

SAN JUAN DE PASTO NARIÑO

PLAN PARCIAL

VILLA DOLORES

DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE
TOMO A

2022

Promotor del Proyecto

Sierra Colombia Investments S.A.S

Coordinación General y Diseño Urbano

Contexto Urbano S.A

Asesoría Jurídica

Cuatrecasas

Estudios Técnicos Ambientales y Gestión Riesgo

Ing. Claudia Juajinoy

Ing. Francisco Mafla

Geol. Ana Milena Muñoz

Estudios Técnicos Hidráulicos

Plinco S.A - Ing. Yair Calle

Estudios Técnicos Eléctricos

Ielseg S.A.S - Ing. Andrés Manosalva

Estudios Técnicos de Movilidad

Spiral Ingeniería S.A- Ing. Julián Chala / Ing. Eduardo Nates

01 | MEMORIA JUSTIFICATIVA

1.1 Localización

- 1.1.1 Localización General
- 1.1.2 Localización Específica

1.2 Objetivos

- 1.2.1 Objetivos General
- 1.2.2 Objetivos Específicos

1.3 Justificación Normativa

- 1.3.1 Marco Normativo Nacional
- 1.3.2 Acuerdo 004 de 2015

1.4 Delimitación del Plan Parcial

- 1.4.1 Delimitación Actual del Plan Parcial Mijitayo
- 1.4.2 Delimitación Propuesta del Plan Parcial Villa Dolores

1.5 Identificación Predial

1.6 Cesiones Anticipadas

02 | DIAGNÓSTICO FÍSICO

2.1 Clasificación del Suelo

2.2 Estructura Ecológica Principal

- 2.2.1 Identificación de elementos de la Estructura Ecológica Principal

2.3 Gestión del Riesgo

2.4 Estructura Funcional y de Servicios

- 2.4.1 Sistema de Movilidad
- 2.4.2 Sistema de Equipamientos
- 2.4.3 Sistema de Espacio Público
- 2.4.4 Sistema de Servicios Públicos

2.5 Estructura Socio Económica

- 2.5.1 Usos del Suelo

03 | FORMULACIÓN

3.1 Referentes Projectuales

3.2 Concepto Urbanístico

3.3 Planteamiento Urbano

- 3.3.1 Identificación Predial
- 3.3.2 Delimitación Propuesta del Plan Parcial
- 3.3.3 Propuesta Urbanística General
- 3.3.4 Usos Propuestos
- 3.3.5 Áreas Privadas Afectas al Uso Público
- 3.3.6 Obligación VIP

3.4 Norma Urbanística

- 3.4.1 Ficha Normativa Uso Comercial
- 3.4.2 Ficha Normativa Uso Residencial
- 3.4.3 Normas Volumétricas Comunes
- 3.4.4 Estacionamientos exigidos

04 | GESTIÓN Y FINANCIACIÓN

4.1 Estrategias de Gestión

- 4.1.1 Etapas de Desarrollo
- 4.1.2 Unidades de Gestión Única

4.2 Estrategias de Financiación

- 4.2.1 Cuadro General de Áreas
- 4.2.2 Cargas Locales
- 4.2.3 Ventas Estimadas
- 4.2.4 Valor Residual del Suelo

|CONTENIDO



INTRODUCCIÓN

El presente Documento Técnico de Soporte, da cuenta de la propuesta de formulación del Plan Parcial de Desarrollo “Villa Dolores”, ubicado en el suelo de expansión del Municipio San Juan de Pasto en el departamento de Nariño, al sur de Colombia. Lo anterior se realiza dentro de los lineamientos definidos por el Plan de Ordenamiento Territorial vigente, Acuerdo 004 de 2015, y la normativa nacional, Ley 388 de 1997 y el Decreto Único Nacional 1077 de 2015.

El Acuerdo 004 de 2015 define los suelos de expansión urbana como *“La porción del territorio municipal que se habilitará para el desarrollo de usos urbanos durante la vigencia del Plan de Ordenamiento Territorial, de conformidad con las previsiones específicas sobre la materia. Se identifican como zonas de expansión urbana la zona Nor-Oriental, Aranda, Sur-Jamondino, Mijitayo y Altamira identificadas en las tablas 2,3,4,y5 del Anexo AG2 y especializadas en el Plano No. 6G.”*

El Plan Parcial Villa Dolores se encuentra ubicado dentro del Plan Parcial de Expansión Mijitayo,, el cual obedece a un área

de expansión pre- delimitada por el Acuerdo 004 de 2015 y el EE7 – Planes Parciales, y se encuentra dentro de la categoría de suelo urbano y de expansión. Por tratarse de un área clasificada dentro del suelo de expansión establecido por el POT vigente, deberá tramitarse por medio del instrumento de Plan Parcial, el cual deberá ser revisado y aprobado por la autoridad municipal correspondiente, en este caso la Secretaría de Planeación del Municipio de Pasto.

El presente documento técnico de soporte busca generar un análisis detallado a nivel normativo , diagnóstico físico-espacial de todos los sistemas que componen el territorio y las estrategias de gestión y financiación del proyecto, como sustento para la elaboración de una propuesta técnica urbanística, que permita el desarrollo del predio de análisis, garantizando su adecuada implantación con el contexto existente , respondiendo a las necesidades del Municipio de San Juan de Pasto y al proceso de consolidación de las disposiciones de su Plan de Ordenamiento Territorial

The background of the page is a light blue map of a city grid. A river flows through the city, and a specific area in the center-right is highlighted with a darker blue outline. The text is overlaid on the bottom left of the map.

MEMORIA
JUSTIFICATIVA

01

1.1 LOCALIZACIÓN

1.1.1 Localización General

El Plan Parcial Villa Dolores se ubica en el Municipio de San Juan de Pasto, en el departamento de Nariño, situado en el suroccidente de Colombia, en medio de la cordillera de los Andes. El departamento de Nariño, limita al occidente con el océano pacífico y con el puerto de Tumaco en el Municipio del mismo nombre, el cual al ubicarse frente a la cuenca oceánica con mayor extensión del mundo (catalogada también como reserva ambiental), lo vincula directamente con la mayor ruta de intercambio comercial a nivel global, mejorando y facilitando sus relaciones económicas. Hacia el occidente, el departamento limita con Ecuador, vinculando todas las relaciones de puertos secos, transportes y flujos comerciales del continente; al oriente, limita con el departamento de Cauca y Putumayo

El departamento de Nariño cuenta con 64 municipios, los cuales cuentan con una población de 1.765.906 habitantes aproximadamente, lo que representa el 3,62% de la población nacional. El departamento cuenta con conectividad terrestre, aérea y marítima, lo que facilita su accesibilidad y competitividad a nivel nacional. La ciudad de pasto se conecta por el norte con Popayán y hacia el sur con Ipiales, por medio de la Carretera Panamericana. Hacia el occidente de la ciudad, se conecta con el puerto de Tumaco, ubicado en el Océano Pacífico, por medio de la calzada del mar. Tanto el aeropuerto Antonio Nariño, situado en el municipio de Chachagüí a 35 km y el aeropuerto San Luis localizado en el municipio de Ipiales, prestan los servicios aeroportuarios al Municipio de Pasto. El departamento de Nariño cuenta con diversas zonas turísticas, tanto ambientales como arquitectónicas, tales como el santuario de Nuestra Señora de las Lajas, el volcán Galeras, la laguna de Cocha entre otros.

El Municipio de San Juan de Pasto, tiene una superficie de 1.181km² los cuales 14,7km², corresponden al área urbana, con una población de mas de 460.638 habitantes. El área urbana esta dividida por 12 comunas y 414 barrios y el área rural se divide en 17 corregimientos con sus respectivas cabeceras corregimentales o comúnmente llamados centros poblados. El Plan Parcial Villa Dolores, se ubica en el occidente de la ciudad de Pasto, en el costado próximo al Volcán Galeras, el cual se encuentra ubicado a 9 km de la cabecera municipal, se encuentra en proximidad con la Vía Panamericana, la cual atraviesa a la ciudad de oriente a occidente y conecta a Colombia con varios países de Sur América.



Imagen 1: Localización General
Fuente: Elaboración propia

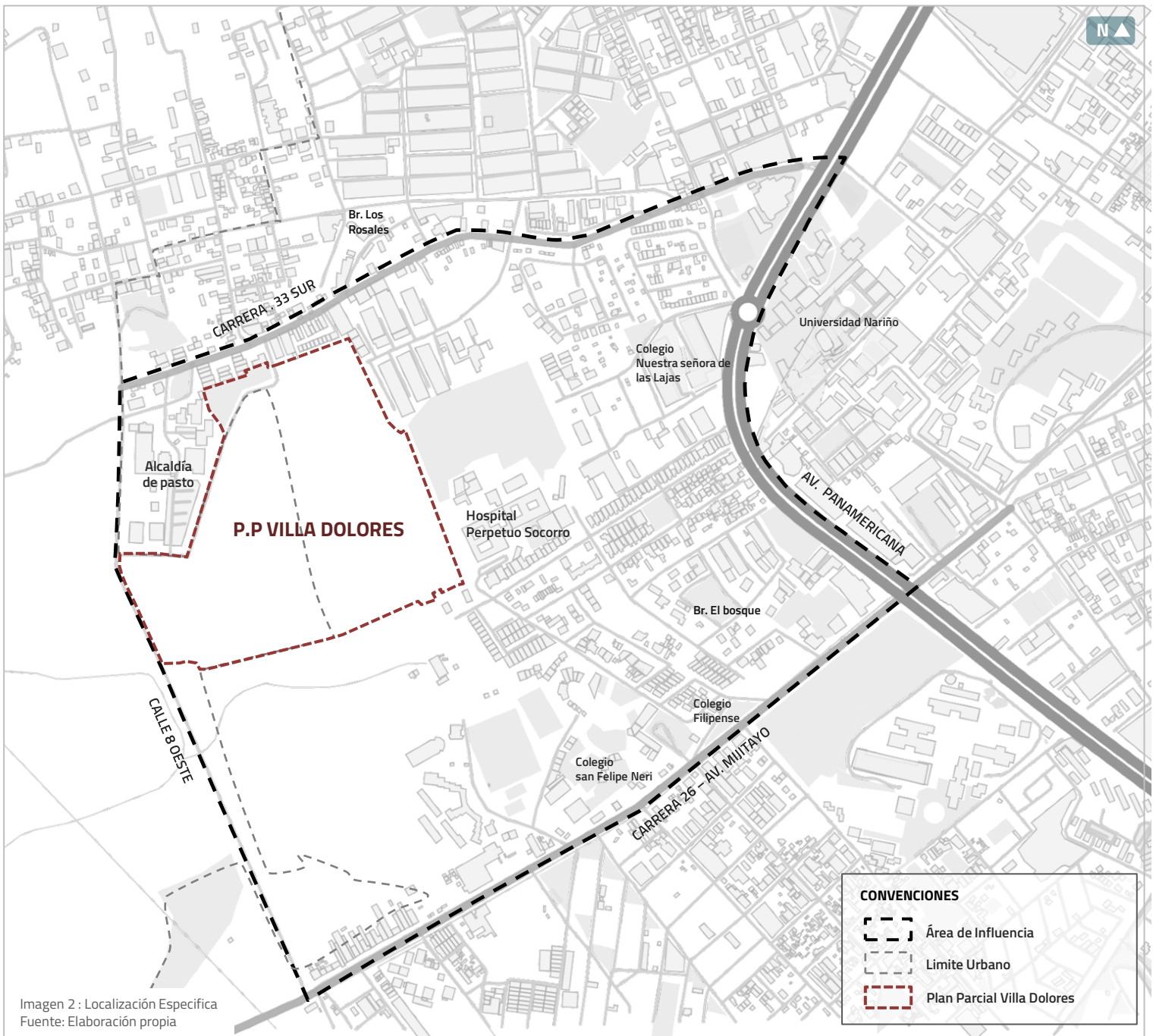


Imagen 2 : Localización Específica
Fuente: Elaboración propia

1.1.2 Localización Específica

El Plan Parcial Villa Dolores se encuentra ubicado al suroccidente del Municipio de Pasto, en la comuna número 7. El predio colinda con la Calle 8 Oeste, la cual corresponde al anillo vial paisajístico, que tiene como función estructurar la movilidad de la periferia de la ciudad. El predio se encuentra próximo a la Avenida Mijitayo o Carrera 26, la cual garantiza la comunicación con la zona nororiental de la ciudad. De igual manera, el predio se encuentra cerca a la Carrera 33, por el costado norte, la cual lo conecta con la Av. Panamericana

El Plan Parcial Villa Dolores colinda, al costado noroccidental con la Alcaldía Municipal de Pasto - sede Anganoy, la Plaza de Mercado Anganoy y la Calle 8 Oeste; en el costado oriental, colinda con el Hospital Psiquiátrico Perpetuo Socorro; y en el costado sur, colinda con un predio no urbanizado que se encuentra dentro de la delimitación del Plan Parcial de Expansión Mijitayo.



1.2 | OBJETIVOS

GENERALES Y ESPECÍFICOS

1.2.1 Objetivos Generales

- Consolidar un proyecto que potencie el desarrollo urbano del occidente del Municipio de San Juan de Pasto, alineándose con criterios de crecimiento urbano balanceado, articulación de sistemas urbanos existentes, e implementación de usos mixtos de comercio, vivienda y servicios que dinamicen el área de influencia del plan .

1.2.2 Objetivos Específicos

- **Proponer** un desarrollo urbano que armonice lo definido en el POT de San Juan de Pasto (Decreto 004 de 2015), y se articule con las metas, objetivos y programas estratégicos dispuestos en el Plan Distrital de Desarrollo vigente para el Municipio.
- **Mejorar** las condiciones de calidad, cobertura y accesibilidad al espacio público en el sector colindante al Plan Parcial.
- **Articular** el planteamiento urbanístico del Plan Parcial a la futura red de transporte y malla vial proyectada a futuro.
- **Proveer** espacios públicos de calidad para la población proyectada, por medio de la creación de nuevas zonas verdes publicas y zonas peatonales accesibles y continuas.
- **Aumentar y diversificar** la oferta de comercio, vivienda y servicios para los diferentes tipos de población, con el fin de brindar garantías y mejores condiciones de habitabilidad y accesibilidad en el territorio.
- **Incorporar** equipamientos al sector occidental del Municipio, con el fin de fortalecer la red dotacional y garantizar la accesibilidad y cobertura en esta zona.



1.3 | JUSTIFICACIÓN

NORMATIVA

1.3.1 Justificación del Plan Parcial en el Marco Normativo Nacional

La Ley 388 de 1997 es el marco regulatorio de la reforma urbana, que consagra, como uno de los principios rectores del ordenamiento territorial en Colombia, la prevalencia del interés general sobre el particular, el reparto equitativo de cargas y beneficios y la función social y ecológica de la propiedad.

En ese marco legal, se genera el instrumento de planificación en ejercicio, es decir, el Plan Parcial, definiéndolo en su artículo 19 como: *“Instrumentos mediante los cuales se desarrollan y complementan las disposiciones de los planes de ordenamiento, para áreas determinadas del suelo urbano y para las áreas incluidas en el suelo de expansión urbana, además de las que deban desarrollarse mediante Unidades de Actuación Urbanística, Macroproyectos u otras operaciones urbanas especiales”*.

Posterior a esta ley, a través del Decreto Nacional 2181 de 2006, se reglamenta el artículo 19 de la Ley 388 de 1997, que consagra las disposiciones aplicables a todo el territorio nacional en materia de planes parciales, definiendo, entre otras cosas, el contenido y las etapas requeridas para la expedición del instrumento por parte de la autoridad municipal.

El Decreto 1077 de 2015, compilatorio de la normatividad del sector ciudad, vivienda y territorio hace un compendio de las normas vigentes y en las que se contiene las disposiciones relativas a los planes parciales, en cuanto a su definición, utilidad y trámite ante la autoridad competente, en la subsección 5, sección 1, capítulo 1, título 2 referente a la planeación para el ordenamiento territorial (Artículo 2.2.2.1.2.5.1 y siguientes); normativa aplicable al proceso de formulación, revisión y aprobación del del Plan Parcial “Villa Dolores”

1.3.2 Justificación del Plan Parcial en el Marco del Acuerdo 004 de 2015

Según el artículo 219 del Acuerdo 004 de 2015, *“Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pasto 2015 – 2027 Pasto Territorio Con – Sentido”* el tratamiento urbanístico de desarrollo tiene como objetivo *“regular la urbanización de los predios o conjunto de predios urbanizables no urbanizados, o de predios que en su oportunidad contaron con licencia urbanística y no cumplieron con la entrega de cesiones y/o ejecución de las obras de urbanización aprobadas en la misma, en suelo urbano y de expansión”*.

El tratamiento urbanístico de desarrollo busca dotar los predios con infraestructura de servicios públicos domiciliarios, vías locales, equipamientos y espacios públicos requeridos para la habilitación de suelo aprovechable destinado a nuevos usos que harán parte del suelo urbano municipal. La aplicación del tratamiento garantiza también el crecimiento planificado y ordenado del territorio, representa la oportunidad de consolidar un borde urbano compacto y a la vez convertir zonas del municipio en sectores atractores de inversión y desarrollo.

El Artículo 220 del Acuerdo 004 de 2015 establece que el tratamiento de desarrollo se aplica a los siguientes predios:

- Predios a los cuales se les haya asignado el tratamiento de desarrollo.
- Predios urbanizables no urbanizados.
- Predios que se desarrollaron en forma incompleta sin el cumplimiento total de las cargas urbanísticas o cesiones establecidas en la licencia de urbanización.

Adicionalmente, de acuerdo al artículo 350 del Acuerdo 004 de 2015, los Planes Parciales son instrumentos para el desarrollo de zonas especiales del suelo urbano y de expansión urbana, que son tipos de suelo donde se localiza el Plan Parcial Villa Dolores, y que son esenciales para el fortalecimiento del modelo de ciudad sostenible ya que optimizan los sistemas urbanos.

1.4 | DELIMITACIÓN

DEL ÁMBITO DEL PLAN PARCIAL

1.4.1 Delimitación Actual del Plan Parcial

La delimitación actual del Plan Parcial Villa Dolores, obedece al polígono denominado "Plan Parcial Mijitayo" que se encuentra en el Plano EE7 del Acuerdo 004 del 2015. El Plan Parcial Mijitayo, limita hacia el occidente con la Calle 8 Oeste y la sede de Anganoy de la Alcaldía de Pasto, hacia el sur con la Quebrada Mijitayo, hacia el oriente con el Hospital Perpetuo Socorro y hacia el norte con la Quebrada y el barrio los Rosales.

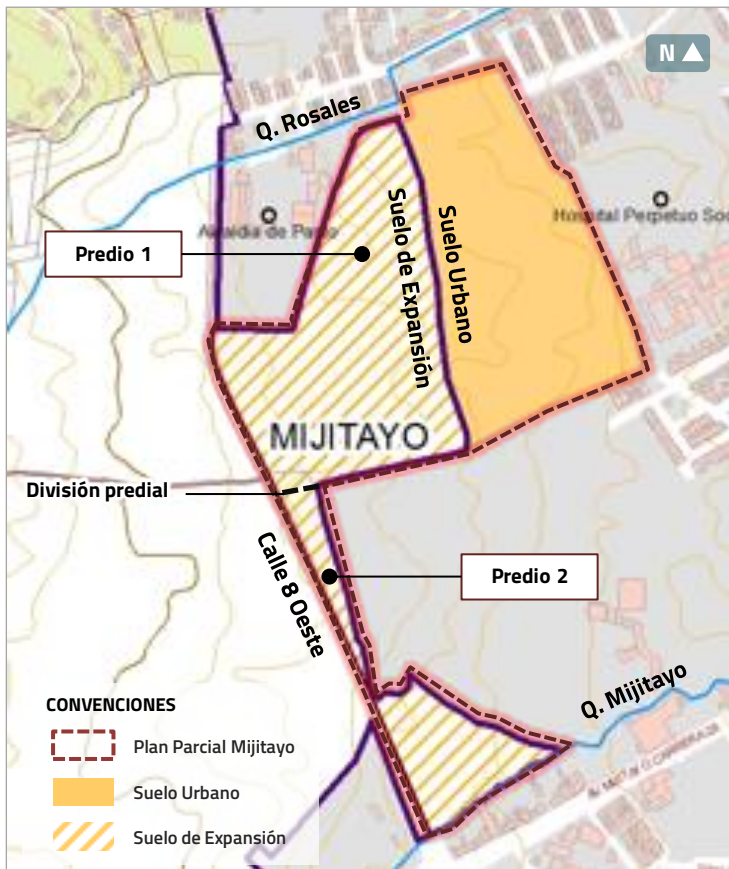


Imagen 3: Delimitación Actual del Plan Parcial
Fuente: Plano EE7 – Acuerdo 004 de 2015

Dicha delimitación contempla 2 predios, respectivamente, el predio 1, que cuenta con una porción en suelo urbano y otra en suelo de expansión urbana con un área aproximada total de 140.750m^2 ; y el predio 2 que no cuenta con identificación catastral y que tiene un área aproximada de 27.400m^2 , para un área total de 168.150m^2 correspondiente al Plan Parcial Mijitayo. La delimitación presentada para el Plan Parcial Mijitayo corresponde a la original, sin embargo, en los capítulos a continuación se presentarán los argumentos para la solicitud de re delimitación que le dan origen al nuevo ámbito del Plan Parcial Villa Dolores.

• Restricción de desarrollo por condiciones geométricas

La delimitación actual del Plan Parcial Mijitayo, presenta condiciones geométricas irregulares especialmente en el predio 2 mencionado anteriormente, localizado hacia el sur de dicha delimitación. Dichas características condicionan el desarrollo urbanístico en esa zona, ya que las áreas que se obtienen se consideran resultantes y de poco aprovechamiento para la ciudad.

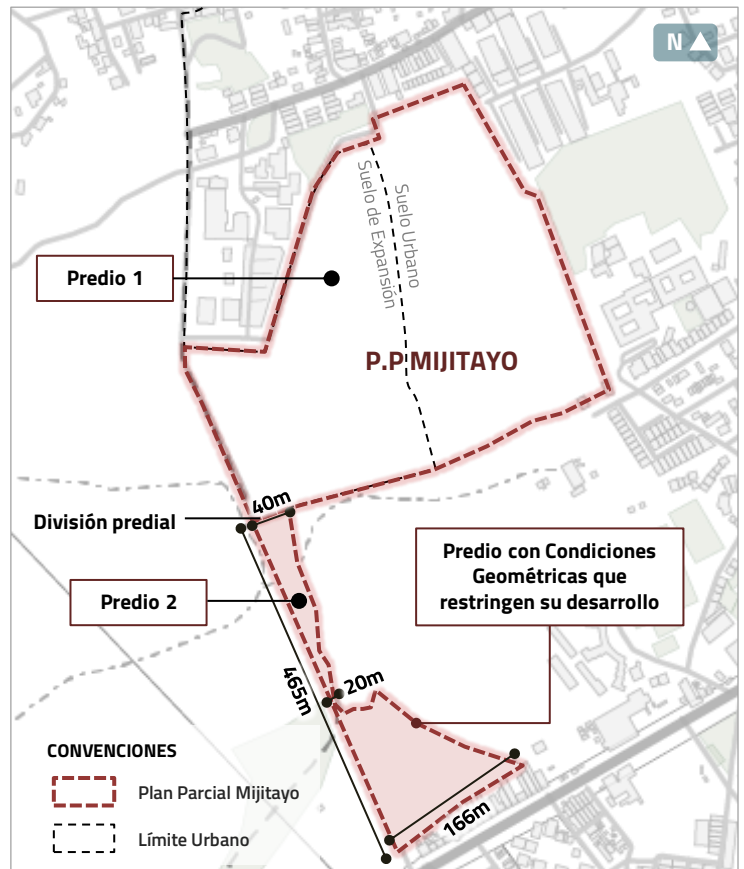


Imagen 4: Restricción de desarrollo por condiciones geométricas
Fuente: Elaboración propia

La distancia más larga del predio se presenta sobre la Calle 8 Oeste, con una longitud aproximada de 465m, sin embargo, presenta distintas dimensiones de ancho, en la parte norte es de 40m, hacia la mitad del predio es de 20m y hacia el sur es de 166m aproximadamente.

Adicionalmente, la geometría del lote presenta diagonales y líneas irregulares que configuran áreas complejas para el desarrollo urbanístico y que acompañadas de las restricciones ambientales que se especifican en capítulos posteriores de este documento, consolidan un escenario de desarrollo restringido para dicho predio.

• Restricción de desarrollo por Flujos secundarios

EL predio 2 mencionado anteriormente, localizado hacia el sur del Plan Parcial Mijitayo, se encuentra en una zona localizada dentro del Sector 2 (S2) para restricción por flujo de lodo secundario, dicha condición pertenece a las consecuencias que se pueden presentar en las áreas que se encuentren en condición de riesgo por el fenómeno amenazante de erupción del volcán Galeras.

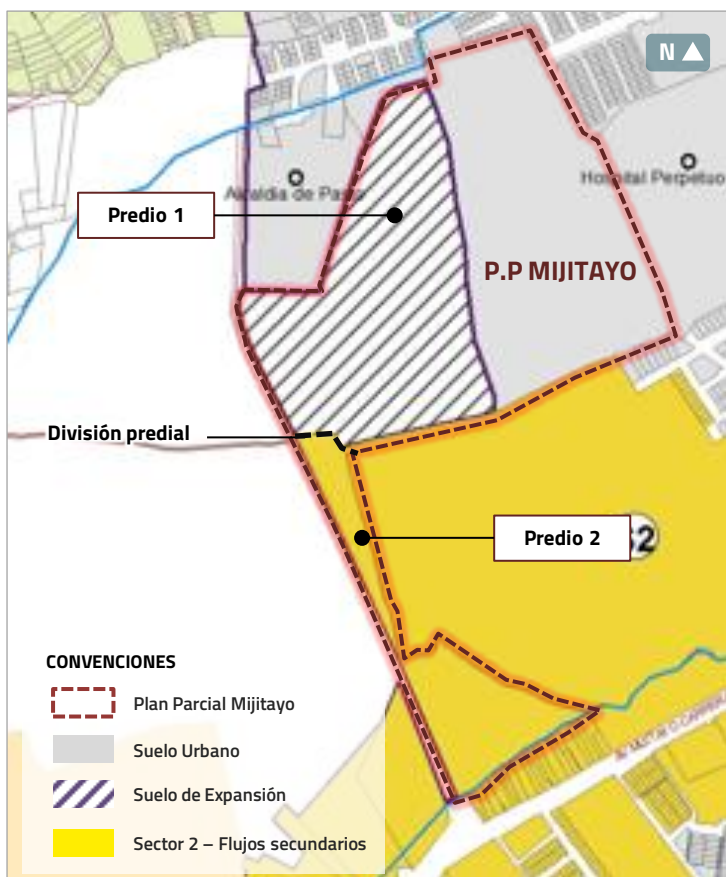


Imagen 5: Delimitación Actual del Plan Parcial
Fuente: Plano EE7 – Acuerdo 004 de 2015

Con las condiciones mencionadas anteriormente, se evidencia que el predio 2 está localizado en un sector de riesgo medio de flujo de lodos secundarios, este nivel de riesgo, dificulta el desarrollo urbanístico del lote ya que limita la altura máxima por morfología urbana, los usos permitidos en primera planta, prohíbe la construcción de sótano por debajo de la cota del sardinel de las vías del sector y condiciona el índice de ocupación que se puede alcanzar en el desarrollo urbanístico.

• Restricción de desarrollo por condiciones ambientales

Hacia el sur del Plan Parcial Mijitayo, se encuentra la Quebrada Mijitayo, la cual afecta con su ronda hídrica al predio 2 mencionado anteriormente. Dichas rondas hídricas tienen una dimensión de 30m a lado y lado del cauce del cuerpo hídrico de acuerdo a lo estipulado en el artículo 62 del Acuerdo 004 de 2015 y a la delimitación presentada en el plano EA 30 – Rondas Hídricas.

