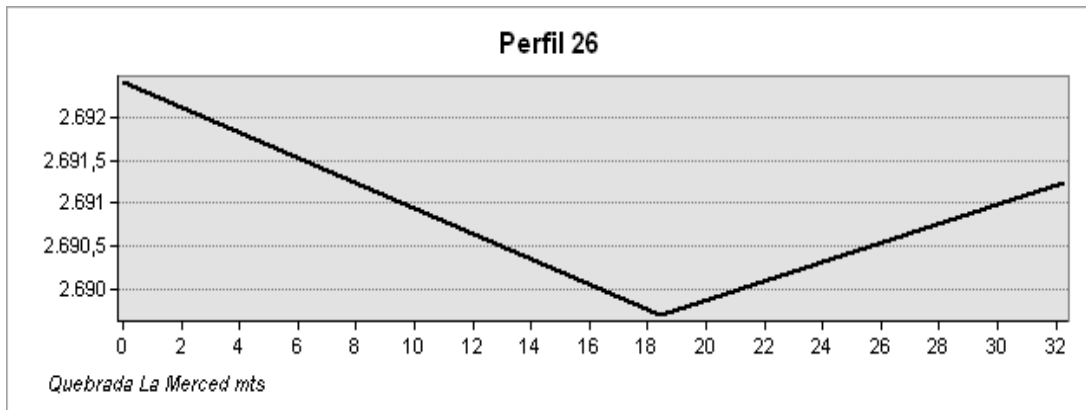




Perfil 25				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
483	1695532.792	4525216.19	2695.1975	Orilla izquierda
	1695534.723	4525202.74	2689.398	Cauce
	1695534.009	4525202.45	2691.207	Cauce
	1695532.591	4525194.75	2693.948	Orilla derecha

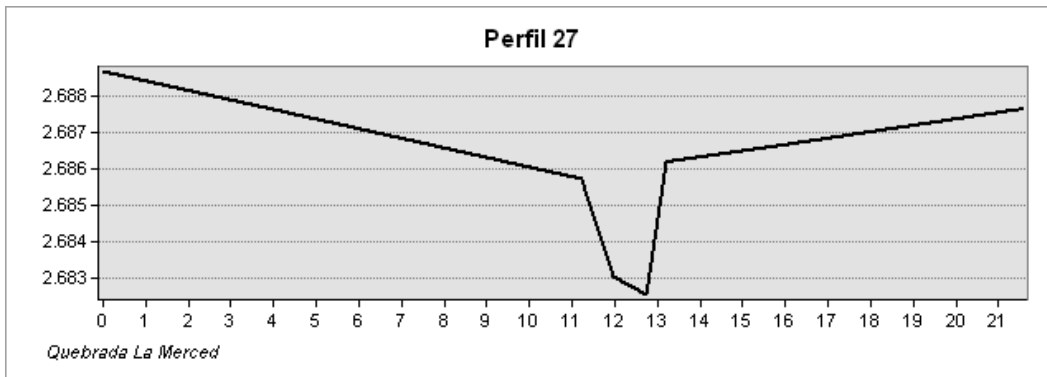


Perfil 26				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
520	1695484.925	4525205.5	2692.4211	Orilla izquierda
	1695486.996	4525187.24	2689.701	Cauce
	1695489.195	4525173.41	2691.249	Orilla derecha

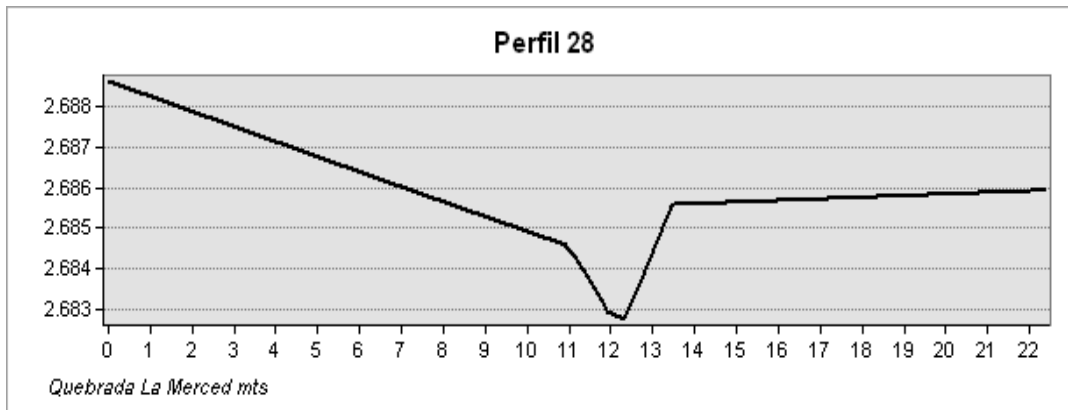




Perfil 27				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
583	1695544.049	4525218.03	2697.0247	Orilla izquierda
	1695544.893	4525204.97	2693.49	Cauce
	1695544.914	4525204.01	2691.458	Cauce
	1695544.352	4525203.63	2691.595	Cauce
	1695544.394	4525202.9	2693.457	Cauce
	1695545.11	4525194.29	2695.76	Orilla derecha