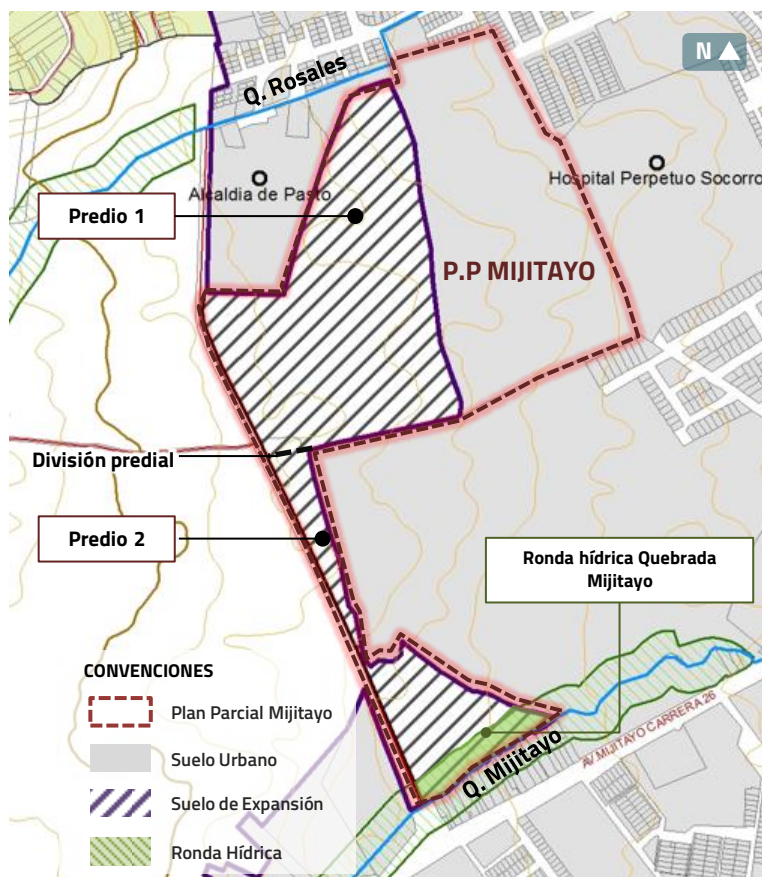


Imagen 6: Restricción de desarrollo por condiciones ambientales
Fuente: Plano EA30 – Acuerdo 004 de 2015

Las rondas hídricas se definen como un área de especial importancia ecológica de dominio público inalienable, imprescriptible e inembargables que tienen un papel fundamental desde el punto de vista ambiental. Es por lo anterior, que la afectación que se presenta sobre el predio 2, limita aun más la posibilidad de un desarrollo urbanístico que le aporte a la ciudad, ya que en conjunto con las afectaciones mencionadas anteriormente, las áreas a desarrollar son resultantes y restringidas.

1.4.2 Delimitación Propuesta de del Plan Parcial Villa Dolores

A partir de lo anterior, se genera como conclusión la solicitud para la re-delimitación del Plan Parcial Mijitayo, teniendo en cuenta las condiciones geométricas irregulares del predio 2 localizado hacia el sur, la afectación por condición de riesgo ambiental (Flujo de Lodo Secundario), sobre el mismo predio y la afectación por ronda hídrica de la Quebrada Mijitayo localizada sobre la misma área. Dichas condiciones, dificultan el desarrollo urbanístico del polígono original correspondiente al Plan Parcial Mijitayo y es por tal razón que se propone una nueva delimitación denominada "Plan Parcial Villa Dolores", con el fin de garantizar un adecuado desarrollo urbanístico que le aporte a la ciudad.

La propuesta de re delimitación contempla un polígono con 149.833,39m² de área bruta.

Dicha propuesta de re-delimitación consiste en **excluir** el predio ubicado en el costado sur del predio, frente a la Calle 8 Oeste y la Quebrada Mijitayo, ya que no cuenta con identificación catastral y sus condiciones de desarrollo están restringidas..

Adicionalmente, se propone **incorporar 2 predios** dentro del ámbito del Plan Parcial "Villa Dolores" un predio de 3.383,84m² ubicado en el costado nor-occidental del ámbito original, el cual corresponde a un predio privado sin edificar que cuenta con condiciones de colindancia y geometría que podrían dificultar su desarrollo individual, y otro predio que corresponde a la vía existente entre la sede de Anganoy de la alcaldía de Pasto y el predio 1, que cuenta con un área 5.695,68m².

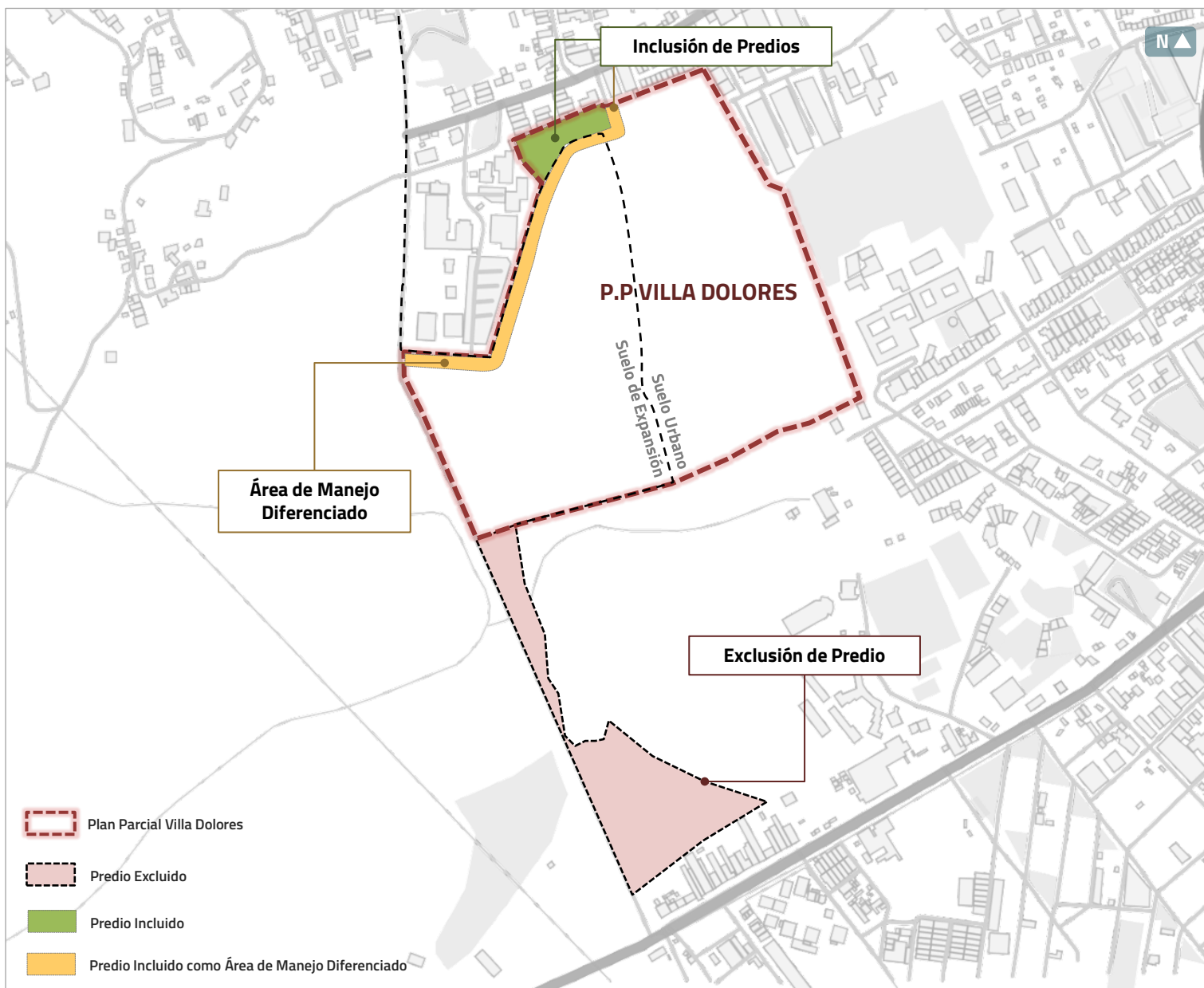


Imagen 7: Propuesta de Re delimitación del Plan Parcial
Fuente: Elaboración propia

1.5 IDENTIFICACIÓN

PREDIAL

El delimitado propuesto para el Plan Parcial “Villa Dolores” se compone de tres predios, los cuales suman un área bruta total de 149.833,39 m², en donde el lote no.1, identificado con la matrícula inmobiliaria 240-224802, cuenta con un área topográfica de 140.753,87 m². El lote no. 2 , identificado con la matrícula inmobiliaria 240-191101,cuenta con un área topográfica de 5.695,68m². El lote no. 3, identificado con la matrícula inmobiliaria 240 – 193039, cuenta con un área topográfica de 3.383,84m². Se evidencian diferencias numéricas entre las áreas topográficas y las áreas de los estudios de títulos del Plan Parcial, sin embargo, debido a que las diferencias no superan el 3% de cada predio, no es necesario ajustar los folios de matrícula de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 15°, Resolución Conjunta IGAC 1101 – SNR 11344 de 2020 .

Con respecto al lote No. 3, se incluye dentro del ámbito del Plan Parcial Villa Dolores, como un área de manejo diferenciado, ya que corresponde a un predio que ya es propiedad del municipio, y que la razón para incorporarla radica en garantizar la operación del uso propuesto, mediante la rehabilitación de dicha área para la generación de un circuito vial

Cuadro de Identificación Predial			
Predio	Área Topográfica	Área de Títulos	Matrícula Inmobiliaria
Lote 1	140.753,87 m ²	140.395,95 m ²	240-224802
Lote 2	5.695,68 m ²	5.870 m ²	240-191101
Lote 3	3.383,84 m ²	3.569,3 m ²	240-193039

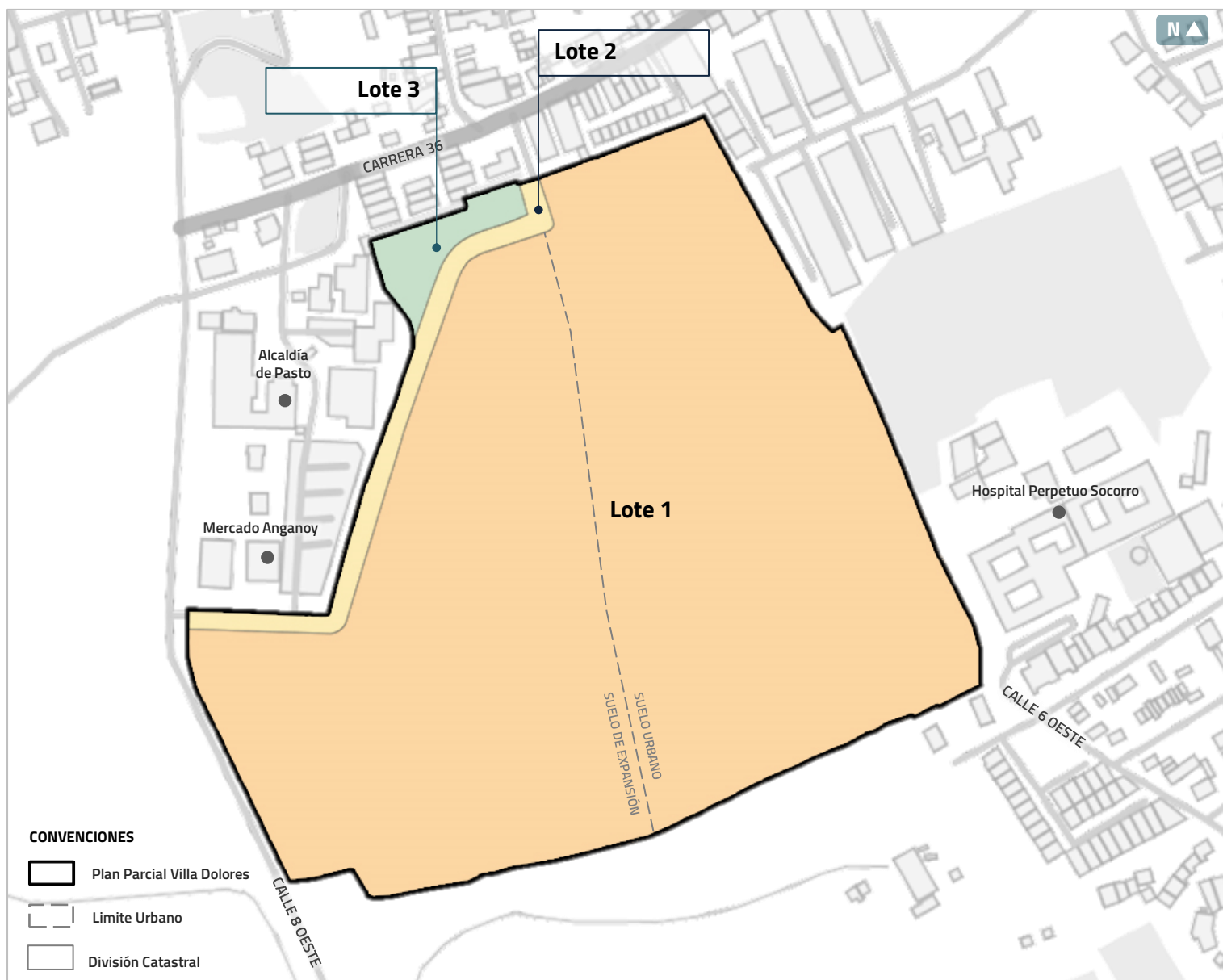


Imagen 8: Identificación predial del Plan Parcial
Fuente: Elaboración propia

1.6 | CESIONES

ANTICIPADAS

El Artículo 51 del Decreto Nacional 1600 de 2005, indica que "podrán ser objeto de cesión anticipada los predios sin urbanizar que resulten convenientes para proyectos de interés general o utilidad pública contemplados en el Plan de Ordenamiento Territorial", es decir, que las cesiones anticipadas se encuentran habilitadas como mecanismo a través del cual, el municipio adquiere la propiedad de suelos para desarrollar en ellos proyectos de utilidad pública.

Mediante la escritura pública 3176 del 23 de Diciembre de 2005, otorgada en la Notaría 1 de Pasto se transfirió, al Municipio de Pasto, la titularidad del derecho de dominio de 2 franjas de terrenos con áreas de 6.460 m² y 5.870 m², resultando en un área total de 12.330 m². A cada una de las áreas resultantes se le abrieron folios de matrícula inmobiliaria independiente (240-191100 y 240-191101). Esta situación da cuenta del cumplimiento del segundo inciso del artículo 51 del Decreto Nacional 1600 de 2005, que indica que para materializar la entrega anticipada se deberá celebrar una escritura pública e inscribirse en el registro. En dicha escritura se indicó que la destinación del suelo objeto de la cesión anticipada era la conformación de la vía pública denominada "CAM – Rosales"

Según la escritura pública 3176 de 2005 "El Municipio en razón a que el precio se encuentra avaluado en un mayor valor, reconoce como área de cesión anticipada, para efecto de cesiones por urbanismo o producto de la aplicación del artículo 205 del POT el cincuenta y cinco por ciento (55%) del área total adquirida que será aplicada en el evento en el vendedor desarrolle un proyecto urbanístico o de construcción", lo anterior implica que el equivalente al 55% de 12.330 m² (del área total transferida por Escritura Pública al Municipio), corresponde a 6.781,5 m².

Por su parte, el artículo 205 del Decreto Municipal 84 de 2003 señalaba los porcentajes de cesión que deben ser transferidas por el urbanizador al Municipio a título gratuito y obligatorio, con destino a zonas verdes, equipamiento comunal y vías. Este precepto normativo no hace referencia alguna a que las cesiones que hayan sido objeto de entrega anticipada deban ser descontadas de algún componente en específico (vías, espacio público o equipamientos). De igual manera, se evidencia que ni el POT vigente, ni la Escritura Pública 3176 del 23 de diciembre de 2005, mediante la cual se materializó la cesión anticipada, señalaron de cual componente (espacio público-zonas verdes, equipamientos, vías) se debían descontar las cesiones anticipadas.

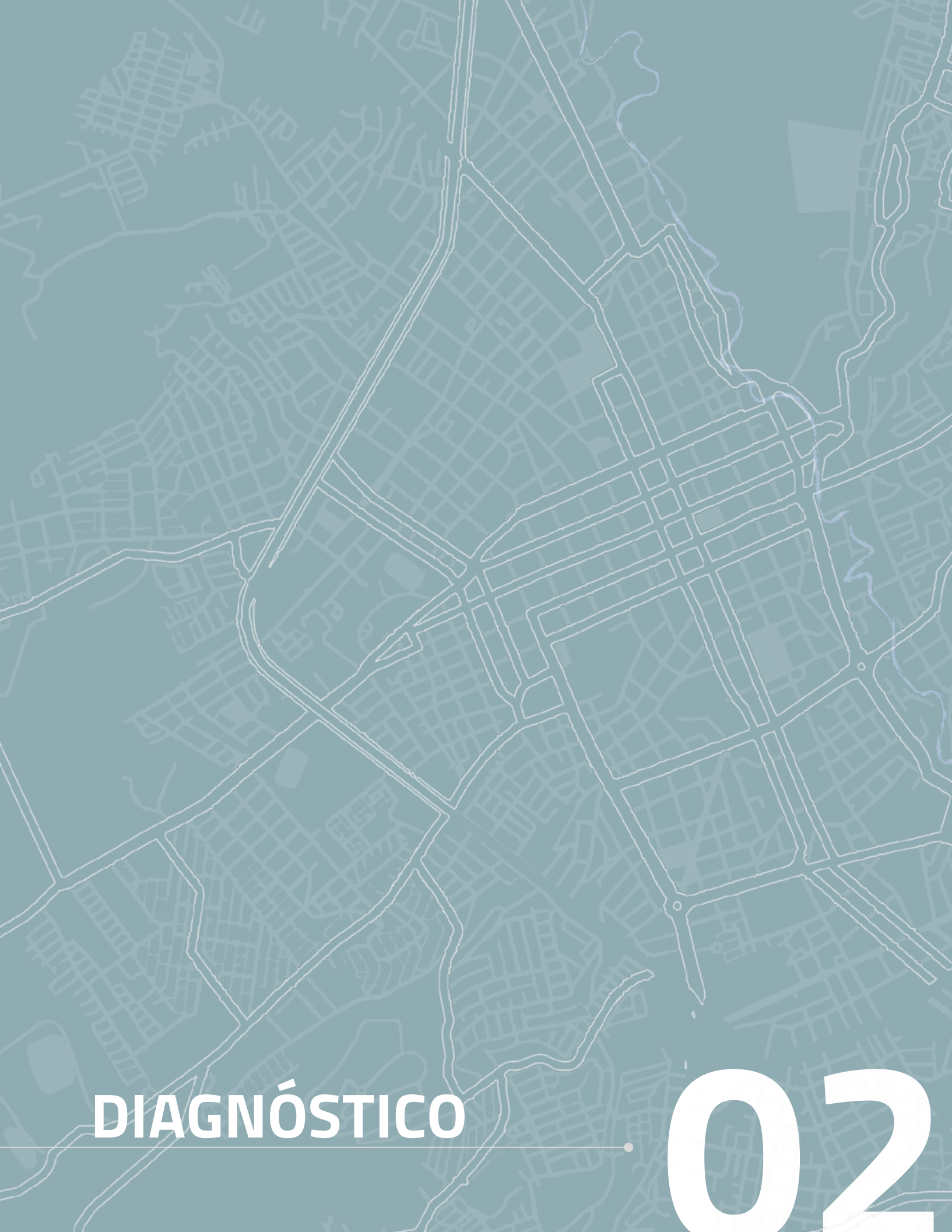
Teniendo en cuenta que la reglamentación y le escritura no señalaron de manera expresa la posibilidad de descontar las cesiones públicas de algún componente específico, la definición de su equivalencia corresponderá a lo definido en el proyecto urbanístico que se desarrolle en el predio. Por lo anterior, la formulación del Plan Parcial Villa Dolores define la distribución de las cesiones anticipadas así:

Distribución de Cesiones Anticipadas			
Total	% Sobre Área Neta Urbanizable según POT	Equivalente en Cesiones Anticipadas	
		40,00%	100%
Espacio Público	25,00%	62,50%	4.238,44 m ²
Equipamiento Público	5,00%	12,50%	847,69 m ²
Vías Locales	10,00%	25,00%	1.695,38 m ²

Según el artículo 251 del Acuerdo 004 de 2015 "Planes Parciales de Desarrollo en el Sector Nor-occidental" en áreas morfológica G5- Sector 3 y G6 Sectores S1,S2,S3,S4, se establece la aplicabilidad de las cargas urbanísticas tipo 5. Según el artículo 256 del Acuerdo 004 de 2015 "Carga tipo 5" se establece que para los predios con edificabilidad 5, se deberán distribuir las cesiones urbanísticas de la siguiente manera:

- Espacio Público: 25% del A.N.U *cuando la densidad de viviendas por hectárea sea menor de 160 viv/ha
- Equipamiento Público: 5% del A.N.U
- Vías Locales: 10% del A.N.U

A partir de lo anterior, se prorratea (ejercicio en donde se reparten proporcionalmente las cesiones anticipadas entre los componentes), tomando como el 100% para el cálculo de la distribución de las cesiones anticipadas lo que equivale al 55% del área total transferida por Escritura Pública al municipio, es decir 6.781,50 m². La equivalencia de las cesiones anticipadas obedece a la destinación de los 6.781,50 m² (Área de cesión anticipada reconocida equivalente al 55%), en donde el 62,70% de dicha área se destinara para Espacio Público, el 12,50% se destinará para Equipamiento Público y el 25% se destinará para Vías Locales.



DIAGNÓSTICO

02

2.1 | CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Según el artículo 41 del Acuerdo 004 de 2015, la clasificación del suelo se da de acuerdo a lo dispuesto en la ley 388 de 1997 y sus decretos reglamentarios, en donde el Plan de Ordenamiento Territorial clasifica el territorio del municipio de Pasto en suelo urbano, de expansión urbana, rural y de protección. La clasificación del suelo del municipio se encuentra especializada en el plano No. 6G.

El Acuerdo 004 de 2015 define el suelo urbano como aquel que *"Constituye las áreas del territorio municipal que cuentan con servicios públicos e infraestructura vial, destinadas al desarrollo de usos urbanos y delimitadas por el perímetro establecido en la tabla 1 del Anexo AG2, Plano No. 6 G"*. De igual manera, dicho acuerdo define el suelo de expansión urbana como *"La porción del territorio municipal que se habilitará para el desarrollo de usos urbanos durante la vigencia del Plan de Ordenamiento Territorial, de conformidad con las provisiones específicas sobre la materia. Se identifican como zonas de expansión urbana la Zona Nor-Oriental Aranda, Sur-Jamondino, Mijitayo y Altamira identificadas en las tablas 2, 3, 4 y 5 del Anexo AG2 y especializadas en el Plano No. 6G."*

El Plan Parcial Villa Dolores, se encuentra ubicado dentro de dos categorías de suelo (expansión y desarrollo). La zona 1 ubicada en el costado norte, se encuentra dentro del perímetro urbano, mientras que, la zona no. 2 ubicada en el costado suroccidental se encuentra por fuera del perímetro urbano en suelo de expansión.

El Plan Parcial Villa Dolores se encuentra dentro del Plan Parcial de Expansión Mijitayo, pre-delimitado por el numeral 3 del artículo 351 del Acuerdo 004 de 2015 y el plano EE7 – Planes Parciales, el cual se ubica en la categoría de suelo urbano y de expansión. Sin embargo, aun cuando una parte de éste se clasifica como suelo urbano, no podrá tramitarse directamente una licencia de urbanización, sino que de manera previa deberá formularse y adoptarse un plan parcial, mediante el cual se establezcan las condiciones para su desarrollo inmobiliario. En consecuencia, se solicita ante la Secretaria de Planeación la re-delimitación del Plan Parcial de Expansión Mijitayo según lo mencionado en el numeral 1.4.1 de este documento, para el posterior tramite del Plan Parcial Villa Dolores.

CLASIFICACIÓN DEL SUELO

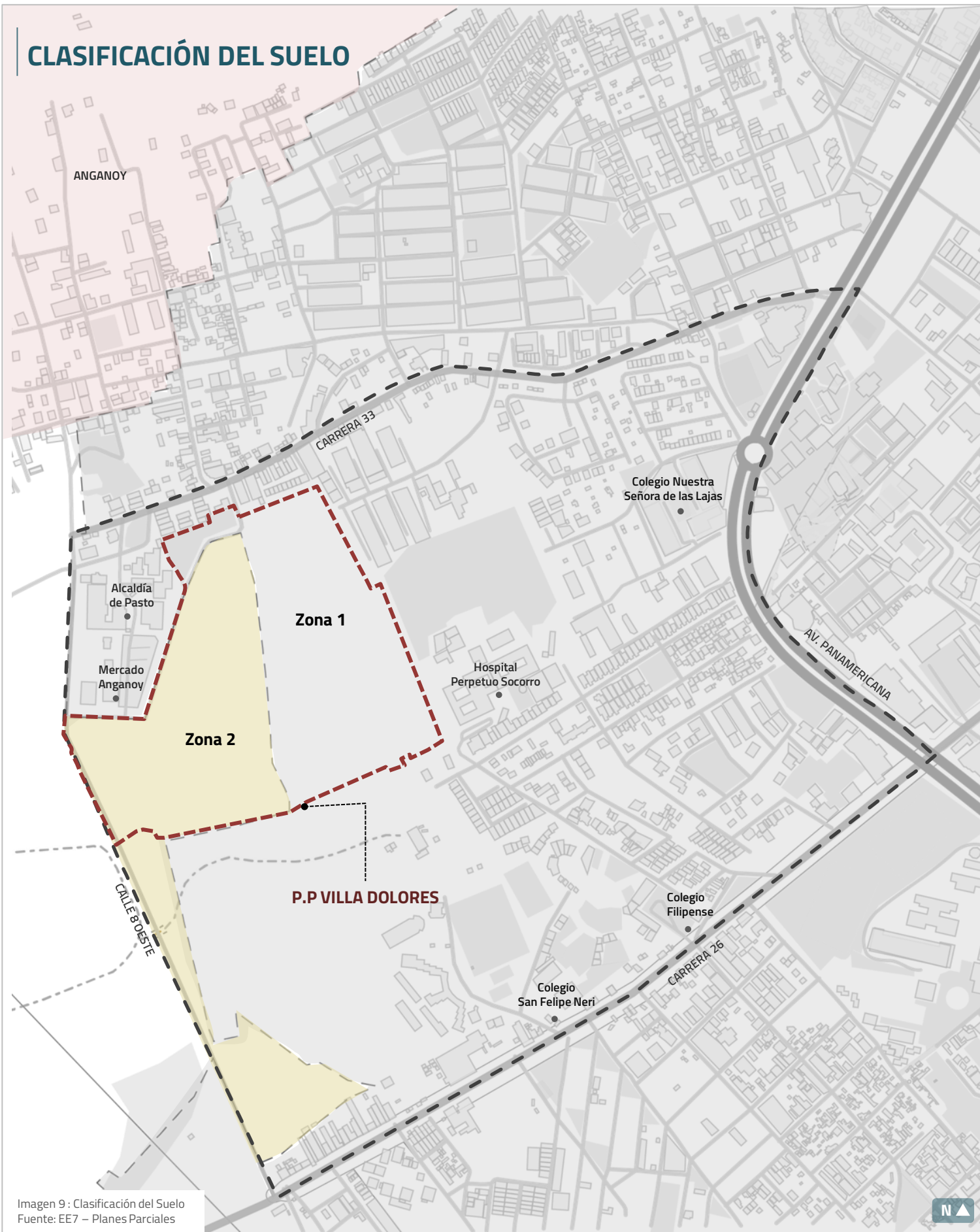


Imagen 9 : Clasificación del Suelo
Fuente: EE7 – Planes Parciales

CONVENCIONES

- Área de Influencia
- Plan Parcial Villa Dolores
- Limite Urbano
- Suelo de expansión
- Suelo Urbano
- Centros Poblados

2.2 | ESTRUCTURA

ECOLÓGICA PRINCIPAL

2.2.1 Identificación de los elementos de la Estructura Ecológica Principal

El análisis detallado de la Estructura Ecológica Principal en el territorio, tiene como finalidad poder identificar las condiciones de conservación, preservación y recuperación de los elementos naturales presentes en el área de influencia del Plan Parcial Villa Dolores, con el fin de garantizar la protección de los elementos naturales y mejorar la conectividad ecológica del entorno.

En el artículo 46 del Acuerdo Municipal 004 de 2015, se establece que *"La Estructura Ecológica Municipal es el conjunto de espacios naturales y semi - naturales en suelo urbano, rural y de expansión, cuya interconexión espacial y funcional permite mantener los procesos y funciones ecológicas esenciales, que garantizan la integridad de la biodiversidad y la provisión de servicios eco sistémicos requeridos para el desarrollo socioeconómico y cultural del Municipio."*

Según el artículo 50 del Acuerdo Municipal 004 de 2015, la estructura ecológica principal del municipio de Pasto, está conformada por los siguientes elementos:

- **Sistema de áreas protegidas**

Corresponden a las áreas definidas geográficamente que han sido designadas, reguladas y administradas con el fin de alcanzar objetivos específicos de conservación. Se clasifican en Áreas protegidas del orden nacional y municipal. El Plan Parcial Villa Dolores no cuenta con áreas clasificadas como protegidas según el plano EA2 del Acuerdo 004 de 2015.

- **Áreas de especial importancia eco-sistémica**

Corresponden a las áreas que no se encuentran clasificadas en categorías de protección, en las que se concentran funciones naturales de las cuales dependen bienes y servicios eco sistémicos, tales como el sistema hídrico, el suelo rural de protección y áreas con función amortiguadora. El Plan Parcial Villa Dolores no cuenta con áreas clasificadas como de especial importancia eco sistémica según el plano EA16 del Acuerdo Municipal 004 de 2015.

- Sistema Hídrico:

Dentro del área de influencia del Plan Parcial Villa Dolores se identifica la Quebrada Rosales, la cual se encuentra canalizada a partir del límite del perímetro urbano. También, se identifica Quebrada Mijitayo, la cual se encuentra canalizada desde la Calle 6 Sur hacia el oriente. De acuerdo con el artículo 62 del Acuerdo 004 de 2015, los cuerpos hídricos en su zona no canalizada, deberán cumplir con una franja no menor a 30 m de ancho a cada lado de los causes de los cuerpos hídricos.

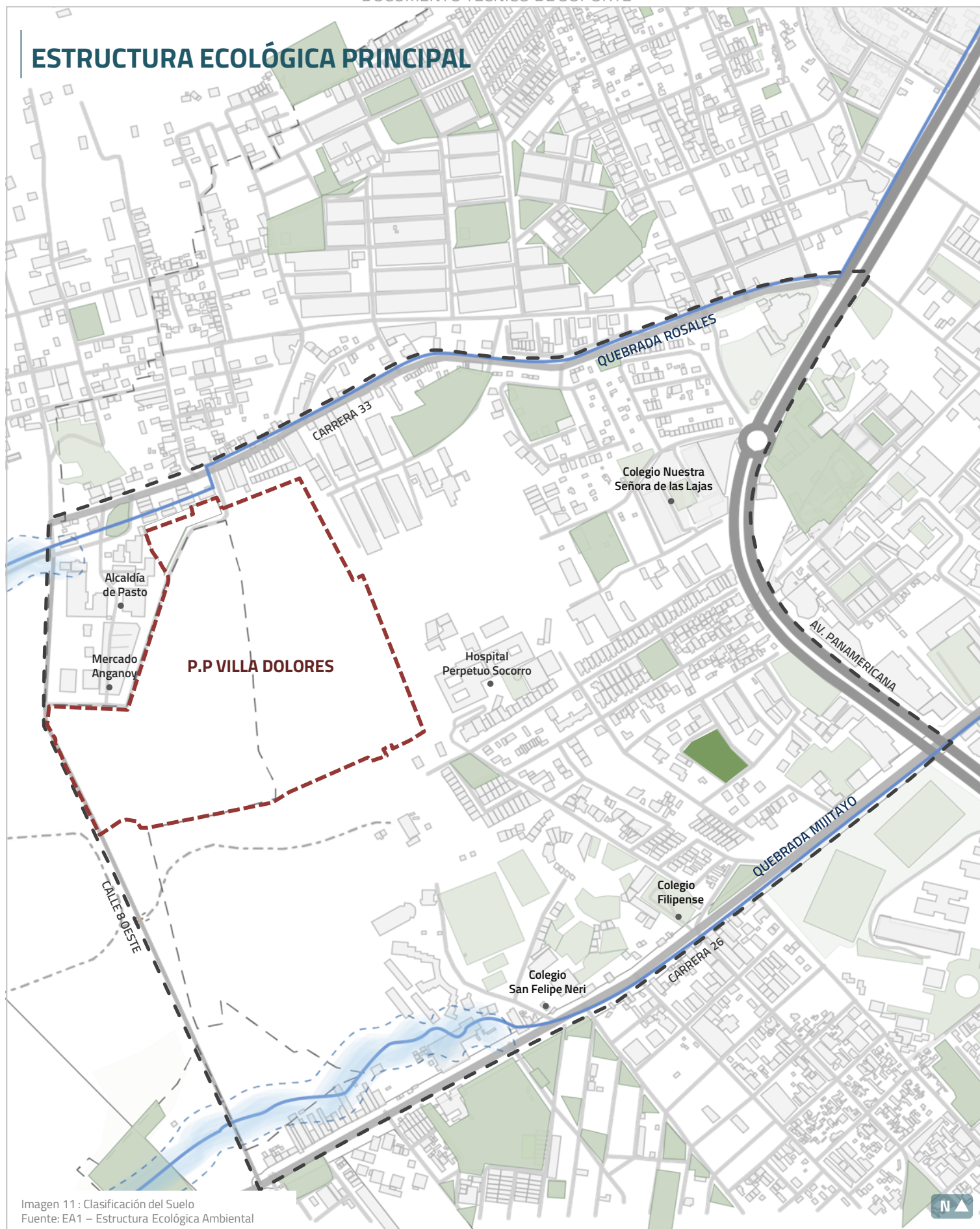
- **Corredores Ecológicos**

Corresponden a las áreas y espacios que unen elementos del Sistema de Áreas Protegidas entre si o con otros elementos de la Estructura Ecológica Principal, con el fin de mitigar los efectos de la fragmentación del hábitat. El Plan Parcial Villa Dolores no cuenta con áreas clasificadas como corredores ecológicos según el plano EA3 del Acuerdo 004 de 2015.



Imagen 10 : Foto suelos de Protección ambiental
Fuente: Google earth

ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL



CONVENCIONES

- Área de Influencia
- Limite Urbano
- Plan Parcial Villa Dolores
- Zonas verdes
- Quebradas

2.3 | GESTIÓN DEL RIESGO

En el artículo 84 del Acuerdo Municipal 004 de 2015, se define la Gestión de Riesgo como *“Un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.”*

Dadas las condiciones físico- espaciales del territorio, se presentan áreas expuestas a fenómenos de amenaza que se clasifican de la siguiente manera:

- **Riesgo por Erupción Volcánica Galeras**

En el artículo 89 del Acuerdo Municipal 004 de 2015 se definen las áreas y los niveles de riesgo de acuerdo con las condiciones de aproximación a erupción volcánica Galeras teniendo en cuenta las siguientes variables:

1. Áreas expuestas a los fenómenos amenazantes de flujos piroclásticos, proyectiles balísticos, onda de choque y flujos de lodo.
2. Población expuesta principalmente aquella que se localiza en centros poblados.
3. Elementos expuestos tales como líneas vitales de bocatomas, líneas de energía y vías de primer, segundo y tercer orden.

El Plan Parcial Villa Dolores se encuentra ubicado a 20.5 km aproximadamente del Volcán Galeras, razón por lo cual se encuentra dentro de la categoría de área en condición de riesgo medio de erupción volcánica Galeras, la cual se define según el artículo 90 del Acuerdo 004 de 2015 como un *“Área afectada por fenómenos como flujos piroclásticos, proyectiles balísticos, flujos de lodo y onda de choque, por ocurrencia de erupciones mayores, con probabilidad entre el 10 y el 20% de que sucedan eventos con severidad 3 y 5, y donde las variables de distancia y topografía minimizan los posibles impactos del fenómeno amenazante.”*

En cuanto a las restricciones para las áreas en condición de riesgo medio por el fenómeno de amenaza volcánica Galeras en suelo urbano, la edificación se condiciona al código del modelo morfológico establecido. El desarrollo de actuaciones urbanísticas, deberá considerar todas las previsiones establecidas en la norma NSR-10 o las disposiciones que la reglamenten, modifiquen o sustituyan.

- **Riesgo por Flujos de Lodo Secundario**

El Plan Parcial Villa Dolores, no se encuentra ubicado dentro de ninguno de los sectores clasificados como áreas en condición de riesgo por flujos de lodo secundario, sin embargo, se encuentra inmediatamente colindante en el costado sur- oriental de la delimitación del Plan Parcial, con un área clasificada como Sector 2 – Riesgo Medio, como se indica en el artículo 92 del Acuerdo Municipal 004 de 2015.

- **Riesgo por Remoción en Masa**

En el suelo de expansión dentro del Plan Parcial Villa Dolores se encuentra un área clasificada con condición de riesgo bajo por remoción en masa, la cual se define en el artículo 95 del Acuerdo 004 de 2015 como *“áreas en las que la población y los elementos expuestos se localizan en pendientes menores a 25°, constituyéndose de baja magnitud con posibilidades de ocurrencia mínima del fenómeno en áreas de impacto indirecto – moderado”*. En el suelo urbano no se presenta afectación por condición de riesgo de remoción en masa.

Según el artículo 98 del Acuerdo 004 de 2015, de conformidad con lo establecido en el Decreto 1469 de 2010 (Compilado por el Decreto 1077 de 2015), para el desarrollo de áreas con condición de riesgo medio y bajo por remoción en masa, se deberán adjuntar los estudios detallados de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa, incluyendo las medidas de mitigación. Según la Ley 1523 de 2012, para el desarrollo de actuaciones urbanísticas de edificación en áreas de riesgo medio o bajo, se requerirán estudios y cálculos detallados de las estructuras necesarias para mitigar los posibles efectos del fenómeno.



Imagen 12 : Foto coberturas del predio
Fuente: Propia

RIESGO POR ERUPCIÓN VOLCÁNICA

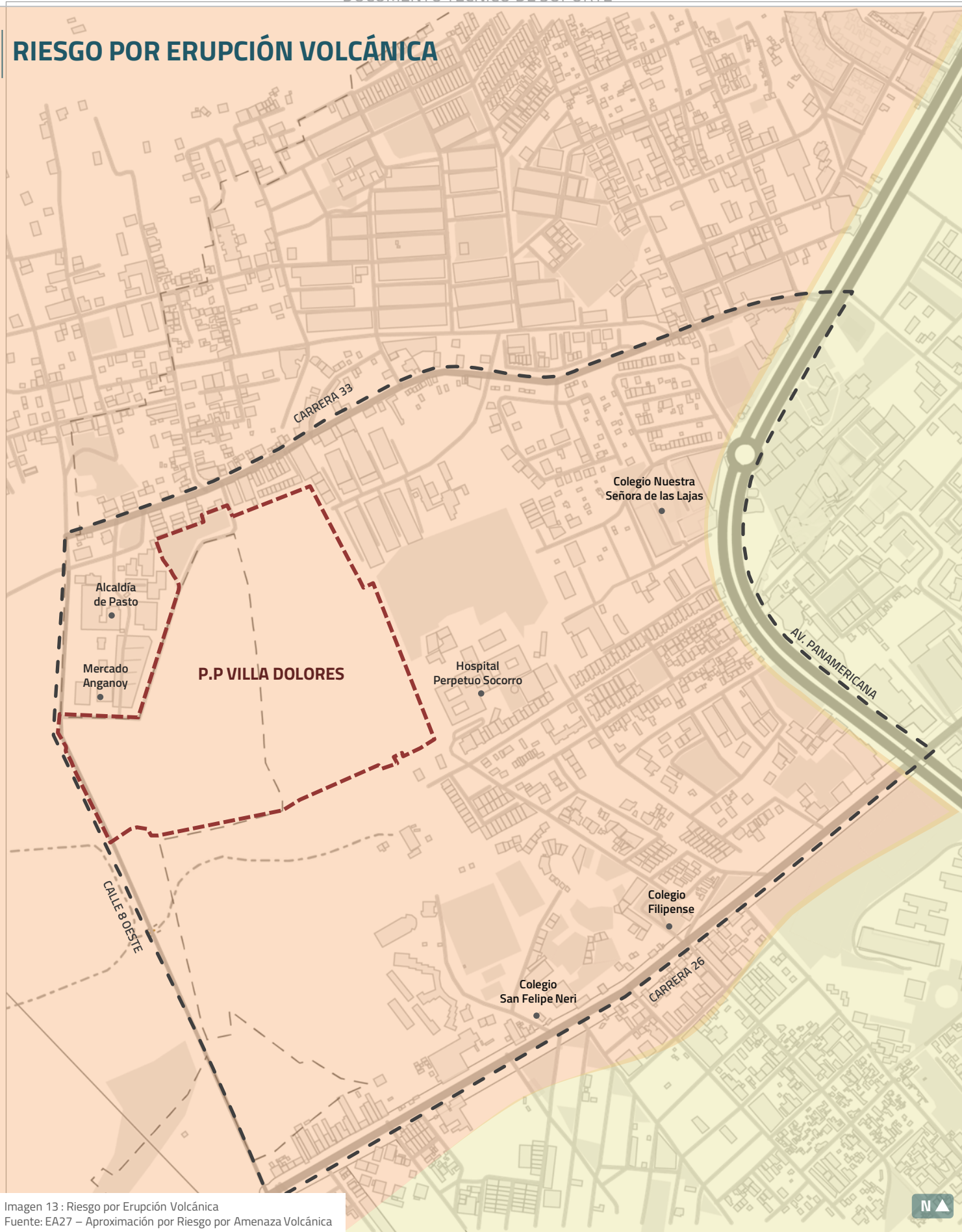


Imagen 13 : Riesgo por Erupción Volcánica
Fuente: EA27 – Aproximación por Riesgo por Amenaza Volcánica

CONVENCIONES

- Área de Influencia
 Limite Urbano
 Plan Parcial Villa Dolores
 Condiciones de riesgo media
 Condiciones de riesgo baja

RIESGO POR FLUJO DE LODOS SECUNDARIOS

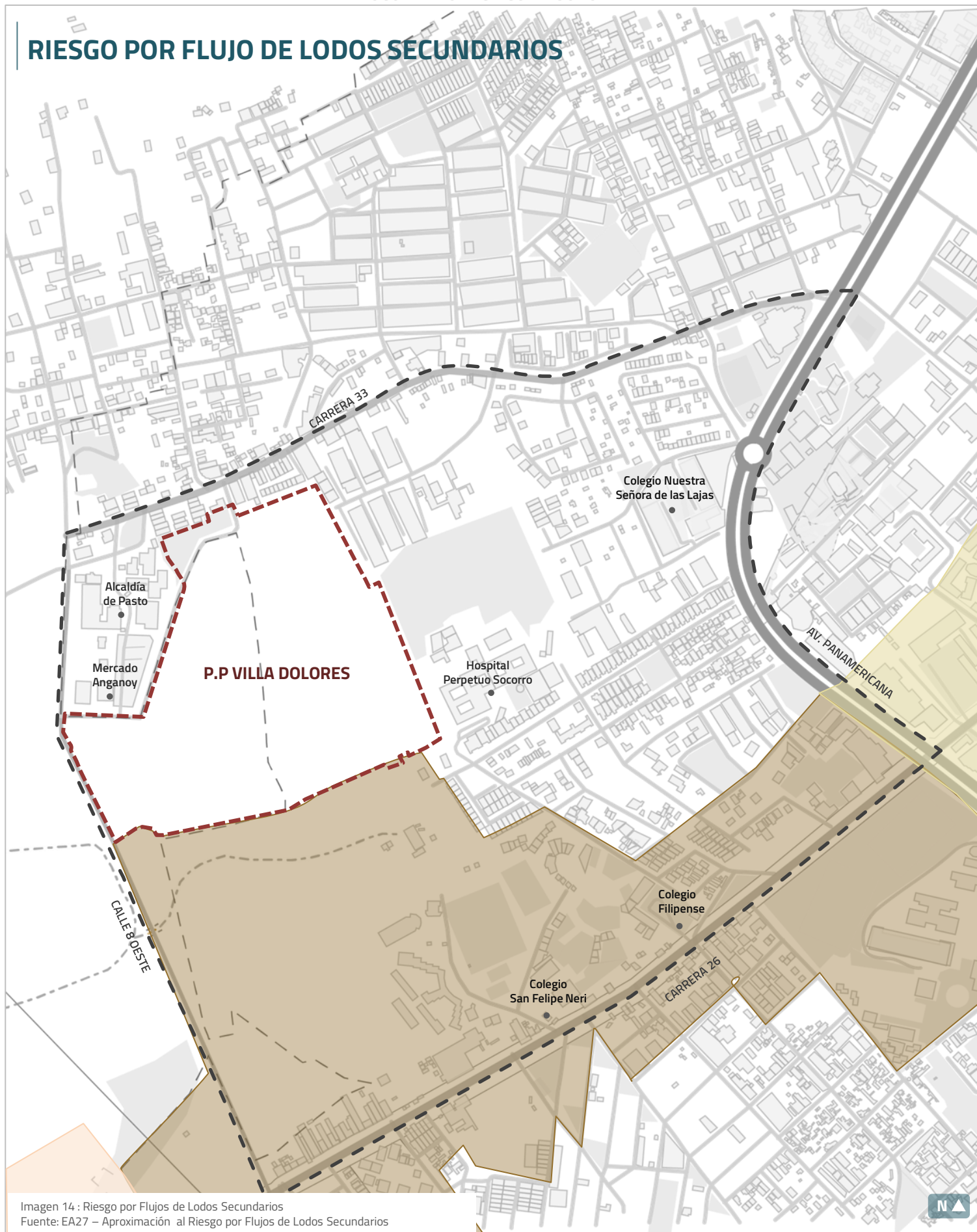


Imagen 14 : Riesgo por Flujos de Lodos Secundarios
Fuente: EA27 – Aproximación al Riesgo por Flujos de Lodos Secundarios

CONVENCIONES

- Área de Influencia
- Limite Urbano
- Plan Parcial Villa Dolores
- Restricción Sector 1
- Restricción Sector 2
- Restricción Sector 3

RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA

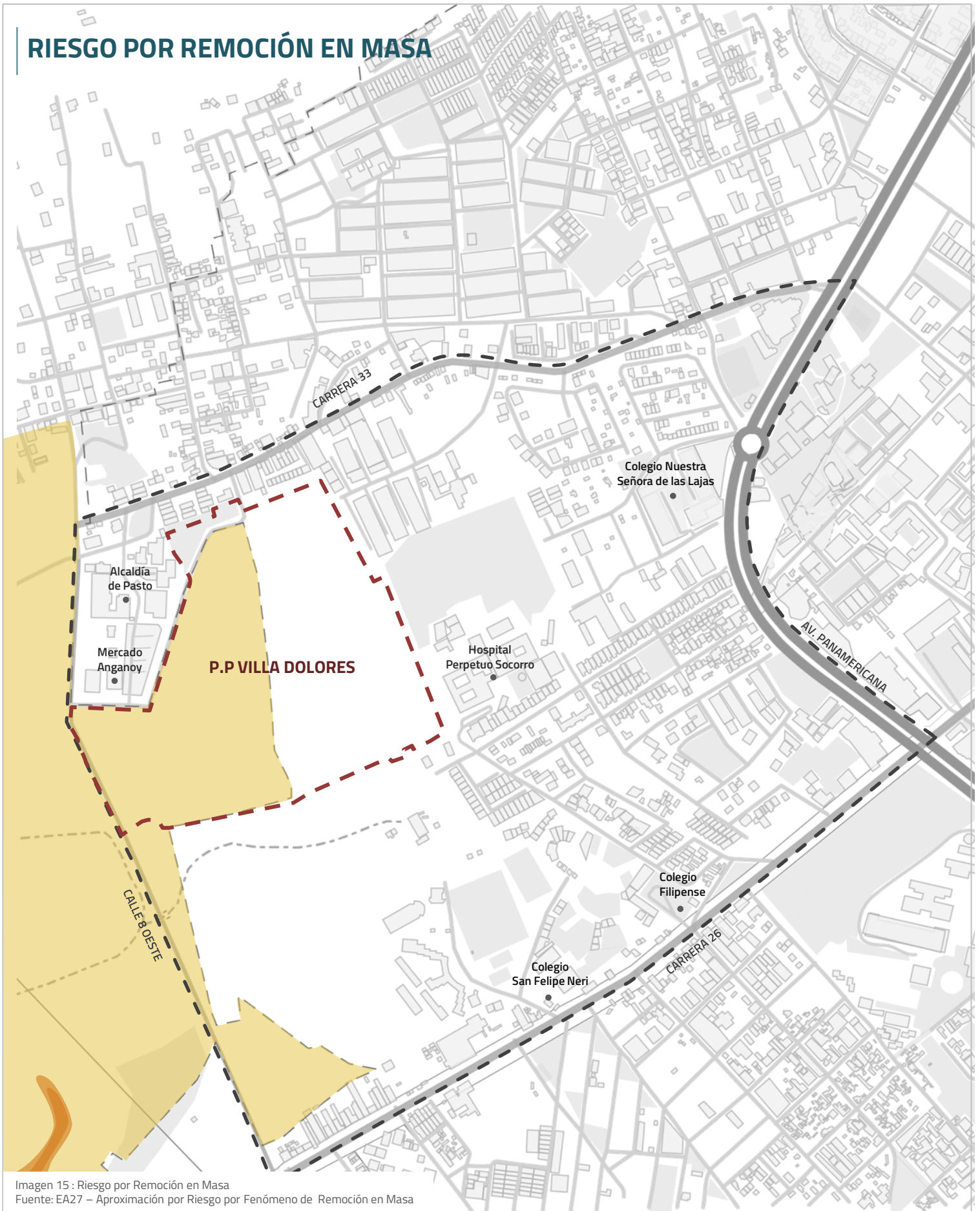


Imagen 15 : Riesgo por Remoción en Masa
Fuente: EA27 – Aproximación por Riesgo por Fenómeno de Remoción en Masa

CONVENCIONES

- Área de Influencia
- Limite Urbano
- Plan Parcial Villa Dolores
- Riesgo Bajo
- Riesgo medio

2.4 | ESTRUCTURA

FUNCIONAL Y DE SERVICIOS

2.4.1 Sistema de Movilidad

Según el artículo 137 del Acuerdo Municipal 004 de 2015, el sistema de movilidad para el Municipio de Pasto " *Tiene como fin articular los diversos modos de transporte, proporcionando a la población, a través de sus diferentes componentes, las mejores condiciones para su desplazamiento y para el acceso a bienes y servicios de manera sostenible. Está conformado por los subsistemas de infraestructura vial, de transporte y de estacionamientos*". Se plantea un modelo de movilidad para el suelo urbano soportado en la estructura de súper manzana. Dicho modelo busca consolidar una trama urbana compuesta por manzanas delimitadas por la red vial, generando frentes de trescientos (300) y cuatrocientos (450) metros.

• Subsistema de Infraestructura Vial

El subsistema de Infraestructura vial se encuentra conformado por la red vial nacional y la red de vías urbanas. A continuación se describen y clasifican las vías que se identifican en el área de influencia del Plan Parcial Villa Dolores:

Red Vial Nacional:

Son los corredores viales que le dan accesibilidad y conexión funcional al municipio con la red nacional, regional y subregional. Dentro del área de influencia del Plan Parcial Villa Dolores, se encuentra la Calle 8 Oeste, clasificada como una vía de tercer orden según el Plano EFS7 del Acuerdo Municipal 004 de 2015, la cual conecta los centros poblados de San Juan de Anganoy y Obonuco. Dicha vía se encuentra a su vez clasificada como un proyecto de infraestructura de tercer orden dentro del Acuerdo 004 de 2015.

Red de Vías Urbanas

Dentro del área de influencia del Plan Parcial Villa Dolores, se encuentran las siguientes vías urbanas:

a) Calle 8 Oeste - A2- Anillo Vial Paisajístico

Este tipo de vía tiene la función de estructurar la movilidad de la periferia de la ciudad y articular las centralidades y sistemas urbanos periféricos. La vía se encuentra en un aparente buen estado y cuenta con andenes, ciclo ruta y franjas ambientales, así como una adecuada señalización y demarcación.

b) Carrera 33 Sur – A3 – Vía Arterial Intermedia

Este tipo de vía tiene como función conectar los ejes arteriales y anillos arteriales dándole soporte a la estructura de conectividad principal y al sistema de transporte. La vía carece de señalización y demarcación en algunos tramos cercanos al Plan Parcial.

c) Carrera 26 – A1- Vía Ejes Arteriales

Este tipo de vía tiene como función permitir la conexión transversal y longitudinal entre los diferentes sectores de la ciudad y su articulación con las vías nacionales. La vía se encuentra en un aparente buen estado, sin embargo carece de señalización y demarcación adecuadas,

d) Calle 6 Oeste – A4 – Vías Arterias Menores

Este tipo de vía tiene como función canalizar el tráfico urbano de mediana velocidad, y articular la red de vías arterias.