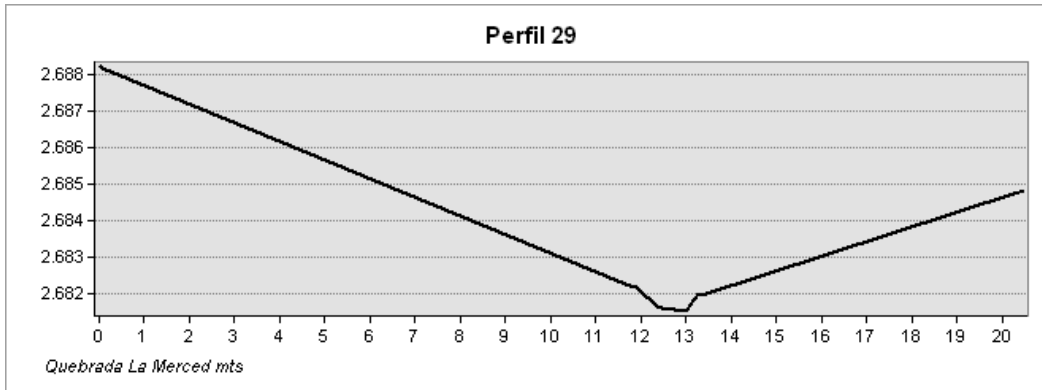


Perfil 28				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
589	1695434.979	4525192.66	2688.6332	Orilla izquierda
	1695438.821	4525181.9	2682.8367	Cauce
	1695438.926	4525181.29	2682.8929	Cauce
	1695438.935	4525180.98	2682.7577	Cauce
	1695439.103	4525179.86	2685.5603	Cauce
	1695437.958	4525171.09	2685.9528	Orilla derecha

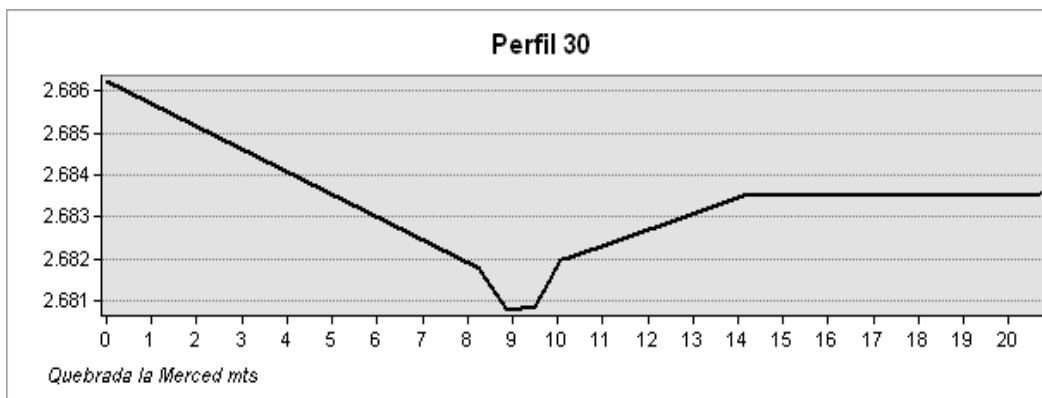




Perfil 29				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
603	1695422.905	4525190.89	2688.4069	Orilla izquierda
	1695424.195	4525178.48	2682.1913	Cauce
	1695424.407	4525177.99	2681.6087	Cauce
	1695424.417	4525177.36	2681.5252	Cauce
	1695424.323	4525177.09	2681.9603	Cauce
	1695427.831	4525170.84	2684.7894	Orilla derecha



Perfil 30				
Longitud (Abcisa) Mts	Norte	Este	Cota (msnm)	Observación
610	1695417.811	4525186.01	2686.271	Orilla izquierda
	1695419.439	4525177.92	2681.7724	Cauce
	1695419.423	4525177.36	2680.7633	Cauce
	1695419.576	4525176.71	2680.8474	Cauce
	1695419.703	4525176.13	2681.978	Cauce
	1695419.668	4525165.56	2683.5332	Orilla derecha





**PASTO**  
**LA GRAN CAPITAL**  
ALCALDÍA MUNICIPAL

SECRETARÍA  
DE PLANEACIÓN