Imagen 16 : Foto Calle 8 Oeste
Fuente: Google earth

SISTEMA VIAL

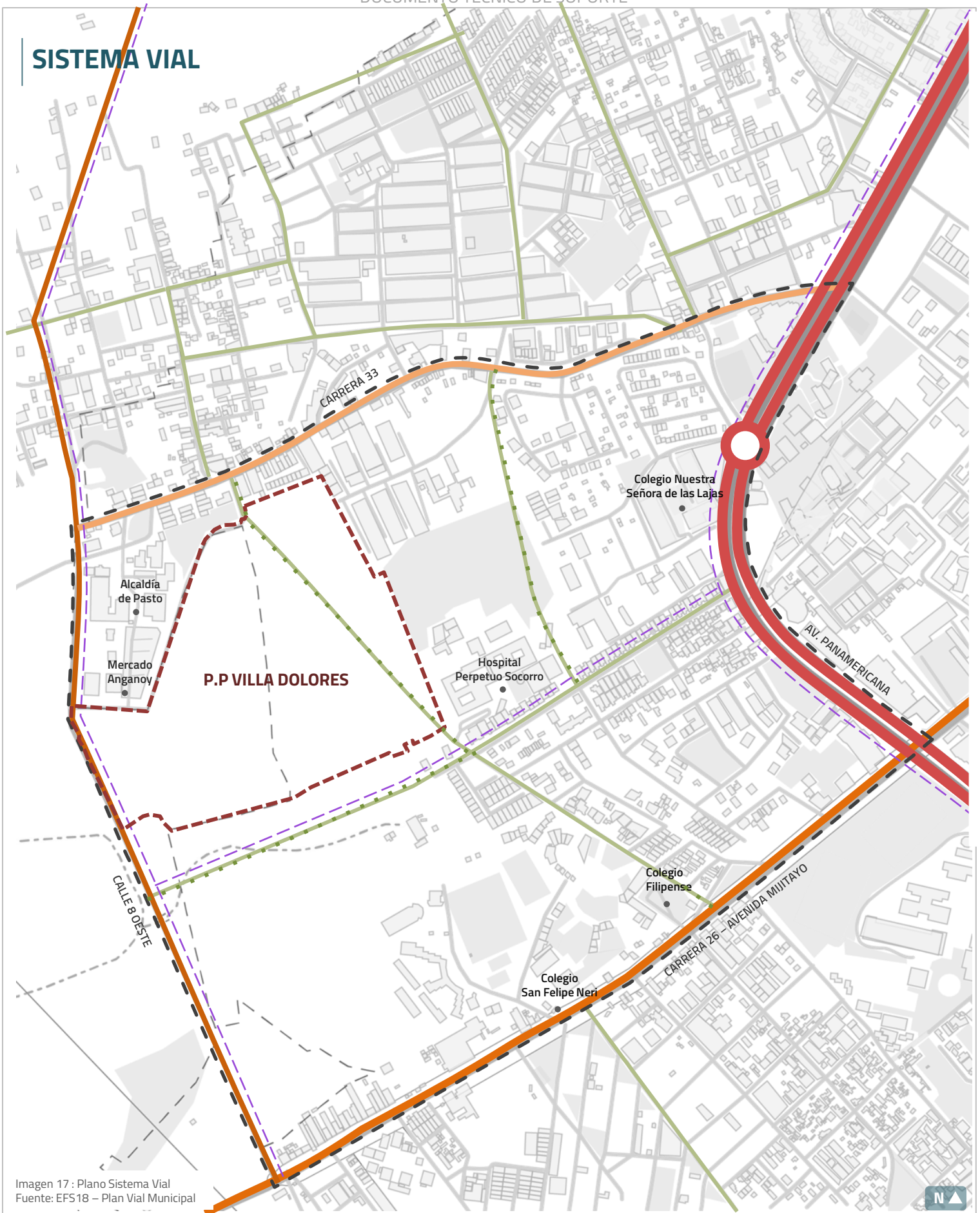


Imagen 17 : Plano Sistema Vial
Fuente: EFS18 – Plan Vial Municipal

CONVENCIONES

- | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|--|-------------------------|--|-----------------------------|--|------------------------------|--|------------------|
| | Área de Influencia | | Anillo arterial central | | Vías arteriales intermedias | | Anillo arterial Paisajístico | | Vías Proyectadas |
| | Plan Parcial Villa Dolores | | Vía ejes arteriales | | Ciclo vía proyectada | | Vías arteriales menores | | |

A2 - ANILLO ARTERIAL CENTRAL

Avenida Panamericana

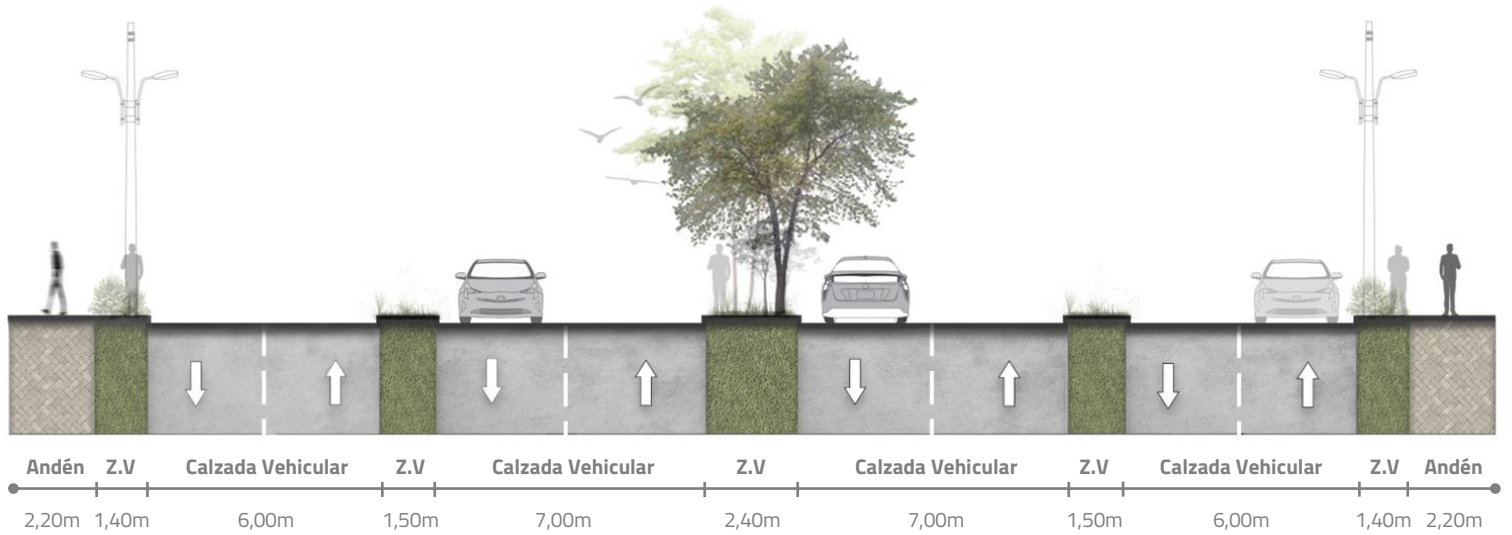


Imagen 18 : Perfil Anillo Arterial Central
Fuente: Acuerdo 004 de 2015 – Anexo 1 / Elaboración Propia

A1 - VÍA EJE ARTERIAL

Carrera 26

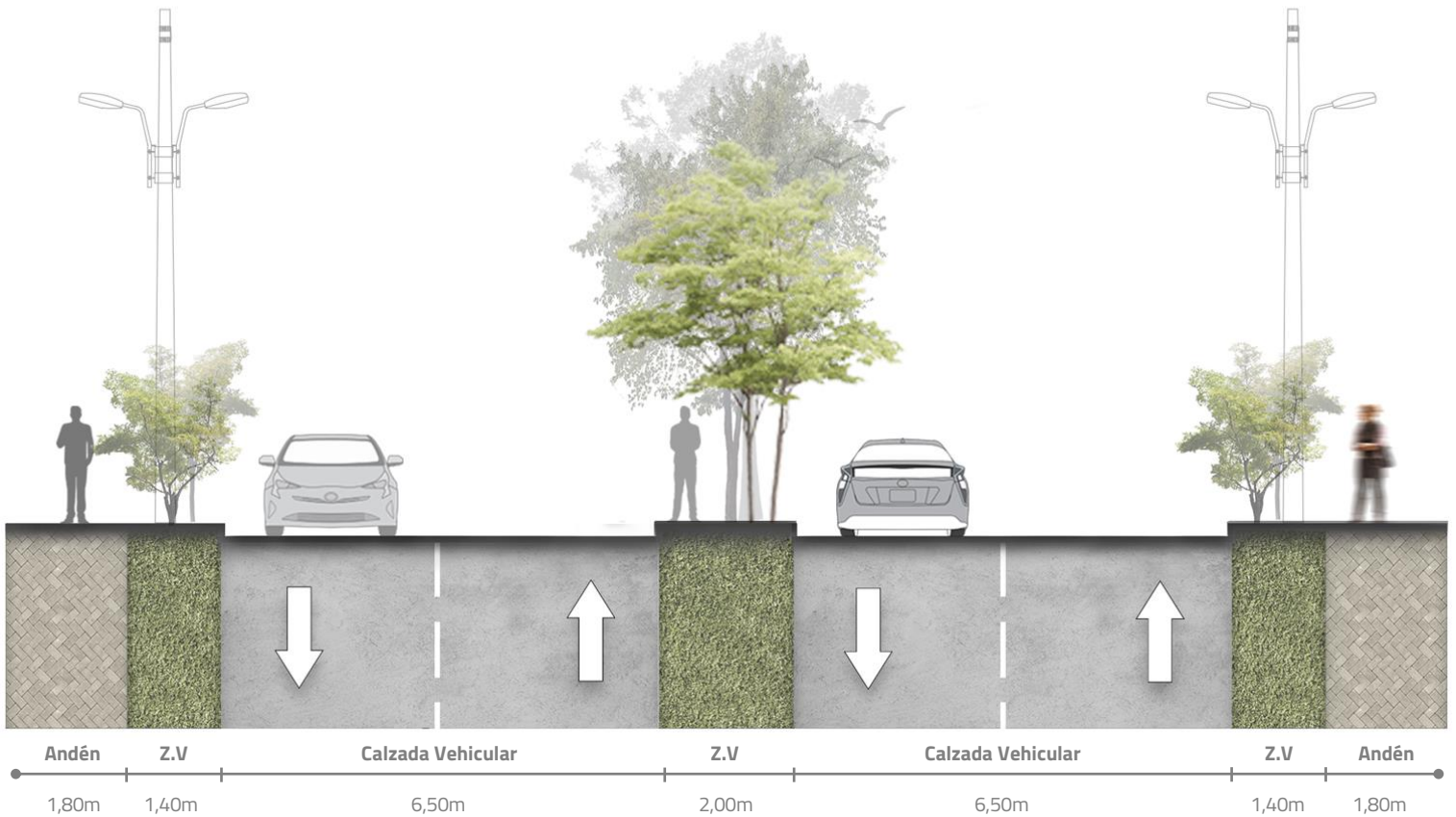


Imagen 19 : Perfil Vía Eje Arterial
Fuente: Acuerdo 004 de 2015 – Anexo 1 / Elaboración Propia

A2 - ANILLO ARTERIAL PAISAJÍSTICO

Calle 8 Oeste

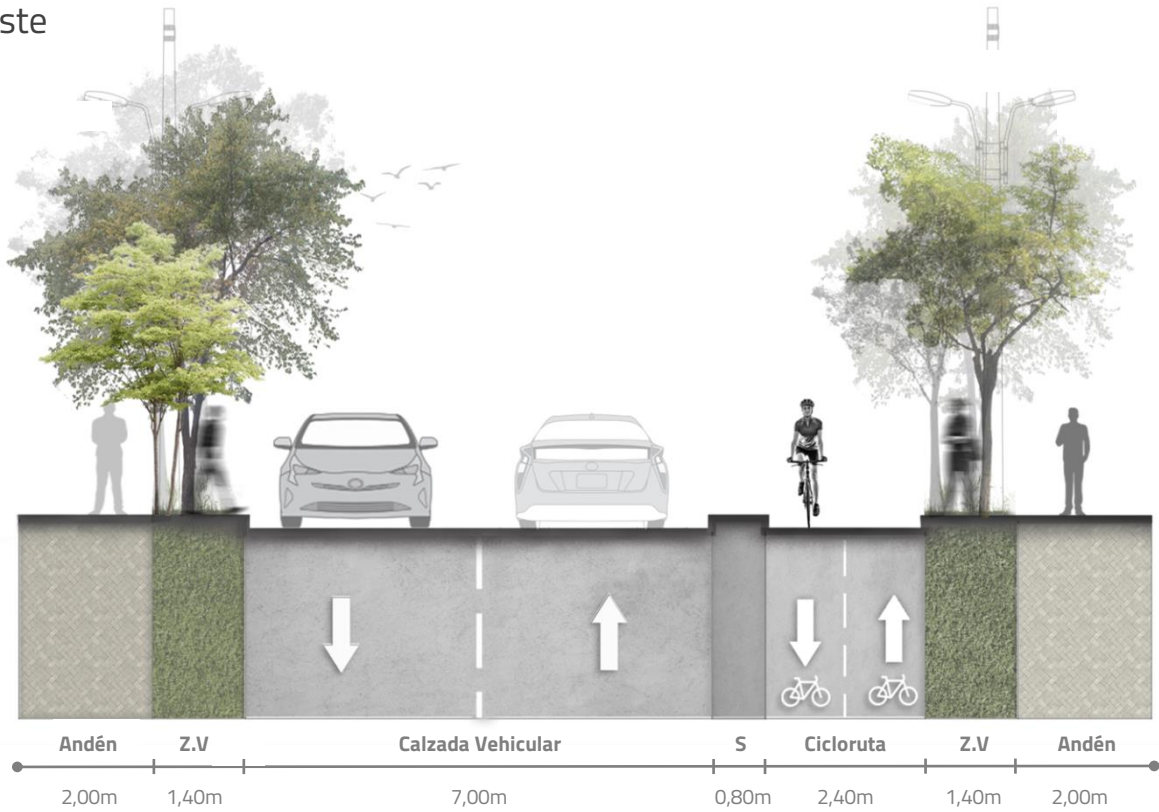


Imagen 20 : Perfil Anillo Arterial Paisajístico
Fuente: Acuerdo 004 de 2015 – Anexo 1 / Elaboración Propia

A4 - VÍA ARTERIAL MENOR

Carrera 33 Sur

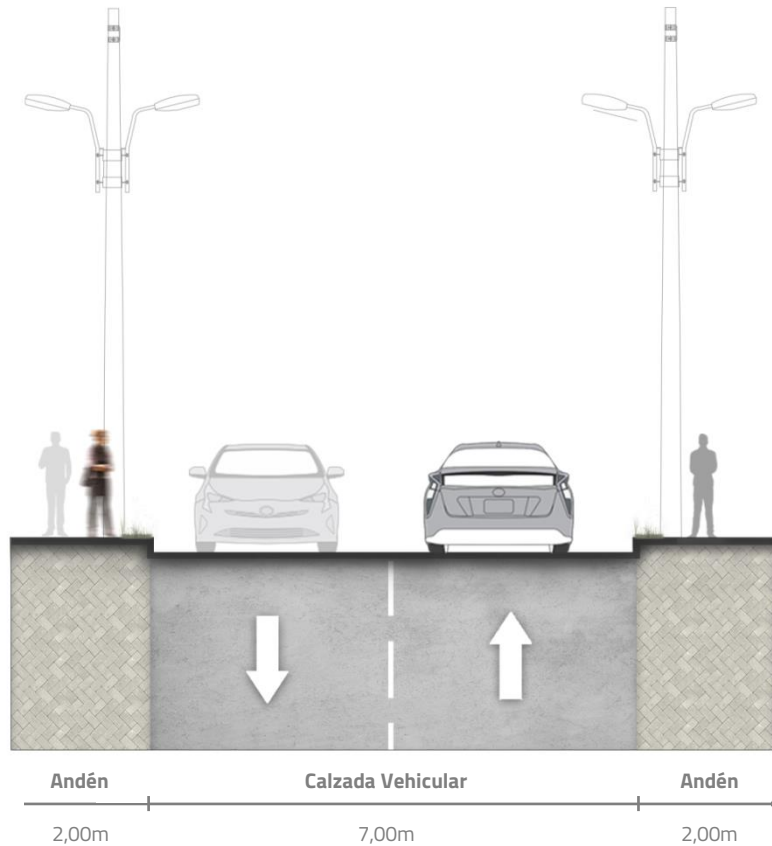


Imagen 21 : Perfil Vía Arterial Menor
Fuente: Acuerdo 004 de 2015 – Anexo 1 / Elaboración Propia

2.3.1.1 Sistema de Transporte Público

Según el artículo 170 del Acuerdo Municipal 004 de 2015, el subsistema de transporte público corresponde al *“conjunto de elementos que posibilitan el traslado de personas y de bienes, a través de un vehículo, con características de calidad, seguridad, eficiencia y emisiones controladas de gas que no contaminen el medio ambiente”*.

En el Municipio de Pasto, el transporte público se articula por medio del sistema integrado de transporte público, el cual se define en el artículo 171 del Acuerdo 004 de 2015 como el *“conjunto de infraestructuras viales especializadas, equipos, sistemas de monitoreo, vehículos, estaciones y puertos, que están diseñadas para movilizar altos flujos de pasajeros de manera sistemática, organizada y eficiente reduciendo los tiempos de viaje y proporcionándole a la población accesibilidad a bienes y servicios”*.

El sistema Integrado de Transporte Público se estructura por medio de los siguientes componentes:

- Sistema Estratégico de Transporte Público - SETP

Está compuesto por un sistema de rutas, estaciones (patios, talleres, terminales y paraderos), vehículos y sistema de recaudo para el área urbana del Municipio de Pasto. Avante es ente gestor del SETP en Pasto; es una empresa que cumple labores de planeación, coordinación, gestión, desarrollo e implementación de la infraestructura y operación del Sistema Estratégico de Transporte Público.

Dentro del área de influencia del Plan Parcial “Villa Dolores” se ubica el Patio Mijitayo del SETP, en la intersección de la Calle 8 Oeste y la Carrera 26 o Avenida Mijitayo. Dicho patio corresponde a un centro de estacionamiento, atención, mantenimiento básico de la flota y centro administrativo municipal del servicio.

Adicionalmente, en el área de influencia del Plan Parcial “Villa Dolores” se identifican 8 de las 16 rutas complementarias existentes para la prestación del servicio. A continuación se enuncian las rutas del SETP que atienden el sector donde se ubica el Plan Parcial “VILLA DOLORES”:

- Ruta Complementara No.1

El trayecto comprende desde Obonuco hasta Altos de Chapalito, ida y vuelta, pasando por la Carrera 26.

- Ruta Complementara No.3

El trayecto comprende desde Luis Carlos Galán hasta Arnulfo Guerrero, ida y vuelta, pasando por la Carrera 26.

- Ruta Complementara No.5

El trayecto comprende desde Briceño hasta Buesaquillo, ida y vuelta, pasando por la Carrera 26.

- Ruta Complementara No.6

El trayecto comprende desde Catambuco hasta San Vicente, ida y vuelta, pasando por la Calle 8 Oeste y la Carrera 26.

- Ruta Complementara No.7

El trayecto comprende desde Anganoy hasta Altos de Chapalito ida y vuelta, pasando por la Carrera 33.

- Ruta Complementara No.12

El trayecto comprende los sectores occidente – noroccidente – sur, ida y vuelta, pasando por la Carrera 26 y la Calle 8 Oeste.

- Ruta Complementara No.15

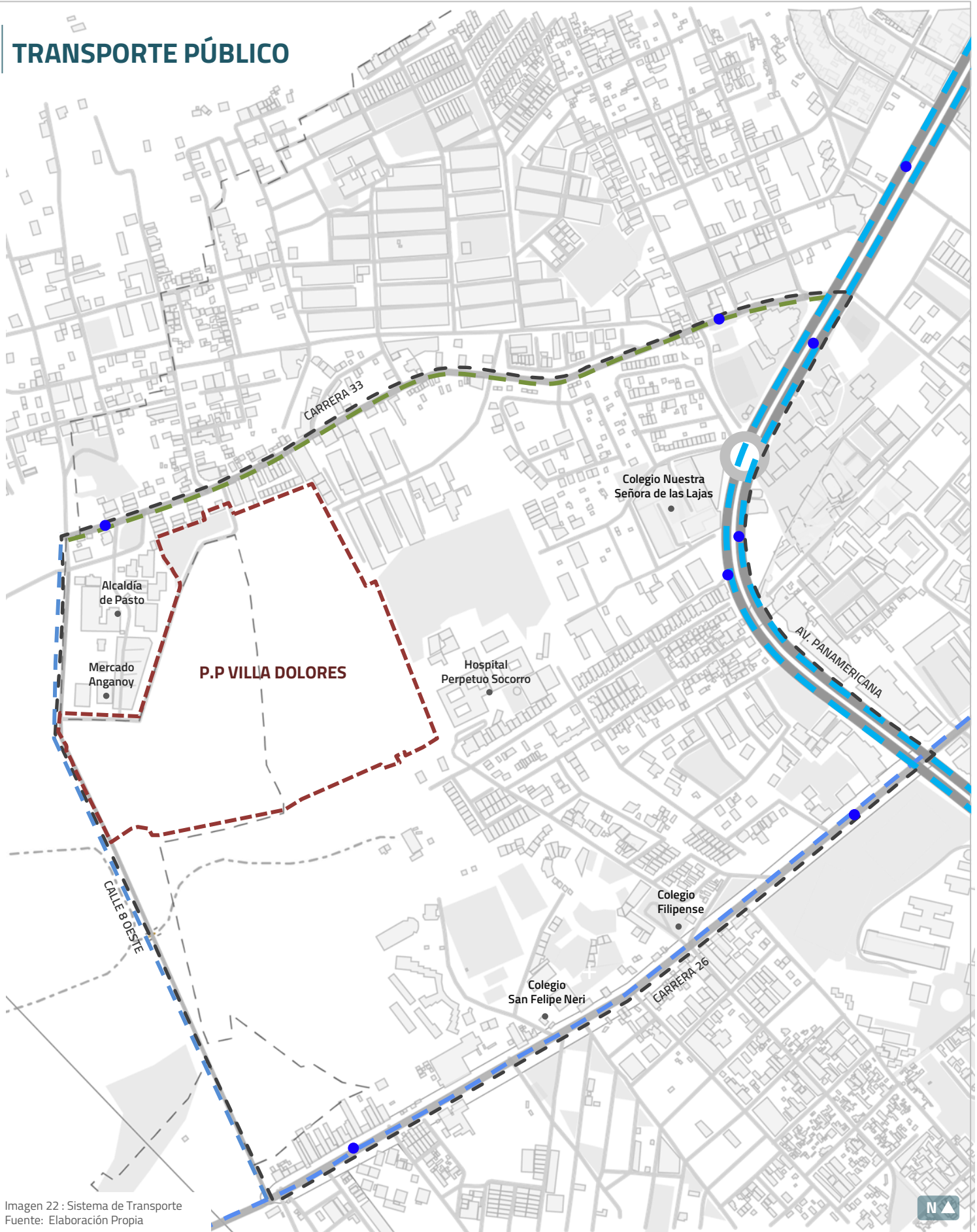
El trayecto comprende desde Prados del Norte hasta Mijitayo, ida y vuelta, pasando por la Carrera 26.

- Ruta Complementara No.16

El trayecto comprende desde La Laguna hasta Anganoy, ida y vuelta, pasando por la Carrera 26 y la Calle 8 Oeste.

Para concluir, se evidencia una adecuada cobertura del sistema integrado de transporte público sobre el área de influencia, en donde la mayor cantidad de paraderos de bus se localizan en la Av. Panamericana, lo que genera una alta necesidad de conectividad con dicha vía. Con el desarrollo del Plan Parcial Villa Dolores, se requerirá la ubicación de nuevos paraderos y rutas de transporte público sobre la Calle 8 Oeste y la Carrera 33.

TRANSPORTE PÚBLICO



CONVENCIONES

- Área de Influencia
- Plan Parcial Villa Dolores
- Ruta La laguna Anganoy
- Ruta Buesaquillo Briceño
- Ruta prados del Norte -Rosales
- Paradas de Bus

2.4.2 Sistema de Equipamientos

Según el artículo 178 del Acuerdo Municipal 004 de 2015, el sistema de equipamientos *"Está conformado por el conjunto de áreas, edificaciones e instalaciones de uso público, privado o mixto, que se articulan con la estructura de centralidades del municipio con el objeto de proveer a los ciudadanos servicios sociales, colectivos y básicos"*. La localización de los equipamientos en el territorio, deberá asegurar la cobertura, calidad y accesibilidad de la población.

El Plan Parcial Villa Dolores se encuentra ubicado dentro de la central municipal CM5–UDRA, según el plano EFS15 y EFS16 – Sistema de Equipamientos – Centralidades del Acuerdo Municipal 004 de 2015. Las centralidades municipales corresponden a *" Áreas donde se articulan los sistemas urbanos, generando contacto entre las comunidades urbanas, adecuando su espacio público a las necesidades de intensa actividad, consolidando la red vial intermedia, privilegiando la articulación del transporte público hacia las centralidades, reequipándolas y utilizando la renovación urbana o la constitución de nuevas infraestructuras para apoyar zonas de concentración de actividades y prestación de servicios especializados a la población a escala municipal"*.

En dicho acuerdo se establecen los siguientes tipos de equipamientos:

- Equipamientos de Salud:

Corresponden a aquellos equipamientos destinados a la prestación de servicios de salud, relacionados con la administración, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación. Está compuesto por las instituciones prestadoras de servicios de salud públicas y privadas de todos los niveles de complejidad y categorías.

Dentro del área de influencia del Plan Parcial Villa Dolores se identifica el Hospital Psiquiátrico Perpetuo Socorro, el cual se ubica en el costado nor-oriental del predio, colindando de manera directa con el P.P "Villa Dolores" y constituye una entidad prestadora de salud mental de carácter privado; cuenta con acceso por la Calle 6 Oeste.



Imagen 23 : Foto Hospital Perpetuo Socorro
Fuente:

Adicionalmente, en proximidad con el área de influencia se encuentra la Clínica Oftalmológica de Nariño, la cual se encuentra ubicada en la Carrera 33 con Calle 1 Sur; El Centro de Salud San Vicente, el cual se encuentra ubicado en la Carrera 35 con Calle 5 y el Centro de Salud Tamasagra – Pasto, el cual se ubica frente a la diagonal 7 con transversal 24 sur.

- Equipamientos Educativos:

Corresponden a aquellos equipamientos destinados a instituciones educativas como preescolar, jardín infantil, guarderías, educación básica primaria, secundaria y media, educación superior, especial, técnica y profesional etc.

Dentro del área de influencia del Plan Parcial "Villa Dolores", se identifican varias instituciones educativas, dentro de las cuales se encuentran el Colegio San Felipe Neri, ubicado en la Carrera 26 con Diagonal 5 Sur; Colegio Filipense, ubicado en la Carrera 26 con Calle 6 Oeste; Colegio Nuestra Señora de las Lajas, ubicado en la Av. Panamericana con Carrera 33ª Sur; Liceo de la Universidad de Nariño, ubicado entre la Av. Panamericana, la carrera 33 y la calle 6ª; Instituto Técnico Superior Industrial, ubicado en la carrera 26 con calle 10.

- Equipamiento de Administración Pública:

Corresponde a aquellos equipamientos dedicados a las actividades administrativas de todos los niveles, en donde se encuentran las entidades del estado, dependencias administrativas y operativas de la administración pública. Dentro del área de influencia se encuentra la Alcaldía Municipal de Pasto – Sede Anganoy, en donde a su vez, se ubican las siguientes entidades públicas entre otros:

- Secretaría de Salud
- Secretaria de Planeación
- Secretaría General
- Secretaría de Gestión Ambiental
- Secretaría de Agricultura
- Departamento Administrativo de Contratación Pública

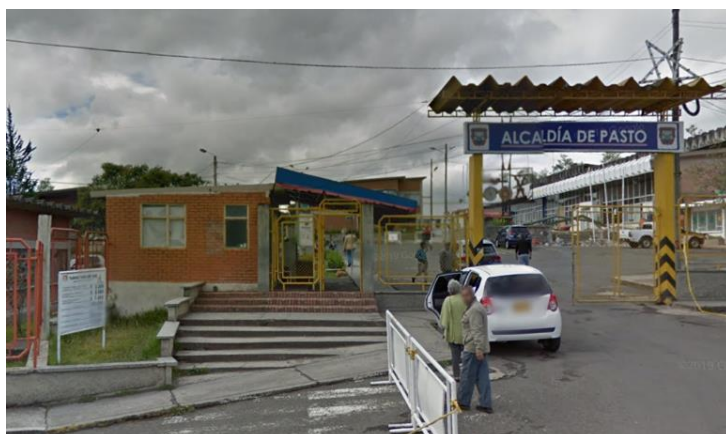


Imagen 24 : Foto Alcaldía de Pasto
Fuente:

- Equipamientos de Abastecimiento de Alimentos

Corresponde a aquellos equipamientos destinados al depósito y comercialización de alimentos, dentro de los cuales se encuentran las centrales de abastos, plazas de mercado, central de sacrificio animal y frigoríficos.

Dentro del área de influencia del Plan Parcial “Villa Dolores”, se identifica la Plaza de Mercado Anganoy, la cual colinda de manera directa en su costado norte, con la Alcaldía de Pasto, en el costado occidental con la Calle 8 Oeste y en el costado oriental con el P.P Villa Dolores.

- Equipamientos de Culto:

Corresponden a aquellos equipamientos destinados a la práctica de los diferentes ritos y centros de formación religiosa. Dentro del área de influencia no se evidencian equipamientos de culto, sin embargo, en proximidad al Plan Parcial Villa Dolores se encuentra la Capilla Hogar San José Bethelmitas y la Parroquia Niño Jesús de Praga, la Iglesia Cristiana Palabra de Dios KL, ubicada frente a la Carrera 26, y la Iglesia Bautista de Pasto, ubicada frente a la Carrera 26 con Calle 2ª.

- Equipamientos Culturales

Corresponden a aquellos equipamientos destinados a las actividades culturales, dentro de los cuales se encuentran los centros cívicos, bibliotecas, archivos, centros culturales, galerías de arte, museos, casas de la cultura, teatros y auditorios.

Dentro del área de influencia del Plan Parcial Villa Dolores, no se encuentran equipamientos de carácter cultural, sin embargo, en proximidad a dicha área de influencia se encuentra el Teatro Francisco de la Villota, el cual se ubica frente a la carrera 26 con calle 3 y la Casa Cultural Obra Abierta, la cual se ubica frente a la carrera 23ª sur.

- Equipamientos de Bienestar Social

Corresponde a aquellos equipamientos destinados al desarrollo y la promoción de bienestar social, dentro de los cuales se encuentran los hogares de paso, salones comunales, jardines comunitarios, centros de atención integral y centros de desarrollo comunitario.



Imagen 25 : Foto Alcaldía de Pasto
Fuente:

- Equipamientos de Bienestar Social

Corresponde a aquellos equipamientos destinados al desarrollo y la promoción de bienestar social, dentro de los cuales se encuentran los hogares de paso, salones comunales, jardines comunitarios, centros de atención integral y centros de desarrollo comunitario.

Dentro del área de influencia del Plan Parcial Villa Dolores, no se encuentran equipamientos de bienestar social, sin embargo, en proximidad del área de influencia se encuentran el Salón Comunal Tamasagra, el cual se ubica en la Calle 6 Bis con Transversal 25 sur, el Salón Comunal Santa Isabel, el cual se ubica frente a la calle 5 sur con carrera 24ª sur, el Salón Comunal Villa de los Ríos, el cual se ubica frente a la carrera 24 a, el Salón Comunal Barrio Panorámico, el cual se ubica frente a la calle 5ª oeste con carrera 33 bis.

- Equipamientos de Recreación y Deporte

Corresponden a aquellos equipamientos destinados a la práctica del ejercicio físico, recreación y deporte a nivel competitivo o aficionado, dentro de los cuales se encuentran las canchas públicas, polideportivos, coliseos, estadios, instalaciones, instalaciones olímpicas entre otros.

Dentro del área de influencia no se encuentran equipamientos de recreación y deporte, sin embargo, en proximidad del área de influencia se encuentra la Cancha Barrio Sumatambo, la cual se ubica en la Carrera 22 e bis, con Calle 1, el Coliseo San José, el cual se ubica frente a la carrera 24 con calle 5ª, el Polideportivo Tamasagra, el cual se ubica en la calle 4 bis con calle 3 bis sur, el Polideportivo Sumatambo, el cual se ubica en la calle 2ª sur con carrera 22b sur, el Polideportivo Agualongo, el cual se ubica en la carrera 21 sur y la calle 2 bis.

Para concluir, se evidencia que el área de influencia del Plan Parcial Villa Dolores se muestra como una zona prestadora de servicios, principalmente en los relacionados con educación y administración pública. Por lo anterior, se hace considera pertinente y necesario consolidar una centralidad urbana que complementa con nuevos usos comerciales y residenciales la oferta actual del sector.



Imagen 26 : Foto Colegio Filipense
Fuente:

EQUIPAMIENTOS

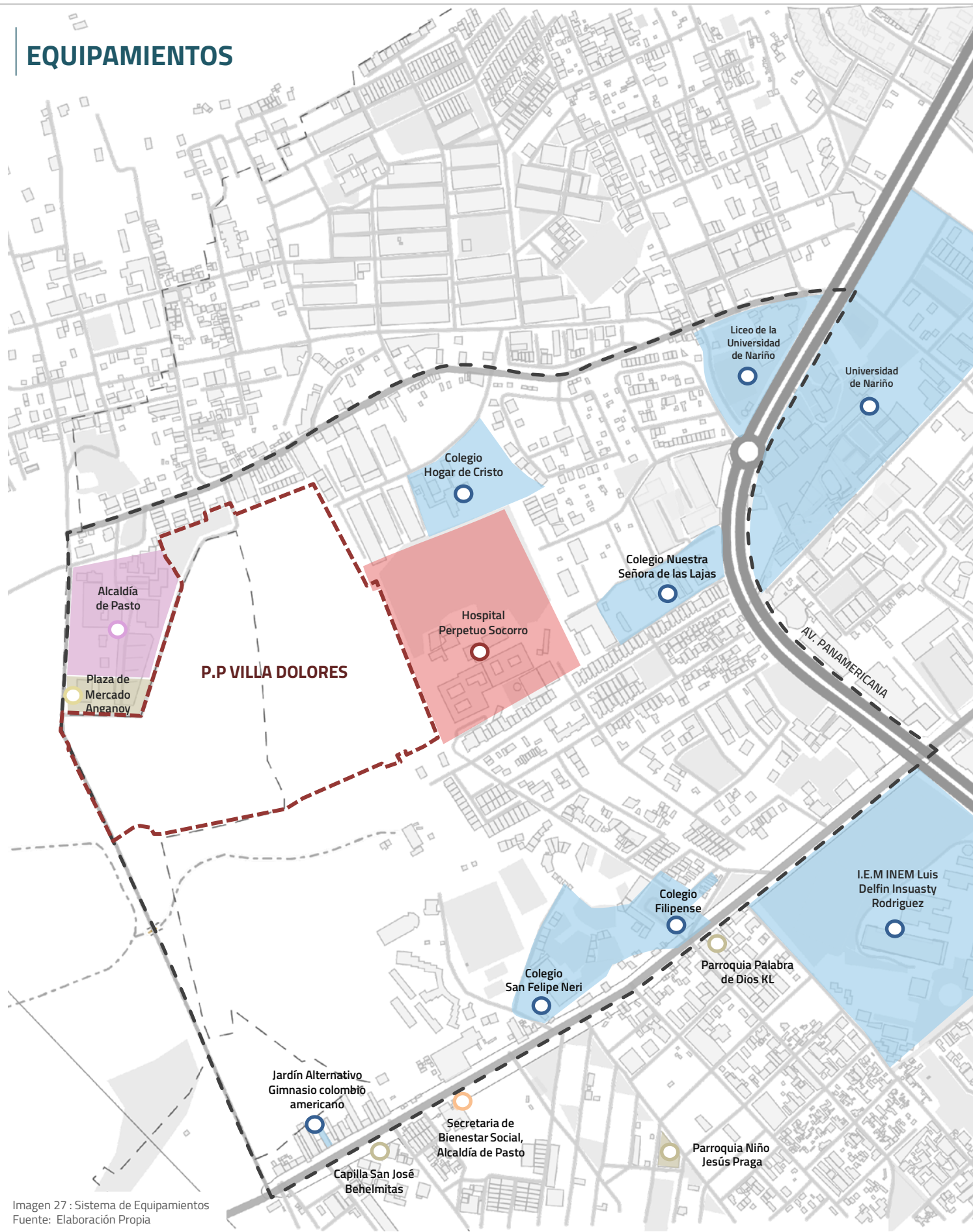


Imagen 27 : Sistema de Equipamientos
Fuente: Elaboración Propia

CONVENCIONES

- Área de Influencia
- Centralidad
- Plan Parcial Villa Dolores
- Bienestar Social
- Administración Pública
- Educativo
- Salud
- Culto

2.4.3 Sistema de Espacio Público

Según el artículo 192 del Acuerdo Municipal 004 de 2015, se define el espacio público como aquel *"conformado por la red de elementos constitutivos naturales y artificiales; el conjunto de elementos complementarios; y las políticas, objetivos, estrategias y normas, que se articulan con el fin de mejorar las condiciones ambientales y de habitabilidad del municipio"*. Los componentes del espacio público se describen en el plano no. EFS17. Hacen parte del sistema de espacio público los siguientes elementos:

- Parques y Zonas Verdes

Según el artículo 75 del Acuerdo Municipal 004 de 2015, los parques y zonas verdes *"Son áreas públicas que se constituyen en elementos fundamentales para la regulación del clima urbano, del ruido y el mejoramiento de la calidad del aire"*. Los parques y zonas verdes cumplen de igual manera una función social, al prestar servicios de esparcimiento, recreación y deporte. Los parques y zonas verdes que se encuentren identificados dentro del sistema de espacio público, entrarán a formar parte de la estructura ecológica principal del Municipio de Pasto.

- Áreas de Control Ambiental

Según el artículo 79 del Acuerdo Municipal 004 de 2015, las áreas de control ambiental corresponden a *"elementos de los perfiles viales que entran a formar parte de la estructura ecológica municipal con el fin de lograr mayor infiltración de agua en el suelo, recargar el nivel freático, aislar sectores del impacto generado por las vías y mejorar paisajística y ambientalmente el entorno"*.

- Antejardines

Según el artículo 77 del Acuerdo 004 de 2015, los antejardines son *"áreas libres de propiedad privada, afectas al espacio público. Por su configuración son elementos fundamentales del paisaje urbano"*.

Dentro del área de influencia del Plan Parcial Villa Dolores, se encuentran dos parques clasificados dentro del plano EFS17 como parques existentes, los cuales corresponden al parque El Bosque, ubicado entre la carrera 33 Sur y la Carrera 32ª, y el parque El Lago, ubicado sobre la Carrera 32, entre la Calle 4 Oeste y la Calle 5 Sur. Dichos parques no se encuentran aún dotados ni equipados con los estándares mínimos estipulados por el Acuerdo Municipal 004 de 2015. El parque El Bosque, cuenta con cerramiento en el costado frente a la Carrera 32ª, el cual aparentemente cumple la función de proteger el impacto generado por las canchas deportivas.

De igual manera, se identifican dentro del área de influencia un total de 12 zonas verdes según el Plano no. EFS17, las cuales se ubican en el territorio como espacios que en su mayoría se encuentran intervenidos y ocupados por canchas deportivas o senderos peatonales. Por otro lado, varias de las zonas verdes demarcadas dentro del Plano no. EFS17, se encuentran dentro de áreas privadas las cuales cuentan con cerramiento, por ende dichas zonas verdes no son de uso y aprovechamiento público. Así mismo, se identifica un pequeño porcentaje de zonas verdes que se encuentran con un visible estado de deterioro, falta de mantenimiento y sin intervención urbanística.

Para concluir, es correcto afirmar que si bien se logran identificar zonas verdes consolidadas en el área de influencia del Plan Parcial, estas resultan ser insuficientes para el desarrollo de actividades recreativas y deportivas, al no contar con las características físicas y de proximidad requeridas para este fin. Por lo anterior, es necesario considerar el desarrollo de nuevas zonas verdes que fortalezcan la red de parques existentes, con el fin de garantizar áreas suficientes para el desarrollo de actividades de esparcimiento, recreación y deporte, aumentando el indicador de espacio público en el sector.



Imagen 28 : Foto Parques Urbanos
Fuente: Propia

ESPACIO PÚBLICO

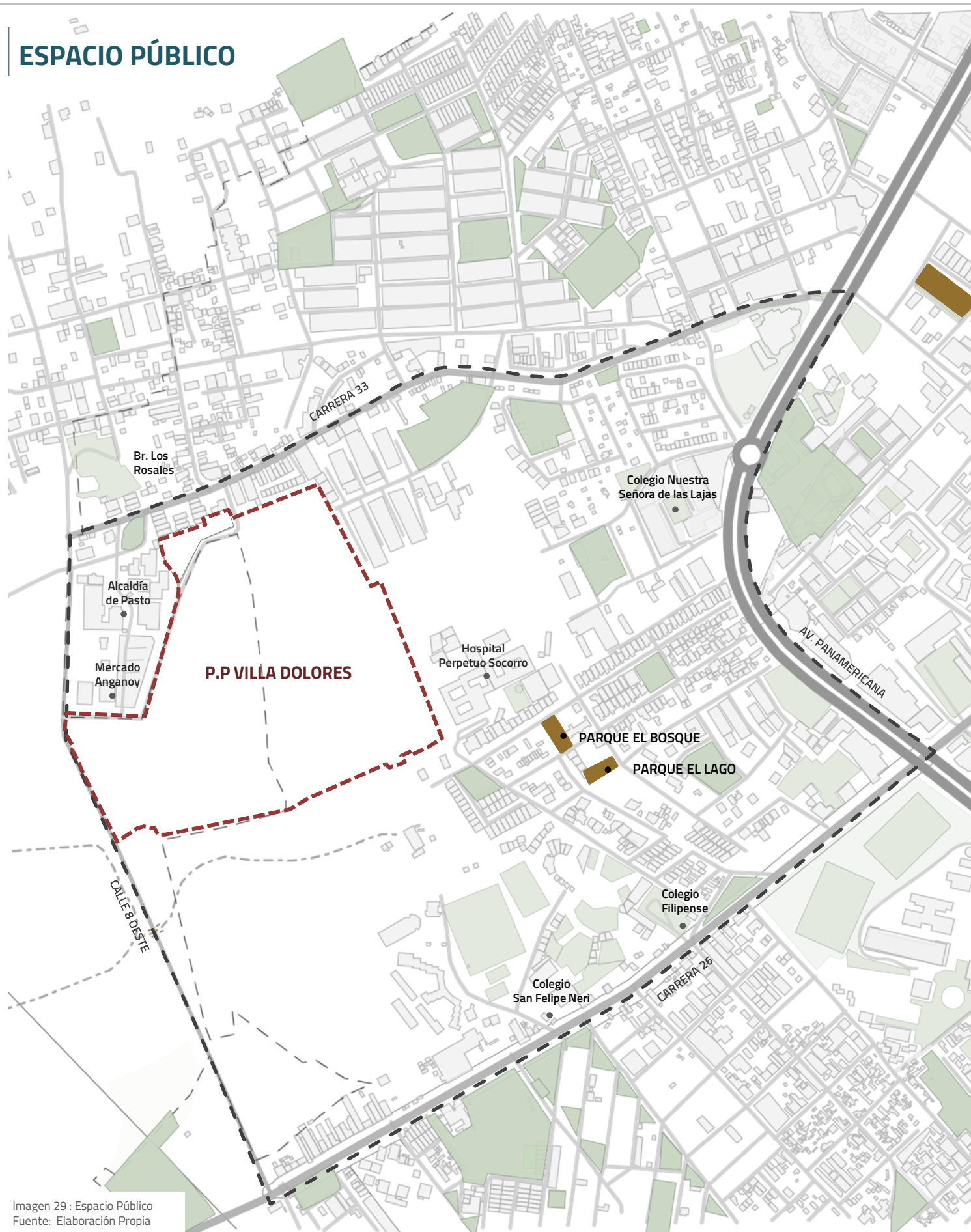


Imagen 29 : Espacio Público
Fuente: Elaboración Propia

CONVENCIONES

- Área de Influencia
- Limite Urbano
- Plan Parcial Villa Dolores
- Zonas verdes , antejardines y cesiones
- Parques, plazas y plazoletas existentes

2.4.4 Sistema de Servicios Públicos

Según el artículo 117 del Acuerdo 004 de 2015, el sistema de servicios públicos está conformado por *“las infraestructuras, redes y elementos destinados a la satisfacción de las necesidades de abastecimiento básico de la comunidad”*. Hacen parte del sistema de servicios públicos, las siguientes redes:

- Acueducto
- Alcantarillado sanitario y manejo de aguas residuales
- Residuos sólidos
- Energía eléctrica y alumbrado público
- Gas natural domiciliario
- Tecnologías de la información y comunicación

El análisis del sistema de servicios públicos busca armonizar las intervenciones de infraestructura, dotación y expansión de los servicios públicos con los contenidos del Plan de Ordenamiento Territorial y los proyectos que tendrán lugar en el territorio, esto con el fin de garantizar la preservación de los recursos y la adecuada cobertura de la infraestructura a lo largo del territorio.

- Sistema de Acueducto y Alcantarillado

De acuerdo con la factibilidad de servicios emitida por Empopasto con Radicado No. 20213300144211 el 7 de diciembre de 2021, en respuesta al oficio radicado No.20215010116852 del 24 de Noviembre de 2021, se amplía por un término de 3 años (vigente hasta el 09 de enero de 25) la factibilidad de servicios públicos para el Plan Parcial Villa Dolores y hace referencia a que en el sector existen redes de acueducto que pueden ser extendidas, a cargo del urbanizador, para obtener la prestación efectiva del servicio.

En relación con el alcantarillado sanitario pluvial, se encuentra que según el plano EFS 2 del POT (imagen 33) no existen colectores actualmente construidos en la zona, sin embargo, se proyecta la construcción del colector Anganoy por la Carrera 33 Sur. Este documento señala que la red más cercana se encuentra localizada en Los Rosales entre las Carreras 33 y Calles 50este y 60este.

- Sistema de Energía Eléctrica

De acuerdo con la factibilidad de servicios emitida por Cedenar S.A, se establece que el Plan Parcial Villa Dolores puede acceder al servicio de energía eléctrica por medio de dos líneas de alta tensión, una nivel dos de 13.2 KV o nivel 3 de 34.KV, según la potencia que requiera el proyecto, razón por lo cual encuentra viable la cobertura eléctrica y la expedición de la factibilidad de servicio para el Plan Parcial Villa Dolores.

- Sistema de Gas Natural

Se encuentra en trámite la factibilidad del servicio de Gas ante la entidad prestadora de servicios MontaGas.

- Sistema de Telecomunicaciones

Se encuentra en trámite la factibilidad del servicio de Telecomunicaciones ante la entidad prestadora de servicios Movistar.

SERVICIOS PÚBLICOS

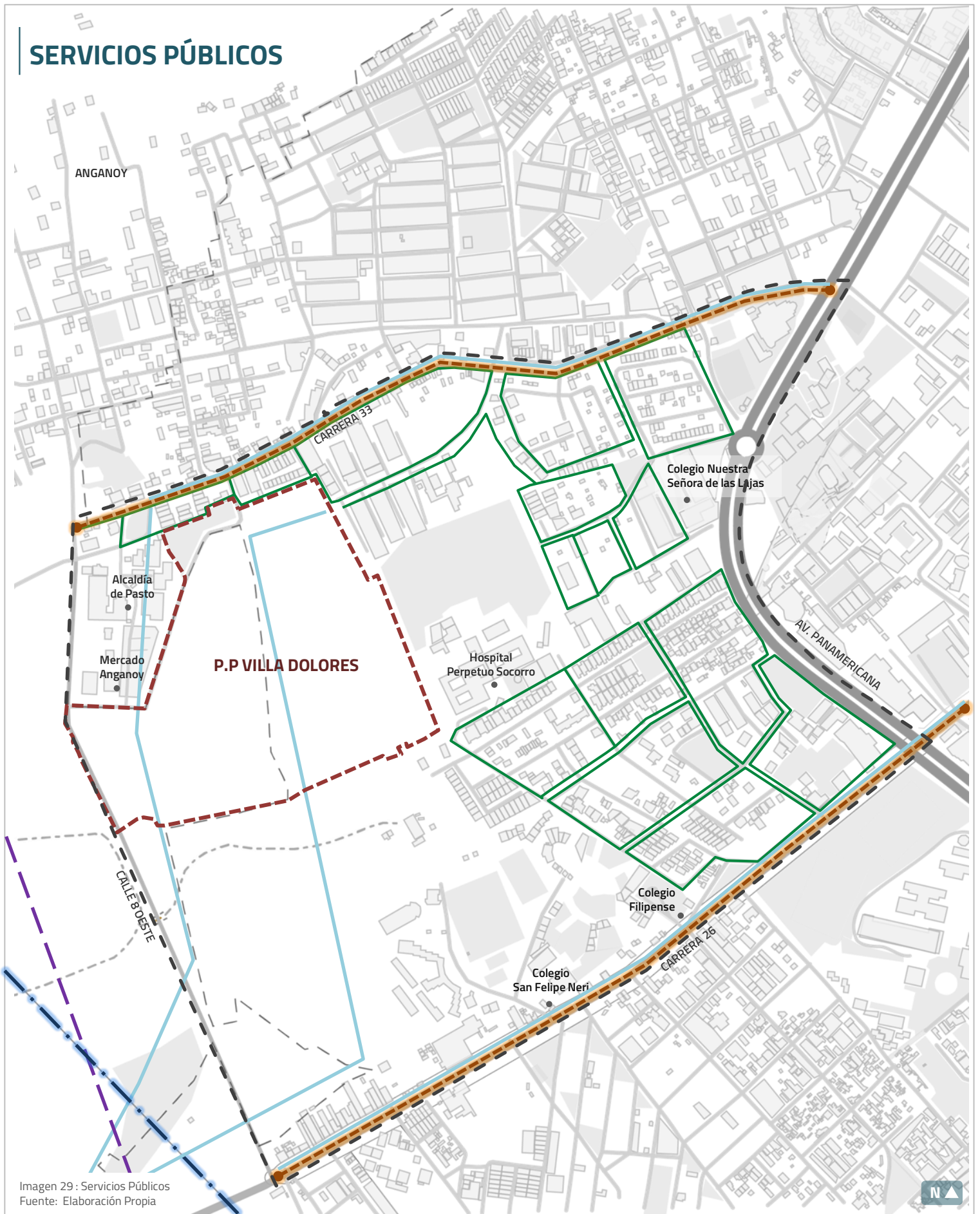


Imagen 29: Servicios Públicos
Fuente: Elaboración Propia

CONVENCIONES

- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -
- Área de Influencia
Plan Parcial Villa Dolores
Limite Urbano
Redes Matrices de Acueducto
Redes de Gas Tubería Anillo 75
Colectores de Alcantarillado
Red Eléctrica 345 KV
Red Eléctrica 115 KV



N° - 0096
 Hermanas Hospitalarias
 INSTITUCIÓN DE SERVICIOS SOCIALES Y DE SALUD

No. Radicado:	18 ENE 2020
Fecha:	17 Enero 2020
Autor:	Responsable Oficio
Asignado:	Analisis
No. Folios:	1 Anexos



Al contestar por favor cite estos datos:
 Radicado No. 2020330002371

Pasto. Jueves, 09 de Enero de 2020

Doctor
 ANDRÉS DULCE GUERRERO
 Gerente Hospital Mental Perpetuo Socorro
 CARRERA 33 N° 5 Oeste - 104
 Tel. 7235884
 Pasto - Narino

Asunto: Respuesta a oficio radicado N° 20195010143492 del 27 de Diciembre de 2019

Cordial saludo:

En atención a su solicitud de servicios de acueducto y alcantarillado para el PLAN PARCIAL DE DESARROLLO SOCIAL Y URBANÍSTICO SAN BENITO MENNI, de la Congregación Hermanas Hospitalarias – Hospital Mental Nuestra Señora del Perpetuo Socorro; me permito certificar la presente:

FACTIBILIDAD DE SERVICIOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

NOMBRE DEL PROYECTO	PLAN PARCIAL DE DESARROLLO SOCIAL Y URBANÍSTICO SAN BENITO MENNI
LÓCALIZACIÓN	Municipio de Pasto, sector sur occidental de la ciudad de Pasto, departamento de Narino; limitando al norte con el Barrio Los Rosales; al oriente con el Hospital Mental Nuestra Señora del Perpetuo Socorro; al sur con el predio de la Congregación del Oratorio de San Felipe Neri; y al occidente con la Calle 8 oeste vía al CAM Anganoy.
UBICACIÓN GEÓGRAFICA EN LA CIUDAD DE PASTO	

Pág. 1 de 4

8



ÁREA BRUTA	14 Ha
CONDICIONES GENERALES	<p>La presente Factibilidad de servicios, se expide únicamente para adelantar los trámites de formulación del Plan parcial ante la Secretaría de Planeación Municipal, por lo tanto no constituye certificación de disponibilidad de servicios y bases técnicas para diseño, ni autorización para trámite de licencia de urbanismo y/o construcción, construcción de redes de acueducto y alcantarillado o desarrollo urbanístico, ni para presentación de proyectos.</p> <p>Teniendo en cuenta que no se conoce la información definitiva del proyecto, es posible que para garantizar el suministro de agua potable y/o el drenaje adecuado de las aguas residuales e lluvias, se requiera que el interesado o responsable del proyecto desarrolle obras de ampliación o renovación de la infraestructura existente de los sistemas de acueducto y alcantarillado.</p> <p>La Factibilidad de Servicios queda supeditada a que el Plan parcial, no se encuentre en zona de alto riesgo de tipo geológico, hidráulico o eléctrico, o genere afectaciones a rondas hídricas o a otros sistemas de acueducto y/o alcantarillado existentes en la zona.</p>
VIGENCIA	Dos (2) años a partir de su expedición.
ALCANCE	El caudal de agua potable a suministrarse dependerá del número de soluciones de vivienda del proyecto y estará sujeto a la determinación detallada de los consumos que establezcan los estudios del Plan parcial de desarrollo, con base en los parámetros urbanísticos que determine el P.O.T. en la zona de expansión.
REDES EXISTENTES Y PROYECTADAS EN LA ZONA DEL PLAN PARCIAL	<p>REDES DE ACUEDUCTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> Red de acueducto del sistema Mijayo alto – Panorámico I (S11): tubería en PVC Diámetro = 6 p/g. Longitud = 365 metros. Estado físico de la tubería: bueno. Red de acueducto del sistema Mijayo bajo – San Vicente (S08): tubería en PVC Diámetro = 10 p/g. Longitud = 750 metros. Tubería en construcción. <p>El responsable del proyecto deberá tener en cuenta la localización de estas redes para la implantación urbanística, proyectando vías o áreas públicas sobre los corredores de estas tuberías o en su defecto deberá realizar a su costa la variación de las redes, si llegara a ser necesario, garantizando mantener su estabilidad y sus condiciones hidráulicas, concertando previamente con EMPOPASTO S.A. E.S.P. las modificaciones propuestas.</p> <p>REDES DE ALCANTARILLADO:</p> <ul style="list-style-type: none"> No existen redes de alcantarillado operadas y administradas por EMPOPASTO S.A. E.S.P. en la zona del proyecto.
INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE PARA CONEXIÓN A LOS SERVICIOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	
ACUEDUCTO	ALCANTARILLADO
<ul style="list-style-type: none"> Sector hidráulico: Mijayo alto – Panorámico I (S11). Punto de acceso: Tanque de almacenamiento proyectado Mijayo alto II. Localización: EMPOPASTO S.A. E.S.P. Planta Mijayo. 	<p>Sanitario:</p> <ul style="list-style-type: none"> Área de drenaje: Troncal Angaroy Panamericana (T03). Punto de acceso: Colector en PVC Ø 20 p/g. Localización: Carrera 33 entre calles 5 Oeste y 6 Oeste Los Rosales. <p>Pluvial:</p> <ul style="list-style-type: none"> Punto de acceso: Colector en PVC Ø 30 p/g. Localización: Carrera 33 entre calles 5 Oeste y 6 Oeste Los Rosales.

LINEAMIENTOS TÉCNICOS Y LEGALES

GENERALES

- Se debe tener en cuenta lo dispuesto por el Decreto N° 302 del 25 de febrero de 2000, por medio del cual se reglamenta la ley 142 de 1994 en materia de prestación de servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
- La información suministrada por EMPOPASTO S.A. E.S.P. sobre los posibles puntos de acceso o conexión a los servicios de acueducto y alcantarillado, deberá ser revisada por el Urbanizador y/o Constructor y en caso de no cumplir con las condiciones técnicas de conexión, deberá proponer a EMPOPASTO S.A. E.S.P. las alternativas de solución o los ajustes que considere necesarios.
- El Urbanizador y/o Constructor deberá realizar ante la Secretaría de Planeación Municipal, el trámite de solicitud, formulación y aprobación del Plan parcial.
- El Urbanizador y/o Constructor deberá tramitar ante la Autoridad Ambiental Competente, los permisos relacionados con vertimientos de aguas residuales e lluvias; cambios morfológicos, disposición de escombros y rellenos que deban cumplir con especificaciones técnicas vigentes, según el uso del suelo y los demás temas relacionados con el desarrollo de los predios en cuanto a las actuales disposiciones ambientales.
- El Plan parcial deberá incluir dentro de los costos del proyecto, la inversión requerida para la realización de los estudios, diseños y construcción de la infraestructura requerida de acueducto y alcantarillado para garantizar la adecuada prestación de los servicios, según los usos del suelo y densidades de población establecidos por la Secretaría de Planeación Municipal.
- El Urbanizador y/o Constructor deberá realizar los diseños de los sistemas de acueducto y alcantarillado sanitario y pluvial, de acuerdo con las disposiciones de la norma RAS – Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Mediante estudio de suelos y análisis geotécnico se deberá garantizar que, con los trabajos de excavación y las cargas propias del Plan parcial, no se afectarán las redes de acueducto y alcantarillado existentes en el sector.
- El diseño y construcción de las redes e instalaciones hidrosanitarias internas de acueducto, sistema contra incendios, alcantarillado pluvial y alcantarillado sanitario; son de entera responsabilidad del Urbanizador y/o Constructor, quien por tanto deberá garantizar dentro de los predios la eficiente prestación interna de estos servicios.
- El Urbanizador y/o Constructor deberá verificar las condiciones de operación de las redes existentes de acueducto y alcantarillado que se intervendrán directa o indirectamente con el proyecto, evaluando la capacidad hidráulica de aquellas a las que se va a conectar, teniendo en cuenta los usos del suelo y los procesos futuros de densificación.
- En caso de requerir servidumbre, el urbanizador y/o constructor deberá tramitar su legalización ante la persona natural o jurídica correspondiente.
- En la etapa de certificación de disponibilidad de servicios y bases técnicas de diseño, una vez se conozca la información definitiva del proyecto, EMPOPASTO S.A. E.S.P. podrá determinar la necesidad de ejecutar obras hidráulicas adicionales.

ACUEDUCTO

- Con base en un estudio de modelación hidráulica, se deberá verificar la capacidad del sistema de acueducto a intervenirse, en el área de influencia del Plan parcial. Igualmente el dimensionamiento de las redes y estructuras hidráulicas del sistema de acueducto propuesto en el Plan parcial, deberán verificarse mediante un estudio de modelación hidráulica.
- Las unidades residenciales, comerciales, institucionales e industriales proyectadas en el Plan parcial, deberán dotarse de los medidores de consumo aprobados por EMPOPASTO S.A. E.S.P. Si fuera el caso se deberán implementar estructuras de control hidráulico que puedan requerirse para el adecuado funcionamiento del proyecto.

ALCANTARILLADO SANITARIO

- De acuerdo con las densidades de población y usos del suelo definidos por la Secretaría de Planeación Municipal, el interesado o responsable del proyecto deberá estimar los caudales y realizar la evaluación y diagnóstico de la capacidad hidráulica y estructural de los colectores a los que se realizarán las descargas, determinando si se presenta déficit y planteando las soluciones de refuerzo que sean necesarias, las cuales deberán contar con aceptación de EMPOPASTO S.A. E.S.P. Los refuerzos podrán requerirse hasta sitios localizados por fuera de los límites del Plan parcial.
- Cuando la red de alcantarillado no pueda recibir las aguas servidas o aguas lluvias por gravedad, por estar el drenaje por debajo del nivel de la red, se deberá proveer de equipos de eyectores para su correcto y buen funcionamiento.
- Las instalaciones hidráulicas internas del servicio de alcantarillado deberán manejarse en forma separada (sanitaria y pluvial).
- Para el caso de los drenajes de caudales de origen agrícola, pecuario e industrial, se deberán plantear sistemas de tratamiento de las aguas residuales antes de su vertimiento a los colectores de la red de alcantarillado.

ALCANTARILLADO PLUVIAL:

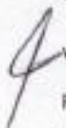




- Se deberán proyectar sistemas de drenaje pluvial para las vías principales definidas en el Plan parcial. Se deberá realizar la evaluación técnica y de impacto ambiental si se propone la descarga de los caudales pluviales a cuerpos hídricos.
- En el planteamiento del proyecto se deberá tener en cuenta lo especificado en la Norma RAS, en lo referente a la estimación de caudales del sistema de alcantarillado pluvial, adoptando las medidas necesarias para limitar al máximo posible los caudales producidos, de manera que se asemejen a los existentes antes de realizar las obras de urbanismo, utilizando para ello soluciones de drenaje que involucren Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).
- La localización, distribución, longitud y diámetros de las nuevas redes de alcantarillado, se definirán en función de las características de la microcuenca de drenaje y los usos del suelo, tales como el coeficiente de escorrentía, porcentaje de zonas duras y verdes y los caudales máximos de diseño que se obtengan con las metodologías de diseño vigentes al momento de elaborar los estudios y diseños de redes correspondientes al proyecto del Plan parcial.

Una vez se apruebe el Plan parcial por parte de la Secretaría de Planeación Municipal, el Urbanizador y/o Constructor deberá continuar con el trámite ante EMPOPASTO S.A. E.S.P., para la Certificación de Disponibilidad de Servicios y bases técnicas de diseño.

Atentamente,



DIANA MERA VILLAREAL
Gerente (E) EMPOPASTO S.A. E.S.P.

 Vo. Bo. Dr. Julio Delgado Daste, Jefe Oficina Asesora Jurídica
Revisó: Dr. Faber Caicedo, Profesional Oficina Asesora Jurídica 
Revisó: Jorge Caicedo Santander, Subgerente técnico 
José Rosales Enriquez, Director Área de Diseño y desarrollo urbano 
Proyectó: Raúl H. Villota Cerón, Profesional IV 



Al contestar por favor cite estos datos:
Radicado No. 20213300144211

Pasto. Martes, 07 de Diciembre de 2021

Doctor:

MARIO FERNANDO BRAVO CABRERA

Carrera 33 N° 5 Oeste – 104 Barrio El Bosque

Tel: 3003005424

Correo: gerencia@hospitalperpetuosocorro.org - correspondencia@hospitalperpetuosocorro.org

Pasto - Nariño

Asunto: Respuesta a oficio radicado N° 20215010116852 del 24 de Noviembre de 2021

Cordial saludo:

En atención a su solicitud, me permito informarle que con fundamento en lo estipulado en el Artículo 3° del Decreto 3050 de 2013 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio; la vigencia de la Factibilidad de servicios de acueducto y alcantarillado del PLAN PARCIAL DE DESARROLLO SOCIAL Y URBANÍSTICO SAN BENITO MENNI del Municipio de Pasto, de la Congregación Hermanas Hospitalarias – Hospital Mental Nuestra Señora del Perpetuo Socorro, expedida por EMPOPASTO S.A. E.S.P. mediante oficio radicado N° 20203300002371 del 9 de enero de 2020; se amplía en un término de tres (3) años más, es decir, hasta el 09 de enero de 2025.

Que las demás disposiciones técnicas y normativas del documento de factibilidad de servicios mencionado continúan vigentes.

Atentamente,

GUILLERMO VILLOTA GÓMEZ

Gerente EMPOPASTO S.A. E.S.P.

Revisó:	Diana Carolina Marcillo, Jefe Oficina Asesora Jurídica	
	Faber Calcedo, Profesional Oficina Asesora Jurídica	
Revisó:	Jorge Calcedo Santander, Subgerente técnico	
	José Rosales Enriquez, Director Área de Diseño y Desarrollo Urbano.	
Proyectó:	Raúl Hemán Villota Cerón, Profesional IV Diseño y Desarrollo Urbano.	



EL PROFESIONAL UNIVERSITARIO I DE LA OFICINA DE REDES

DE CEDENAR S.A. E.S.P.

HACE CONSTAR

Inmueble denominado Villa Dolores Lote No. 1 identificado con el folio de matrícula inmobiliaria No. 240-224802, ubicado en la ciudad de Pasto, puede acceder al servicio de energía eléctrica, al nivel de tensión dos 13.2 kV o nivel tres 34.5 kV, según la potencia que requiera el proyecto, de PLAN PARCIAL del inmueble en referencia.

El punto de conexión para la disponibilidad del servicio serán la coordenada -77,300165 - 1,208874, para el nivel dos y -77,300692 - 1,206652 para el nivel tres.

El costo de acceso a estos puntos de conexión se tendrá que incluir en el presupuesto del proyecto del plan parcial.

Para constancia se firma en San Juan de Pasto, a los (22) días del mes de febrero de 2021.



ING. JAIME ARTURO LOPEZ
P.U.I. DE REDES

2.5 | ESTRUCTURA

SOCIO-ECONÓMICA

2.5.1 Usos del Suelo

El análisis de los usos del suelo, permite identificar las dinámicas económicas y sociales que toman lugar en el territorio, al analizar los patrones, tendencias y fenómenos de crecimiento de las actividades económicas de los sectores en relación con los sistemas estructurantes.

Según el artículo 298 del Acuerdo Municipal 004 de 2015, se definen los usos del suelo como *"la destinación que se le asigna al suelo del territorio municipal, de conformidad con las actividades que se puedan desarrollar sobre el mismo"*.

Como se evidencia en el plano a continuación, dentro del área de influencia del Plan Parcial Villa Dolores, el uso predominante del suelo corresponde al uso residencial, el cual se define según el artículo 299 del Acuerdo 004 de 2015 como *" la destinación del suelo a la vivienda como lugar de habitación permanente"* y se presenta en el territorio con una densidad baja; viviendas unifamiliares de 1 y 2 pisos en tipología continua y en varios casos dentro de conjuntos cerrados en barrios consolidados.

De igual manera, se presentan, en proximidad al Plan Parcial "Villa Dolores" y frente a los corredores de la malla vial, usos institucionales, comerciales y de servicios, los cuales se definen en el artículo 299 del Acuerdo 004 de 2015 como *"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"* y se presentan en el territorio a manera de grandes complejos educativos (universidades y colegios) de baja densidad, con canchas deportivas y zonas verdes.

Cabe resaltar, que a pesar de ser un sector residencial, la presencia de grandes predios de uso institucional, genera

variaciones en el tejido urbano, haciéndose necesaria la articulación del territorio por medio de una adecuada infraestructura vial y la vinculación de nuevas zonas verdes que ayuden a dinamizar el tejido y proporcionar los servicios urbanos necesarios para el sector.

Por otro lado, los usos comerciales y de servicios, se definen en el artículo 299 del Acuerdo Municipal 004 de 2015 como *"la destinación del suelo para el desarrollo de las actividades económicas de intercambio y oferta de bienes, que permiten satisfacer necesidades de la población"* y *"la destinación del suelo para el desarrollo de las actividades económicas de provisión y apoyo a procesos logísticos, profesionales y ocasionales para las personas, los vehículos, el transporte, la vivienda y las oficinas"*. Los usos anteriormente mencionados, se presentan generalmente en el territorio con baja densidad y en proximidad con los principales corredores de la malla vial arterial del área de influencia, los cuales corresponden a la Calle 8 Oeste, Carrera 26, Carrera 33 y Av. Panamericana principalmente.

Para concluir, se evidencia que el sector donde se ubica el Plan Parcial es una zona mayoritariamente de uso residencial, con presencia de instituciones educativas, administrativas y de servicios de salud de escala metropolitana y zonal, lo que implica una alta demanda de servicios urbanos para el sector sur-occidental del Municipio de Pasto, al tratarse de una zona en desarrollo. Por lo anterior, es correcto afirmar que el área de influencia donde se ubica el Plan Parcial Villa Dolores, requiere el desarrollo de nuevos servicios asociados a la actividad residencial, con el fin de garantizar la cobertura de los mismos en radios caminables, con el fin de dinamizar la oferta de usos mixtos en el sector.

USOS DEL SUELO

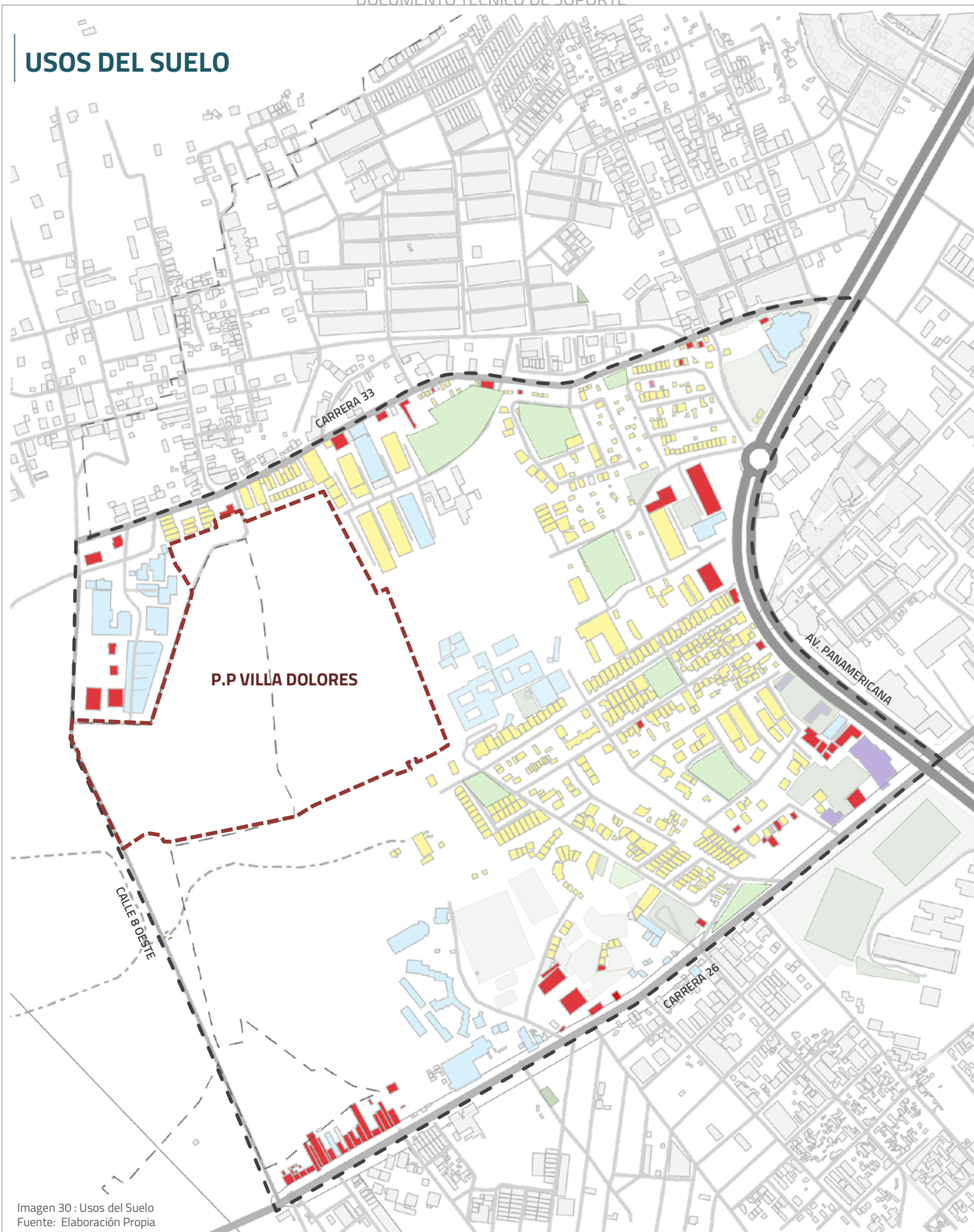
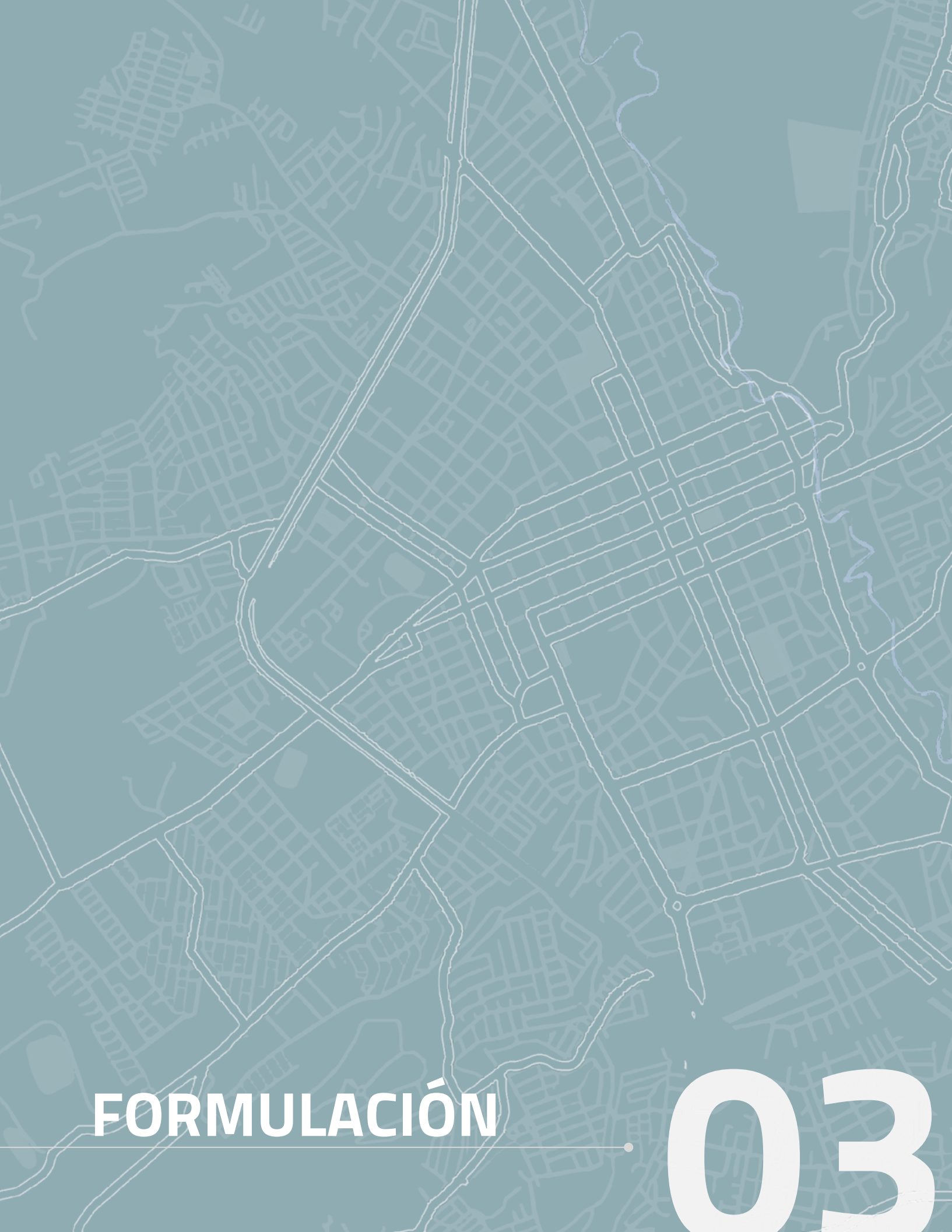


Imagen 30 : Usos del Suelo
Fuente: Elaboración Propia

CONVENCIONES

	Plan Parcial Villa Dolores		Limite Urbano		Área de Influencia		Vivienda		Institucional		Comercio		Industria		Zonas Verdes
------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	---------------	-------------------------------------------------------------------------------------	--------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	----------	-------------------------------------------------------------------------------------	---------------	---------------------------------------------------------------------------------------	----------	---------------------------------------------------------------------------------------	-----------	---------------------------------------------------------------------------------------	--------------



FORMULACIÓN

03

3.1 | REFERENTES

PROYECTUALES

• Referencia de Proyectos Internacionales

PARK LAKE - BUCHAREST

Corresponde a un proyecto de uso comercial de aproximadamente 70.000 m², elaborado por Sonae Sierra en la ciudad de Bucharest en Rumania. El proyecto busca relacionar la actividad comercial con espacios para la recreación y cultura, por medio de un gran parque natural al borde del Lago Titán.

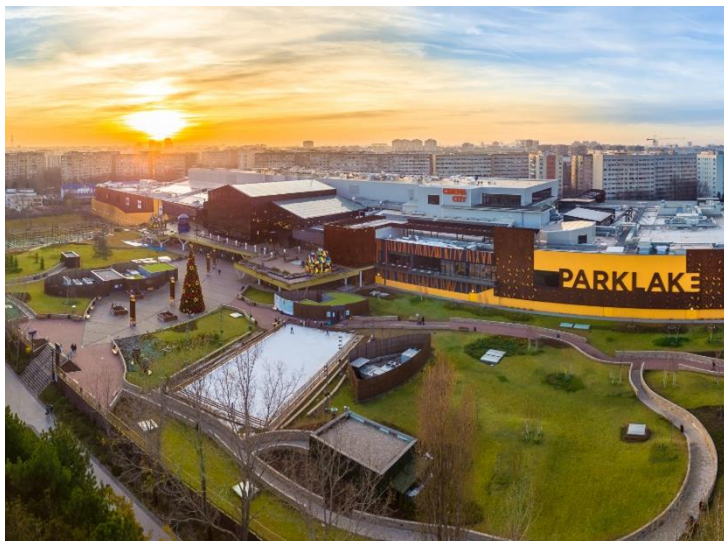


Imagen 30: Park Lake - Bucharest

Fuente: <https://www.wearereify.com/pt/project/park-lake/>

El concepto con el cual fue creado Park Lake se fundamentó en tres palabras principales: Naturaleza, Parque y Familia. El complejo comercial buscaba generar un espacio natural en inmediaciones del Lago Titán, que fuera acogedor, sostenible y que diera una nueva visión de la relación que deben tener los centros comerciales con el contexto existente.



Imagen 31: Park Lake - Bucharest

Fuente: <https://www.wearereify.com/project/park-lake/>

Park Lake busca generar una adecuada implantación en el entorno de la ciudad, razón por la cual su diseño arquitectónico, urbanístico y paisajístico busca **respetar parámetros de sostenibilidad** que lo ayuden a mimetizarse con el entorno natural del parque-lago Titán.

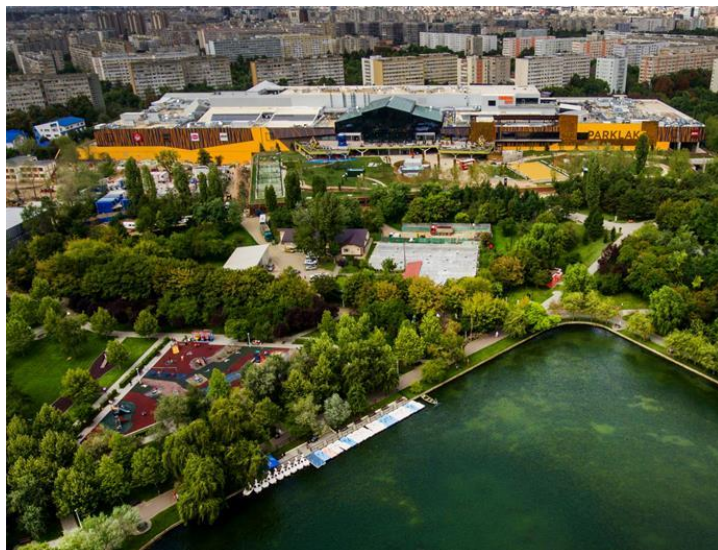


Imagen 32: Park Lake - Bucharest

Fuente: <https://propertyeu.info/Nieuws/Sonae-Sierra-opens-ParkLake-in-Bucharest/0db960b8-a8ea-48bd-a24b-8e19431ac0ea>

El diseño del espacio público se relaciona con el entorno construido, por medio de recorridos peatonales que facilitan la integración de los espacios y áreas sociales exteriores. Se generó un diseño paisajístico que resaltara la fachada arquitectónica y fomentara la cobertura vegetal a lo largo del contorno de la edificación. Los jardines exteriores buscan generar espacios de ocio para la población que visite el centro comercial, donde se puedan desarrollar actividades recreativas, culturales, deportivas y de contemplación.

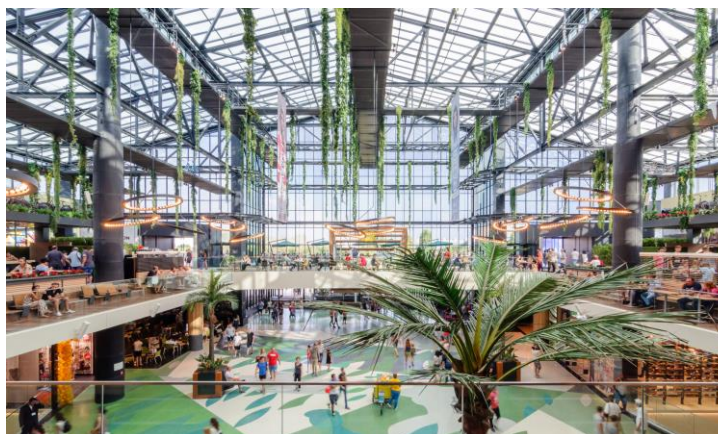


Imagen 33: Park Lake - Bucharest

Fuente: <https://www.wearereify.com/project/park-lake/>

- **Referencia de Proyectos Nacionales**

CENTRO COMERCIAL JARDÍN PLAZA - CÚCUTA

Jardín Plaza es un proyecto comercial de aproximadamente 40.000 m² ubicado en la ciudad de Cúcuta en Colombia. El complejo comercial fue desarrollado por Sonae Sierra y tuvo como objetivo principal garantizar la apertura y relación del uso comercial con el contexto inmediato.



Imagen 34: CC Jardín Plaza Cúcuta
Fuente: Sonae Sierra

Debido al clima cálido de Cúcuta, el diseño arquitectónico contempla un amplio porcentaje de zonas descubiertas para garantizar el máximo aprovechamiento de iluminación y ventilación natural.



Imagen 35: CC Jardín Plaza Cúcuta
Fuente: Sonae Sierra

A nivel urbanístico, se contemplan plazoletas y senderos que recorren el interior del complejo comercial, en donde se ubica mobiliario urbano exterior y especies arbóreas de alto porte, que generen sombra sobre las zonas de permanencia.



Imagen 36: CC Jardín Plaza Cúcuta
Fuente: Sonae Sierra

El proyecto se implantó en una zona en proceso de desarrollo en la ciudad de Cúcuta, lo que generó un punto atractivo para el desarrollo inmobiliario de los lotes vecinos, a manera de edificios de gran altura de uso residencial. De igual manera, los espacios públicos contemplados al interior y exterior del complejo comercial, mejoraron el indicador de espacio público por habitante del sector.



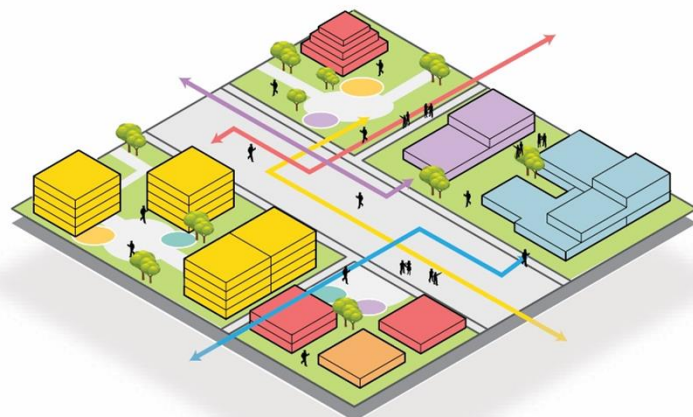
Imagen 37: CC Jardín Plaza Cúcuta
Fuente: Sonae Sierra

3.2 | CONCEPTO

URBANÍSTICO

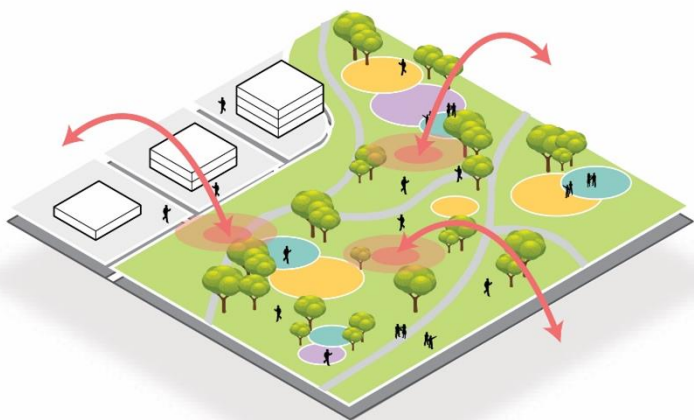
HÁBITAT DINÁMICO

La definición biológica de la palabra **"Hábitat"** obedece al entendimiento de un lugar cuyas condiciones sean apropiadas para la supervivencia de un organismo, especie o comunidad animal o vegetal. La definición de **"Hábitat"** utilizada en proyectos urbanísticos y arquitectónicos, obedece a un espacio construido que cuenta con las características físicas y funcionales necesarias para que un individuo o grupo de individuos pueda desarrollarse en plenitud y tener una adecuada calidad de vida.



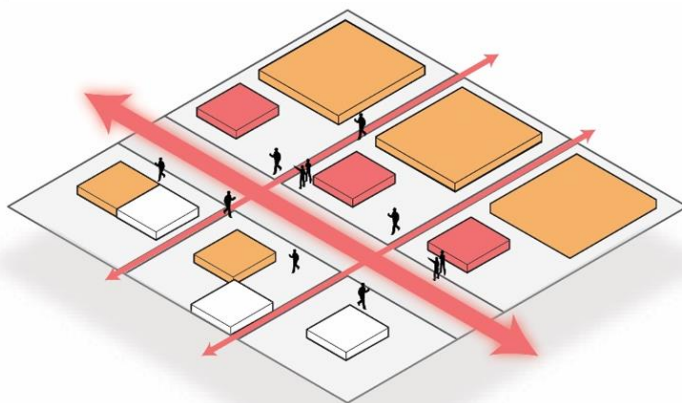
Fuente: Elaboración Propia

La definición de **"Dinámico"** obedece a una característica que representa movimiento y cambio y la definición de **"Dinamismo"** obedece a actividades que representen energía y fluidez. El Plan Parcial Villa Dolores busca generar un entorno que garantice las condiciones óptimas para el desarrollo de la población residente de Pasto, en especial la que habita hacia la zona sur-occidental. Lo anterior se logra a partir de la incorporación de usos que garanticen el adecuado desarrollo de las actividades cotidianas, generando usos del suelo mixtos que dinamicen el sector, potencien los flujos peatonales, reduzcan las distancias entre la residencia y las actividades comerciales, culturales, deportivas y de recreación.



Fuente: Elaboración Propia

El Plan Parcial "Villa Dolores" propone la integración de usos comerciales, residenciales, de equipamiento público y espacio público, para garantizar que en el costado sur-occidental de la ciudad, la población cuente con los usos y servicios necesarios en un nivel de proximidad que garantice distancias caminables. Por otro lado, se busca garantizar variabilidad en los usos propuestos garantizando un desarrollo progresivo y diverso para el sector, dotando los espacios públicos con zonas que permitan la interacción al aire libre de la población y la conexión peatonal con los barrios aledaños, generando fluidez y dinamismo en el territorio.



Fuente: Elaboración Propia

3.3 | PROPUESTA

URBANÍSTICA

3.3.1 Identificación Predial

El delimitado propuesto para el Plan Parcial “Villa Dolores” se compone de tres predios, los cuales suman un área bruta total de 149.833,39 m², en donde el lote no.1, identificado con la matrícula inmobiliaria 240-224802, cuenta con un área topográfica de 140.753,87 m². El lote no. 2 , identificado con la matrícula inmobiliaria 240-191101, cuenta con un área topográfica de 5.695,68m². El lote no. 3, identificado con la matrícula inmobiliaria 240 – 193039, cuenta con un área topográfica de 3.383,84m². Se evidencian diferencias numéricas entre las áreas topográficas y las áreas de los estudios de títulos del Plan Parcial, sin embargo, debido a que las diferencias no superan el 3% de cada predio, no es necesario ajustar los folios de matrícula de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 15°, Resolución Conjunta IGAC 1101 – SNR 11344 de 2020 .

Con respecto al lote No. 3, se incluye dentro del ámbito del Plan Parcial Villa Dolores, como un área de manejo diferenciado, ya que corresponde a un predio que ya es propiedad del municipio, y que la razón para incorporarla radica en garantizar la operación del uso propuesto, mediante la rehabilitación de dicha área para la generación de un circuito vial

Cuadro de Identificación Predial			
Predio	Área Topográfica	Área de Títulos	Matrícula Inmobiliaria
Lote 1	140.753,87 m ²	140.395,95 m ²	240-224802
Lote 2	5.695,68 m ²	5.870 m ²	240-191101
Lote 3	3.383,84 m ²	3.569,3 m ²	240-193039

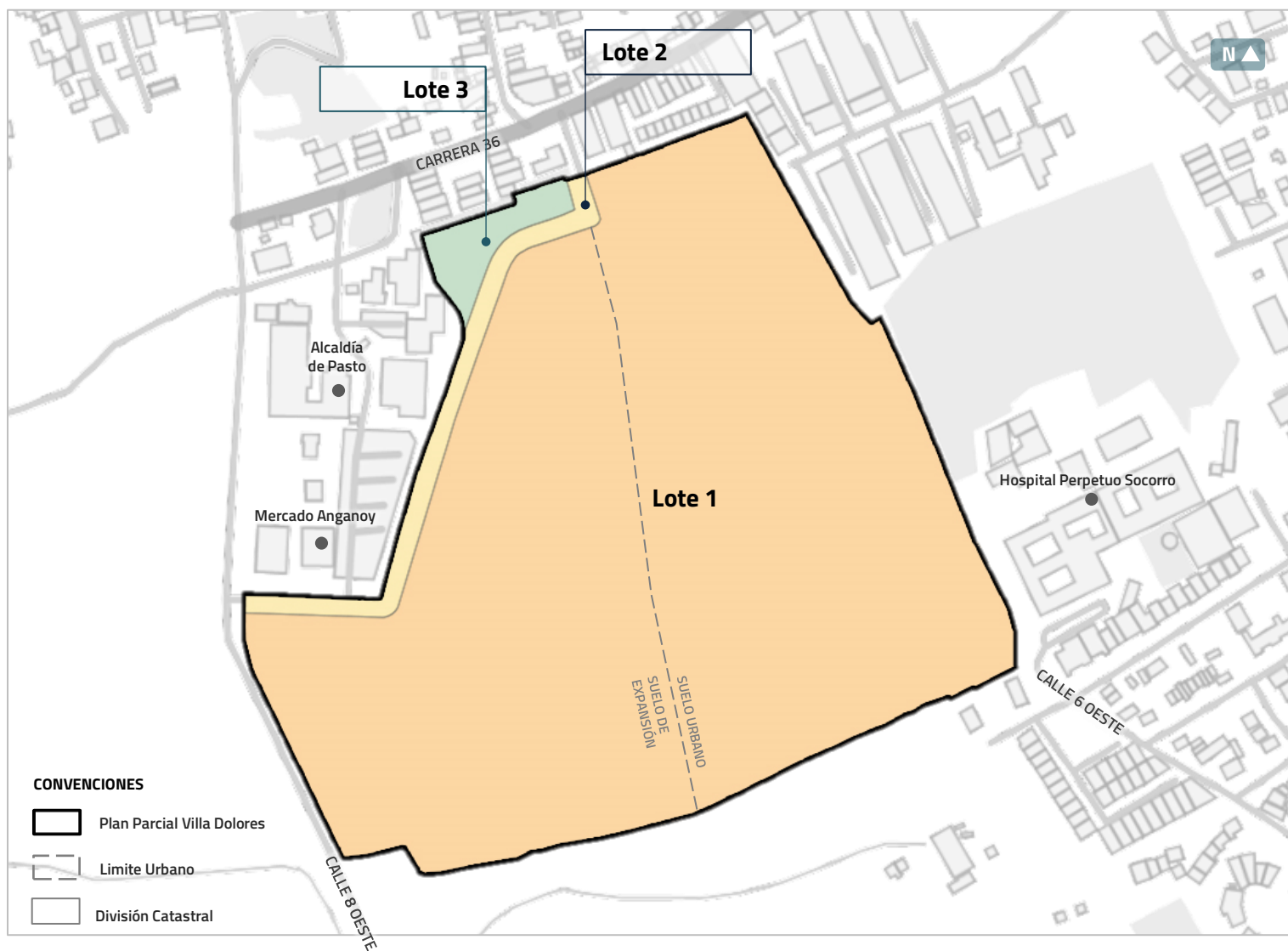


Imagen 38: Identificación predial del Plan Parcial
Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Propuesta de re-delimitación del Plan Parcial Mijitayo

A partir de lo anterior, se genera como conclusión la solicitud de re delimitación del Plan Parcial Mijitayo, teniendo en cuenta las condiciones geométricas irregulares del predio 2 localizado hacia el sur, la afectación por condición de riesgo ambiental (Flujo de Lodo Secundario), sobre el mismo predio y la afectación por ronda hídrica de la Quebrada Mijitayo localizada sobre la misma área. Dichas condiciones, dificultan el desarrollo urbanístico del polígono original correspondiente al Plan Parcial Mijitayo y es por tal razón que se propone una nueva delimitación denominada "Plan Parcial Villa Dolores", con el fin de garantizar un adecuado desarrollo urbanístico que le aporte a la ciudad.

La propuesta de re delimitación contempla un polígono con 149.833,39m² de área bruta.

Dicha propuesta de re delimitación consiste en **excluir** el predio ubicado en el costado sur del predio, frente a la Calle 8 Oeste y la Quebrada Mijitayo, ya que no cuenta con identificación catastral y sus condiciones de desarrollo están restringidas..

Adicionalmente, se propone **incorporar 2 predios** dentro del ámbito del Plan Parcial "Villa Dolores" un predio de 3.383,84m² ubicado en el costado nor-occidental del ámbito original, el cual corresponde a un predio privado sin edificar que cuenta con condiciones de colindancia y geometría que podrían dificultar su desarrollo individual, y otro predio que corresponde a la vía existente entre la sede de Anganoy de la alcaldía de Pasto y el predio 1, que cuenta con un área 5.695,68m².

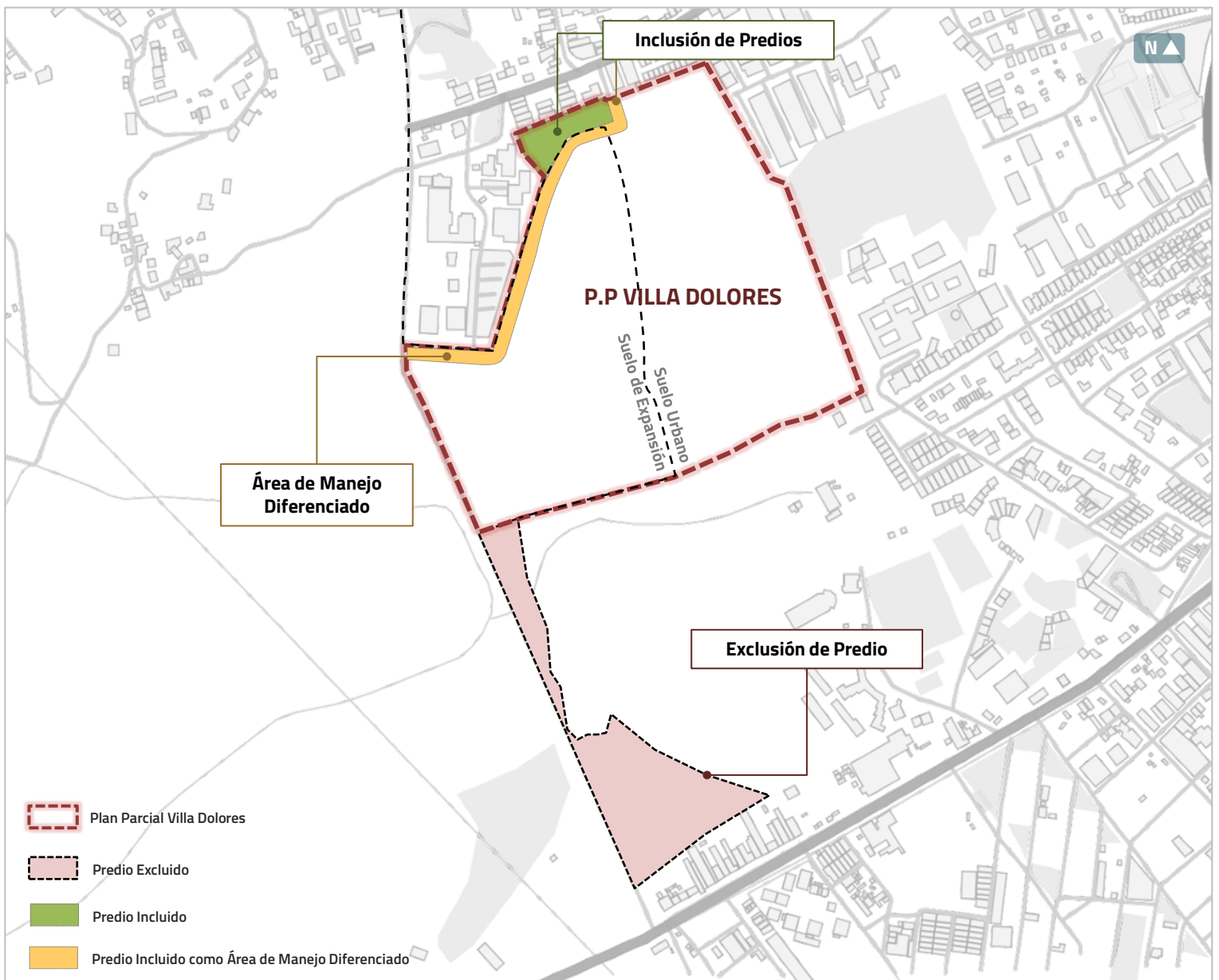


Imagen 39: Propuesta de Re delimitación del Plan Parcial
Fuente: Elaboración propia

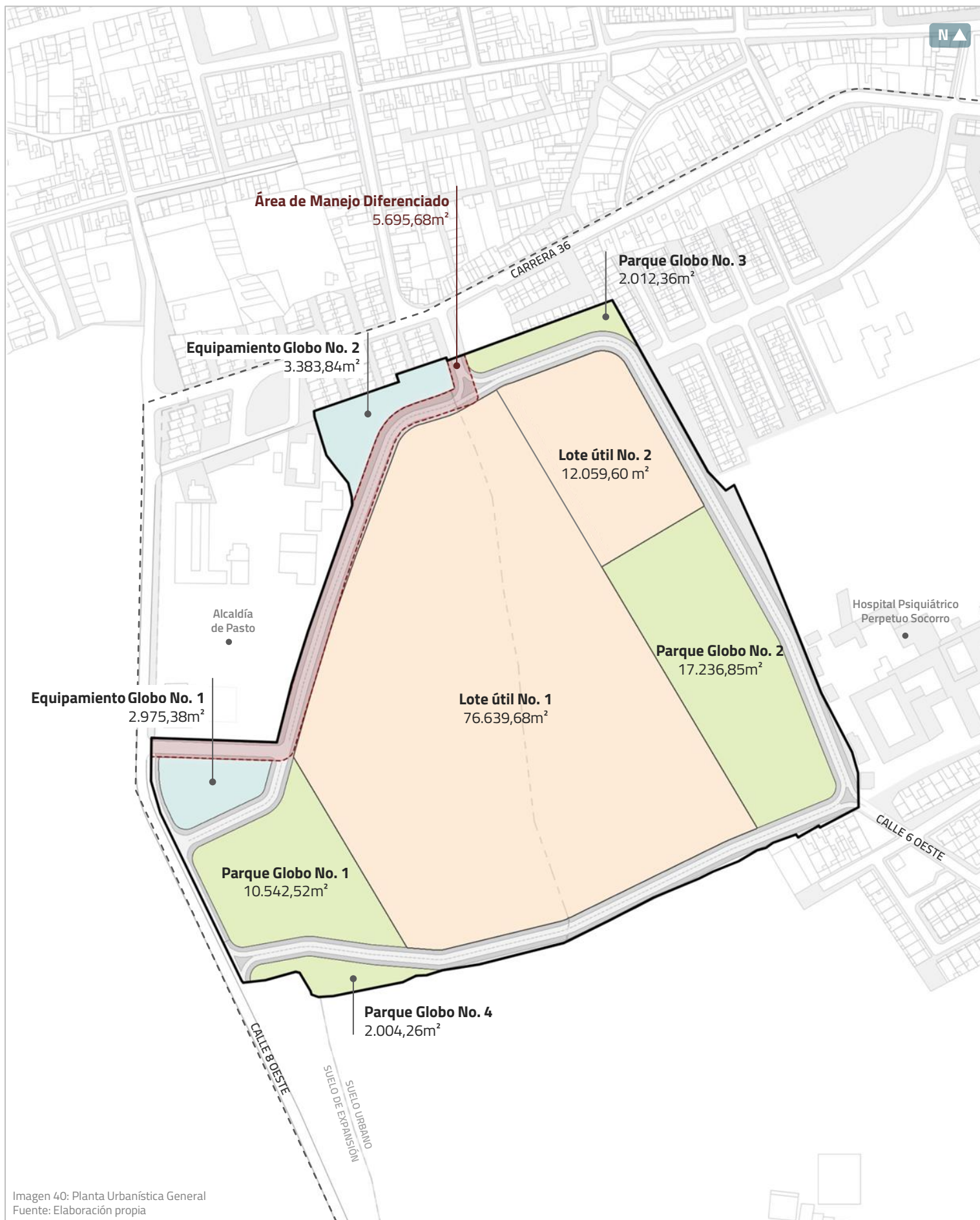
3.3.3 Propuesta Urbanística General

El Plan Parcial Villa Dolores es un proyecto de uso mixto que busca potenciar el desarrollo urbano en el sector sur-occidental de la ciudad de Pasto. Cuenta con un área bruta total de 149.833,39 m², compuesto por 3 lotes señalados capítulo 3.3.1 "Identificación predial".

Adicionalmente, el Plan Parcial cuenta con un Área de Manejo Diferenciado, que corresponde a la cesión anticipada entregada al municipio para la construcción de la vía Cam-Mijitayo con un área total de 5.695,68 m², la cual se descuenta del área bruta del predio, resultando en un Área Objeto de Desarrollo de 144.137,71 m², o Área Neta Urbanizable, dado que no se cuenta con afectaciones al interior del ámbito de planificación

De igual manera, el proyecto contempla 55.438,43 m² de cargas urbanísticas locales, las cuales se distribuyen en 31.795,99 m² de cargas locales de espacio público en sitio distribuidas en 3 globos de cesión que circundan el área útil y articulan la propuesta con las zonas consolidadas; de los cuales 6.359,22m² corresponden a cargas locales de equipamiento público, distribuidos en 2 globos de cesión que se relacionan de manera directa con los equipamientos existentes (Alcaldía de Pasto sede Anganoy y Mercado de Anganoy) y 17.283,22 m² que corresponden a cargas locales de vías propuestas, distribuidas en 3 globos de cesión que circundan la manzana útil. Se destinarán 88.699,28 m² como área útil, que conformarán una manzana que cuenta con dos lotes de uso mixto.

P.P VILLADOLORES			
ITEM	DESCRIPCIÓN	m ²	%
1	ÁREA BRUTA	149.833,39	100,00%
1.1	Polígono PP Original	140.753,87	93,94%
1.2	Predio contiguo	3.383,84	2,26%
1.3	Vía Cam Rosales	5.695,68	3,80%
2	ÁREA DE MANEJO DIFERENCIADO	5.695,68	3,80%
2.1	Vía Cam Rosales	5.695,68	3,80%
3	ÁREA OBJETO DE DESARROLLO	144.137,71	96,20%
4	AFECTACIONES TOTALES	0,00	0,00%
5	ÁREA NETA URBANIZABLE	144.137,71	96,20%
6	CARGAS LOCALES TOTALES	55.438,43	38,46%
6.1	Cargas locales de Espacio Público exigidas	36.034,43	25,00%
6.2	Cargas locales de Espacio Público Propuestas Totales	36.034,43	25,00%
6.2.1	Cargas locales de Espacio Público Anticipadas	4.238,44	2,94%
6.2.2	Cargas locales de Espacio Público en sitio	31.795,99	22,06%
6.2.2.1	Parque Globo No. 1	10.542,52	7,31%
6.2.2.2	Parque Globo No. 2	17.236,85	11,96%
6.2.2.3	Parque Globo No. 3	2.012,36	1,40%
6.2.2.4	Parque Globo No. 4	2.004,26	1,39%
6.3	Cargas locales de Equipamientos Exigidas	7.206,89	5,00%
6.4	Cargas locales de Equipamientos Propuestas Totales	7.206,91	5,00%
6.4.1	Cargas locales de Equipamientos Anticipadas	847,69	0,59%
6.4.2	Cargas locales de Equipamientos en sitio	6.359,22	4,41%
6.4.2.1	Equipamiento Globo No. 1	2.975,38	2,06%
6.4.2.2	Equipamiento Globo No. 2	3.383,84	2,35%
6.5	Cargas locales de Vías Exigidas	14.413,77	10,00%
6.6	Cargas locales de Vías Propuestas	17.283,22	11,99%
6.6.1	Vía local Globo 1	2.208,04	1,53%
6.6.2	Vía local Globo 2	14.701,74	10,20%
6.6.3	Vía local Globo 3	373,44	0,26%
7	ÁREA ÚTIL	88.699,28	59,20%
7.1	Lote Útil 1	76.639,68	51,15%
7.2	Lote Útil 2	12.059,60	8,05%



3.3.3.1 Cesiones de Espacio Público

Según el Acuerdo Municipal 004 de 2015, se entienden las cesiones de espacio público y las relacionadas con vías, corresponden a cesiones in situ en el proyecto. En ningún caso, las áreas de cesión obligatoria con destino a vías y espacio público, podrán ser compensadas en dinero o canjearse por otros inmuebles. Según el artículo 258 del Acuerdo 004 de 2005, el área mínima del espacio público efectivo a ceder en un solo globo de terreno será de 2.000 metros cuadrados en planes parciales de desarrollo y deberán tener acceso desde vía pública.

Según el artículo 256 del mismo documento, el porcentaje correspondiente para cesiones de espacio público corresponde al 25% del área neta parcelable, lo que representa un área total obligatoria de 36.034,45 m² de los cuales 4.238,44 m² corresponden a cesiones anticipadas de espacio público, representando el 2,94% del total de cesiones locales de espacio público exigidas.



Imagen 41: Cesiones de Espacio Público
Fuente: Elaboración propia

El 22,06% correspondiente a las cargas locales de espacio público en sitio, se proponen en 4 globos de zonas verdes que rodean el perímetro del área útil. El globo no.1 se ubica frente a la Calle 8 Oeste y cuenta con un área de 10.542,52 m², el globo no. 2 se ubica en el costado oriental del lote próximo a la Calle 6 Oeste y cuenta con un área de 17.236,85 m². El globo no.3 se ubica en el costado norte del predio, en la intersección con la carrera 36 y cuenta con un área de 2.012,36 m² y el globo no. 4, el cual se ubica en el costado sur del predio, en proximidad con la Calle 8 oeste y cuenta con un área de 2.004,25 m².

El Plan Parcial Villa Dolores garantiza el cumplimiento del área mínima e 2.000 m² por cada globo de cesión de espacio público y hará entrega de los mismos con las condiciones de dotación establecidas en el Capítulo IV " Sistema de Espacio Público", sobre lineamientos para el diseño y construcción del espacio público de la red municipal de parques .

CESIONES DE ESPACIO PÚBLICO	m ²	%
Cargas locales de Espacio Público Exigidas	36.034,43	25,00%
Cargas locales de Espacio Público Propuestas Totales	36.034,43	25,00%
Cargas locales de Espacio Público Anticipadas	4.238,44	2,94%
Cargas locales de Espacio Público en sitio	31.795,99	22,06%
Parque Globo No. 1	10.542,52	7,31%
Parque Globo No. 2	17.236,85	11,96%
Parque Globo No. 3	2.012,36	1,40%
Parque Globo No. 4	2.004,26	1,39%



3.3.3.2 Cesiones de Equipamientos Públicos

Según el Acuerdo Municipal 004 de 2015, se entienden las cesiones de Equipamientos Públicos como una carga local obligatoria para la dotación de áreas destinadas a equipamientos comunitarios. Según el artículo 256 del mismo documento, el porcentaje correspondiente para cesiones de equipamiento público corresponde al 5% del área neta parcelable y deberá entregarse en un solo globo de terreno con acceso desde vía pública.

En el Plan Parcial Villa Dolores, el equivalente al 5% de área neta, representa un área total obligatoria de 36.034,43 m², de los cuales 4.238,44 m² corresponden a cesiones anticipadas para equipamiento público representando el 0,59% del total de cesiones locales de equipamiento público exigidas.

El 4,41% correspondiente a las cargas locales de equipamiento público en sitio, se entregarán en 2 globos de terreno que se ubicaran frente a la malla vial principal, garantizando un adecuada accesibilidad y conectividad con la ciudad y posibilitando la expansión futura de la Alcaldía De Pasto sede Anganoy y el Mercado Anganoy. El globo no.1, se ubica frente a la Calle 8 Oeste en proximidad con el Mercado Anganoy, y cuenta con un área de 2.975,38 m², representando el 2.06%. El globo no.2 se encuentra ubicado en proximidad con la Carrera 36 y la Alcaldía de Pasto Sede Anganoy, cuenta con un área de 3.383,84 m², representando el 2,35% del total de cesiones de equipamiento público en sitio.

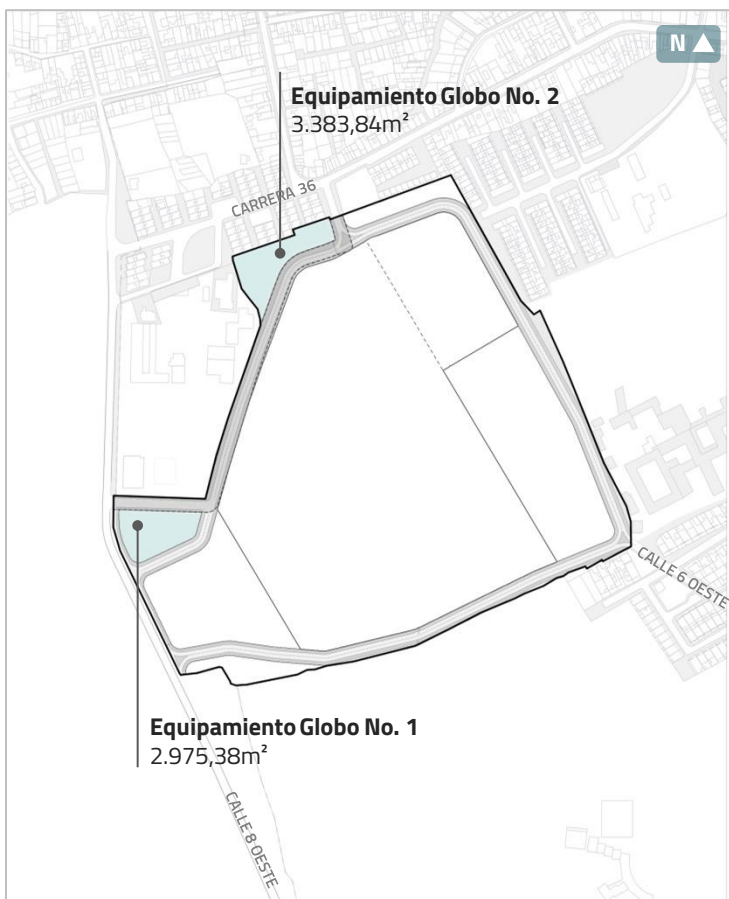
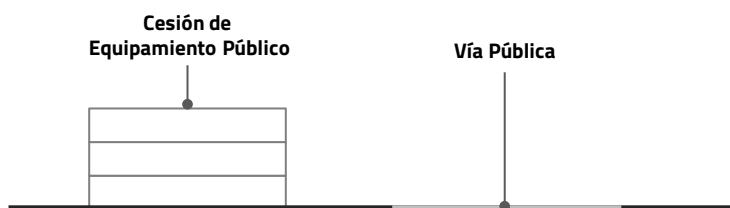


Imagen 42: Cesiones de Equipamiento Público
Fuente: Elaboración propia

CESIONES DE EQUIPAMIENTO PÚBLICO	m ²	%
Cargas Locales de Equipamiento Público Exigidas	36.034,43	5,00%
Cargas Locales de Equipamiento Público Propuestas Totales	36.034,43	5,00%
Cargas locales de Equipamiento Público Anticipadas	4.238,44	0,59%
Cargas locales de Equipamiento Público en Sitio	31.795,99	4,41%
Equipamiento Globo No. 1	2.975,38	2,06%
Equipamiento Globo No. 2	3.383,84	2,35%



3.3.3.3 Cesiones para Vías Locales

Según el Acuerdo 004 de 2015, se entienden las cesiones de vías locales como una carga local obligatoria que corresponde al mayor valor entre el 10% del área neta urbanizable y la cuantificación de las vías del diseño urbanístico. El Plan Parcial Villa Dolores cuenta con una demanda vial de 17.283,22 m², lo que representa el 11,99% del área neta urbanizable, superando así el mínimo exigido para cesiones obligatorias de vías locales. Por esta razón, no se requiere el uso de las cesiones anticipadas, dado que se sobrepasa el mínimo exigido para compensación de cesiones para vía local exigidas y el área vial necesaria para cubrir la demanda del proyecto.

El 11,99% correspondiente a las cargas locales de vías propuestas totales se distribuye en 3 globos de cesión.

El globo no.1 cuenta con un área de 14.701,74 m² y conecta el área de manejo diferenciado con la Calle 8 Oeste. El globo no.2 cuenta con un área de 14.701,74 m² y conecta la Calle 8 Oeste con la Calle 6 Oeste y la Carrera 36. El globo no. 3 corresponde a un área de 373,44 m², la cual se ubica en el costado norte del área útil en colindancia con el área de manejo diferenciado. Adicionalmente, se ubica un Área de Manejo Diferenciado de 5.695,68 m², en el costado norte del predio, la cual corresponde a la vía pública "CAM – Rosales" previamente adquirida por el municipio pero que se encuentra incluida al interior de la delimitación del Plan Parcial, sin embargo cuenta como carga en construcción para los procesos de mejoramiento y rehabilitación de la misma.

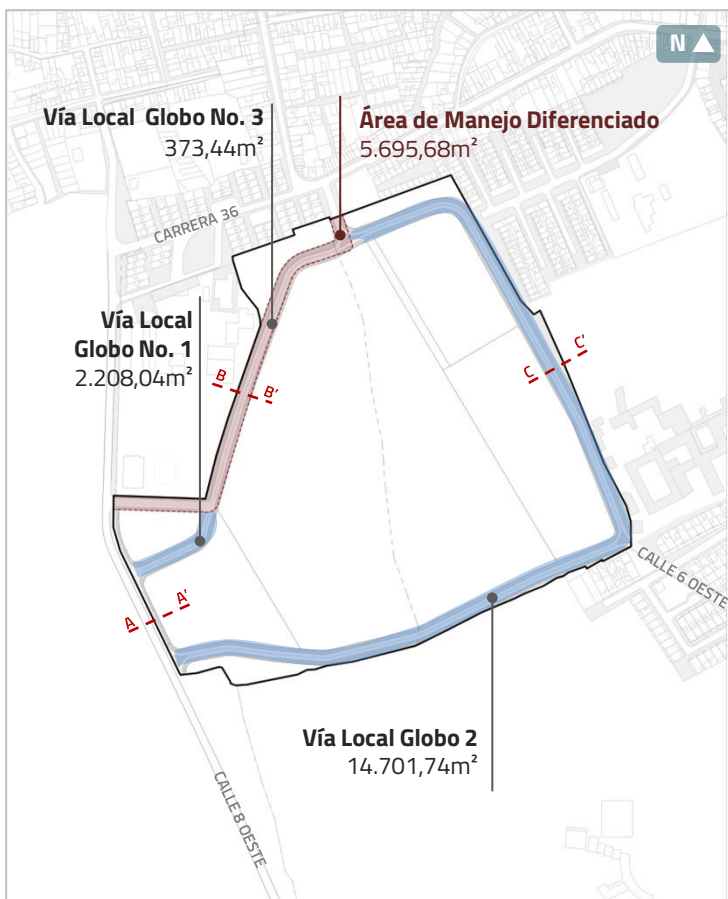
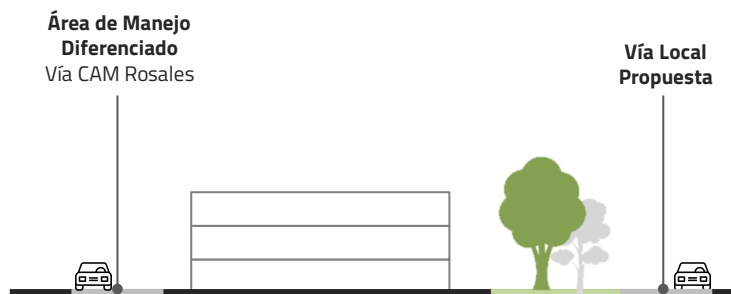


Imagen 43: Cesiones de Vías Locales
Fuente: Elaboración propia

CESIONES DE VÍAS LOCALES	m ²	%
Cargas locales de Vías Locales exigidas	14.413,77	10,00%
Cargas locales de Vías Locales Propuestas totales	17.283,22	11,99%
Vía Local Globo No. 1	2.208,04	1,53%
Vía Local Globo No. 2	14.701,74	10,20%
Vía Local Globo No. 3	373,44	0,26%



CORTE A-A' Perfil Vial - Calle 8 Oeste

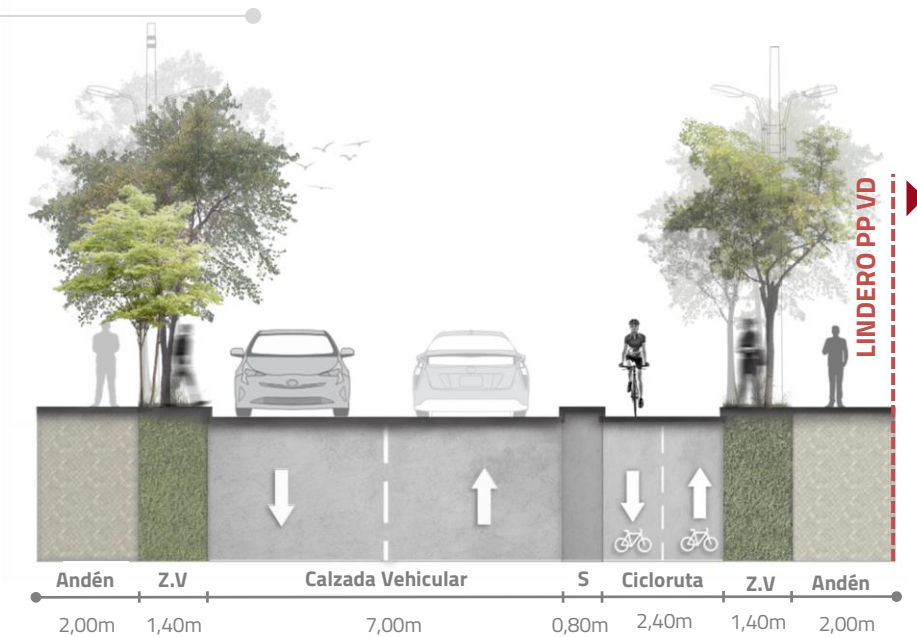


Imagen 44: Perfil Vial Calle 8 Oeste
Fuente: Elaboración propia

CORTE B-B' Perfil Vial - Vía CAM Rosales

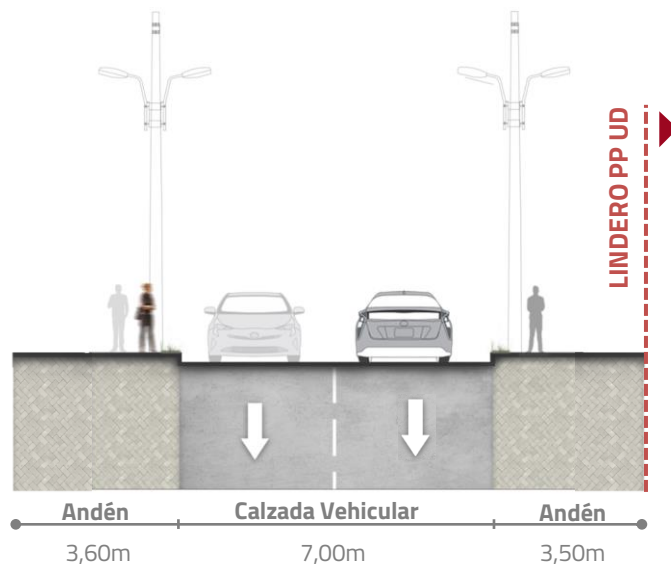


Imagen 45: Perfil Vial CAM Rosales
Fuente: Elaboración propia

CORTE C-C' Perfil Vial Local Propuesto

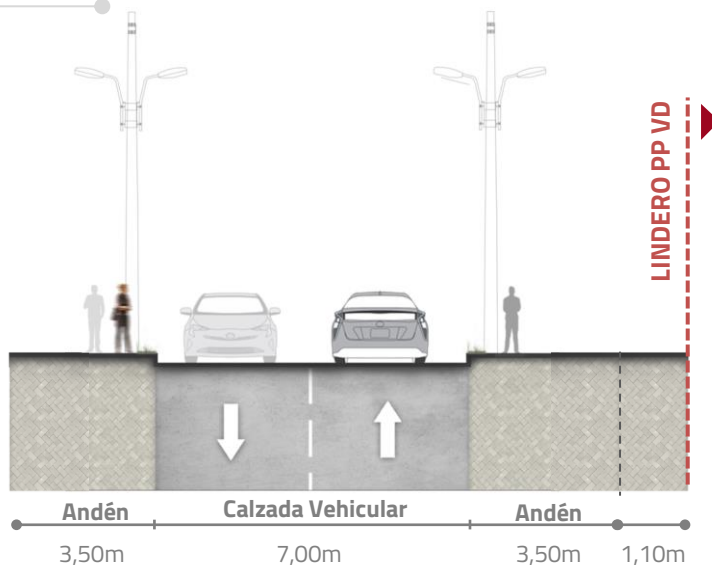
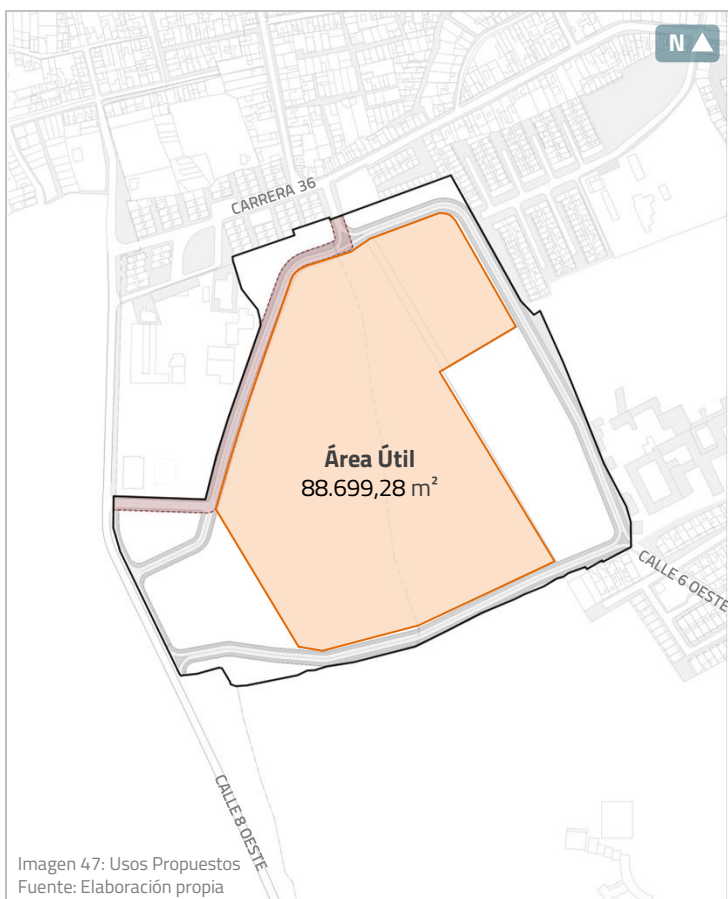


Imagen 46: Perfil Vial Local Propuesto
Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Usos del Suelo Propuestos

Según el artículo 310 “Áreas de Actividad ” del Acuerdo 004 de 2015, el Plan Parcial Villa Dolores se encuentra ubicado dentro del Área de Actividad Residencial Comercial y Servicios con mezcla de usos media. Cabe aclarar que si bien, parte del Plan Parcial se encuentra clasificado actualmente como suelo de expansión, al mismo no les son aplicables los usos de la zona de expansión, dado que en el Plano EE1, el predio es clasificado como Centralidad Municipal Mijitayo – CM4.

Según el artículo 312 del Acuerdo 004 de 2015, las áreas de actividad condicionan la asignación de los usos del suelo, los cuales se establecen en la matriz de asignación de usos Anexo AE2 del POT.



USO PRINCIPAL		
USO	USOS ESPECÍFICOS	ESCALA - DENSIDAD
Vivienda	Bifamiliares, Multifamiliares	160 Viv/Ha Neta
USOS COMPLEMENTARIOS		
<ul style="list-style-type: none"> - Centros comerciales* - Grandes superficies* - Almacenes por departamentos* - Alojamiento y estancias cortas - Oficinas - Actividades de servicios financieros - Consultorios - Centros Médicos, Puesto de Salud. - Laboratorios Médicos. - Centro de convenciones - Instituciones prestadoras de servicios de salud, medicina alternativa - Comercio al por menor en establecimientos no especializados - Comercio al por menor de alimentos (víveres en general), bebidas y tabacos en establecimientos especializados - Comercio al por menor de equipos de informática y de comunicaciones en establecimientos especializados - Actividades de servicios de comidas y bebidas - Comercio al por menor de otros enseres domésticos en establecimientos especializados - Comercio de vehículos automotores - Jardín Escolar, - Escuelas y Colegios - Instituciones Académicas, Escuelas de formación. - Universidades, Sena. - Tutores Académicos. 		

*Dada la naturaleza de los centros comerciales, grandes superficies y almacenes por departamentos se pueden ofrecer todo tipo de productos de consumo sin restricción alguna. Asimismo, se pueden ofrecer todos los servicios al automotor

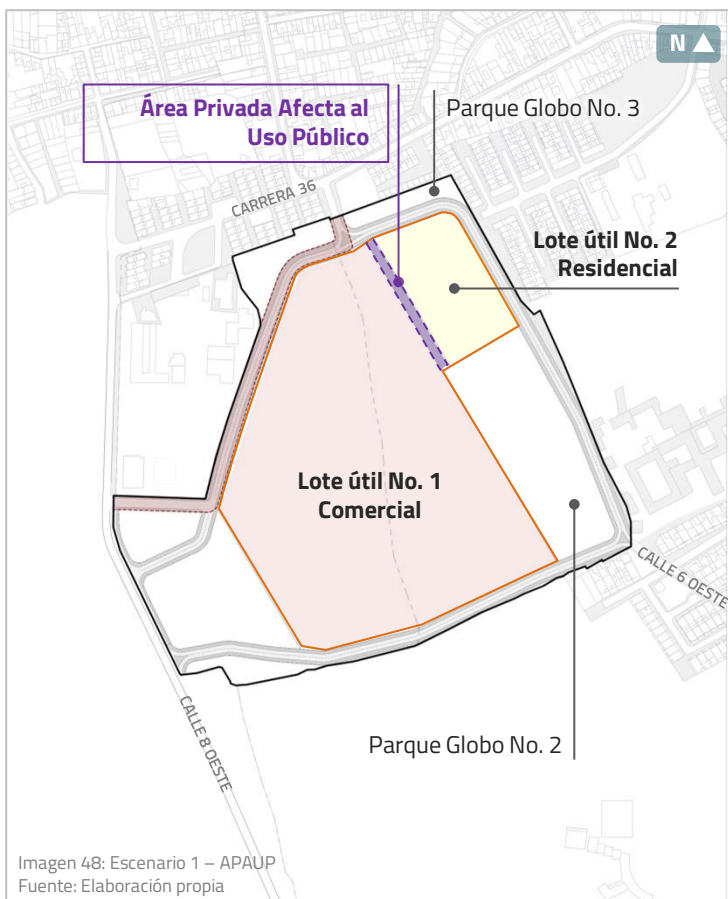
Nota: Ningún desarrollo urbanístico del PP está obligado a adelantar plan de implantación

3.3.5 Área Privada Afecta al Uso Público

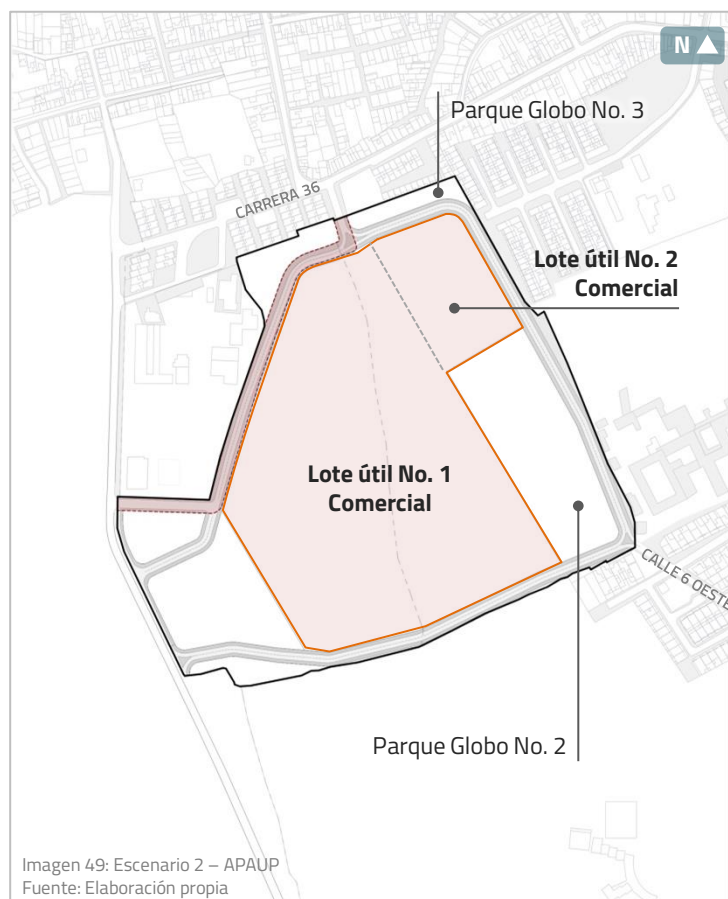
Según el artículo 210 del Acuerdo 004 de 2015 “Áreas y Elementos de Propiedad Privada Afectos al Espacio Público” se permiten elementos arquitectónicos espaciales y/o naturales de propiedad privada como afectos al uso público. Con el fin de garantizar la conectividad peatonal entre el Barrio Los Rosales y el Proyecto, el Plan Parcial Villa Dolores plantea el desarrollo de un Área Privada Afecta al Uso Público ubicada en el costado norte del predio, que busca conectar el parque globo no. 2 con el parque globo no. 3 y garantizar el flujo peatonal proveniente de los barrios aledaños.

El desarrollo de el Área Privada Afecta al Uso Público se llevará a cabo únicamente en el escenario en que la manzana útil se desarrolle como uso mixto - residencial y comercial, es decir, que en el lote útil no. 2 se desarrolle el uso de vivienda y en el lote útil no.1 se desarrolle el uso comercial respectivamente . En el escenario en donde la manzana útil propuesta se desarrolle únicamente como uso comercial no se desarrollará el Área Privada Afecta al Uso Público, dado que el diseño arquitectónico del comercio garantizará la permeabilidad y conectividad de los flujos peatonales.

Escenario 1 – Uso Residencial y Comercial (APAUP)



Escenario 2 – Uso Comercial (SIN APAUP)



3.3.6 Obligación VIP

Según el artículo 222 del Acuerdo 004 de 2015 *"Porcentaje mínimo de suelo para el desarrollo de programa de vivienda social prioritaria en tratamiento de desarrollo"*, los proyectos de urbanización, en suelo urbano o de expansión urbana, que se desarrollen a través de adopción de planes parciales o mediante la aprobación de la correspondiente licencia de urbanismo en tratamiento de desarrollo deberán destinar el 20% del área útil al desarrollo de vivienda de interés social prioritaria VIP.

De conformidad con lo establecido en el artículo 2.2.2.1.5.3.1 del Decreto 1077 de 2015, el propietario y/o urbanizador

podrá optar por una de las siguientes alternativas para dar cumplimiento de la obligación VIP:

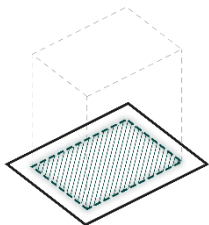
1. En el mismo proyecto.
2. Mediante el traslado a otros proyectos del mismo urbanizador, localizados en cualquier parte del suelo urbano o de expansión urbana del municipio o distrito.
3. Mediante la compensación en proyectos que adelanten las entidades públicas que desarrollen programas y proyectos VIS o VIP, a través de los bancos inmobiliarios, patrimonios autónomos o fondos que creen los municipios y distritos para el efecto.

3.4 | NORMA URBANA

3.4.1 – FICHA NORMATIVA USO DE COMERCIO

Nota: Las disposiciones respecto a norma urbana se podrán precisar en el proyecto de decreto anexo a este documento técnico de soporte.

A ÍNDICE DE OCUPACIÓN

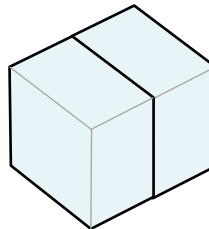


Art. 250 – Acuerdo 004 de 2015.

IO: 0,75
SOBRE ÁREA ÚTIL

Nota: Cuando en el mismo predio se desarrollen usos de comercio y vivienda, la ocupación en primer piso de las edificaciones sumadas no podrá superar el índice de 0,75.

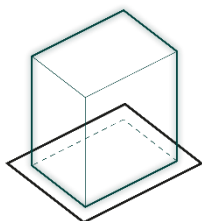
C TIPOLOGÍA EDIFICATORIA



Art. 264 – Acuerdo 004 de 2015.

**ADOSADA O
EDIFICACIÓN SINGULAR**

B ÍNDICE DE CONSTRUCCIÓN

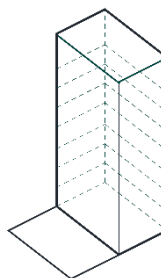


Art. 250 – Acuerdo 004 de 2015.

I.C: 2,25
SOBRE ÁREA ÚTIL

En los usos comerciales, estructuras transparentes que sirven para cubrir de los elementos climáticos sobre las áreas de circulación peatonal no se contabilizan para los índices de edificabilidad.

D ALTURA



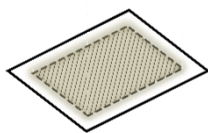
Art. 250 – Acuerdo 004 de 2015.

Edificación de Comercio
3 Pisos

Altura Máxima permitida
12 Pisos

3.4.2 – FICHA NORMATIVA USO DE VIVIENDA

A ÍNDICE DE OCUPACIÓN



Art. 250 – Acuerdo 004 de 2015.

SOBRE ÁREA ÚTIL

DE 0 A 5 PISOS

IO: 0,5

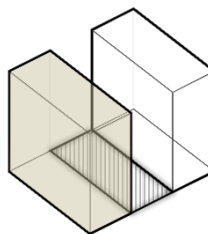
DE 5 A 10 PISOS

IO: 0,35

DE 10 A 15 PISOS

IO: 0,30

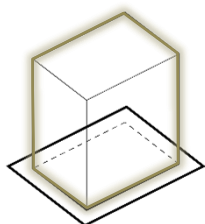
C TIPOLOGÍA EDIFICATORIA



Art. 264 – Acuerdo 004 de 2015.

AISLADA

B ÍNDICE DE CONSTRUCCIÓN



Art. 250 – Acuerdo 004 de 2015.

SOBRE ÁREA ÚTIL

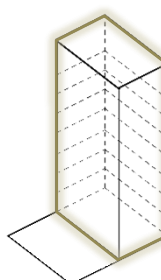
HASTA 10 PISOS

IC: 3,5

HASTA 12 PISOS

IC: 4,5

D ALTURA MÁXIMA

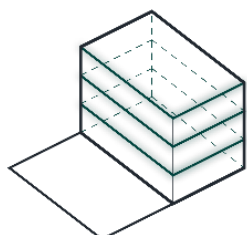


12 Pisos

Altura máxima permitida
para Edificabilidad 5

*Parágrafo 2 - Art 256 – Acuerdo
004 de 2015

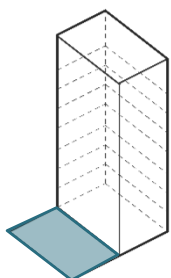
3.4.3 NORMAS VOLUMÉTRICAS COMUNES

A ALTURA DE PISO

Entre el nivel de acabado fino de un piso útil y el nivel de acabado fino del siguiente

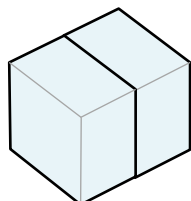
2,80m

Art. 273 – Acuerdo 004 de 2015.

B AISLAMIENTOS PARA EDIFICACIONES AISLADAS

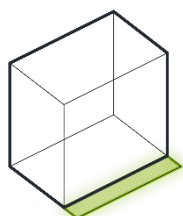
0 A 5 PISOS	5 A 10 PISOS	10 A 15 PISOS
LATERAL		
4,50m	5,50m	7,50m
FRONTAL (sin contar antejardín)		
N/A	2,00m	2,00m
POSTERIOR		
6,00m	6,00m	6,00m

AISLAMIENTOS PARA EDIFICACIONES ADOSADAS



Edificación Adosada de 2 pisos	Edificación Adosada	Edificación adosada conjunto cerrado
POSTERIOR		
3x3m	4,50m	4,50m

Art. 266 a 267 – Acuerdo 004 de 2015.

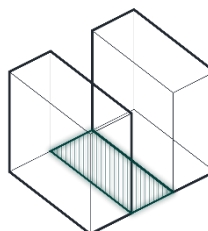
C ANTEJARDÍN

PARA NUEVOS DESARROLLOS

3m

**SOBRE VÍA PÚBLICA
DESDE EL LINDERO
DEL ÁREA ÚTIL**

Art. 270 – Acuerdo 004 de 2015.

D AISLAMIENTO ENTRE EDIFICACIONES

DE 0 A 5 PISOS

9m

DE 5 A 10 PISOS

11m

DE 10 A 15 PISOS

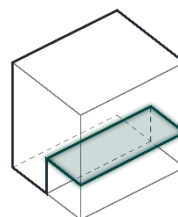
15m

Art. 266 a 267 – Acuerdo 004 de 2015.

E VOLADIZOS

Art. 247 A 277 – Acuerdo 004 de 2015.

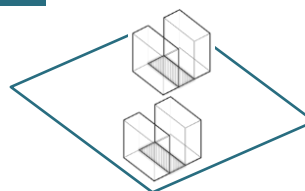
1. Sobre la vías de la red vial Arterial (A1 y A2)



Ancho entre paramentos	Dimensión Máxima de Voladizos
22m	1,20m

2. Sobre la malla vial local (L1 y L2)

Ancho entre paramentos	Dimensión Máxima de Voladizos
Mayor a 10m	0,60m

F DENSIDADES HABITACIONALES

PLAN PARCIAL VILLA DOLORES

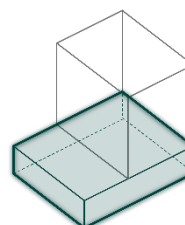
160 viv/Ha Neta

Nota: con independencia de que se desarrollen otros usos, se podrá hacer uso de toda la densidad calculada sobre toda el área neta de la actuación.

Art. 256 – Acuerdo 004 de 2015.

G SÓTANOS Y SEMISÓTANOS

Se permiten



bajo las condiciones establecidas en los artículos 295 a 297 del Acuerdo 004 de 2015

Nota: Los semisótanos se permitirán como medio piso adicional a la altura determinada por el presente plan parcial sin que ello implique que su área contabiliza para los índices de edificabilidad ni altura en pisos.

Art. 295 a 297 – Acuerdo 004 de 2015

3.4.4 Estacionamientos exigidos

Según el artículo 311 del Acuerdo 004 de 2015, se especifica Normas Específicas de parqueaderos de acuerdo a los usos generales del suelo. De acuerdo al contenido del artículo mencionado anteriormente, se encuentran definidos los cupos para los usos residenciales, de comercio y servicios, e institucionales.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el Plan Parcial Villa Dolores, se deben contemplar mínimo los cupos de parqueo requeridos por norma para cada uno de los usos que se proponen, el Plan Parcial contempla usos mixtos en su desarrollo, por lo que la cuota de estacionamientos totales, obedece a la suma de los cupos exigidos para cada uso.

A continuación se presentan las tablas de la cuota de estacionamientos mínimos exigidos, tanto para el uso de vivienda no VIS, como para el uso de comercio y servicios, que hacen parte de los usos permitidos para el Plan Parcial Villa Dolores.

VIVIENDA	
GRUPO	CUPOS
Parqueos Privados para VIP	1 X cada 10 viviendas
Parqueos Privados para VIS	1 X cada 3 viviendas
Parqueos Privados No VIS ni VIP	1 x cada vivienda
Parqueos Visitantes VIP	1 X cada 30 viviendas
Parqueos Visitantes para VIS	1 X cada 20 viviendas
Parqueos Visitantes para No VIS ni VIP	1 X cada 15 viviendas
Exigencia motocicletas en VIS y VIP	1 X cada 30 viviendas
Exigencia motocicletas en no VIS ni VIP	1 X cada 40 viviendas
Exigencia cupos para bicicletas en VIS y VIP	1 X cada 30 viviendas
Exigencia cupos para bicicletas en no VIS	1 x cada 40 viviendas
COMERCIO Y SERVICIOS	
Centro Comercial – almacenes por departamentos, gran superficie	1 x c/40m2 útiles construidos en el uso
Oficinas, Consultorios, Servicios de alojamiento, otros comercios, auditorio, Cine	1 x c/50m2 útiles construidos en el uso
Servicios financieros	1 x c/100m2 útiles construidos en el uso
Institucional de salud	1 por cada 50m2 Construidos útiles de área de atención al público
Institucional de educación	1 por cada 50m2 Construidos útiles de área de aulas



**GESTIÓN Y
FINANCIACIÓN**

04

4.1 | ESTRATEGIAS

DE GESTIÓN

4.1.1 Etapas de Desarrollo

El Plan Parcial Villa Dolores, contempla su desarrollo en 2 etapas, que se llevarán a cabo en un tiempo total de 8 años.

La primera etapa contempla el desarrollo de todas las obras de urbanismo y el desarrollo del lote 1 de la manzana útil proyectada, que en total corresponde a 137.773,79m², que corresponden aproximadamente al 92% del área bruta del Plan Parcial, y será ejecutada en un período de tiempo de 3 años posterior a la aprobación del Plan Parcial.

La segunda etapa contempla el desarrollo del lote 2 de la manzana útil proyectada, que corresponde a 12.059,60m² que significan aproximadamente al 8% del área bruta del Plan Parcial, y será ejecutada en un período de tiempo de 5 años, posterior a la aprobación del Plan Parcial.

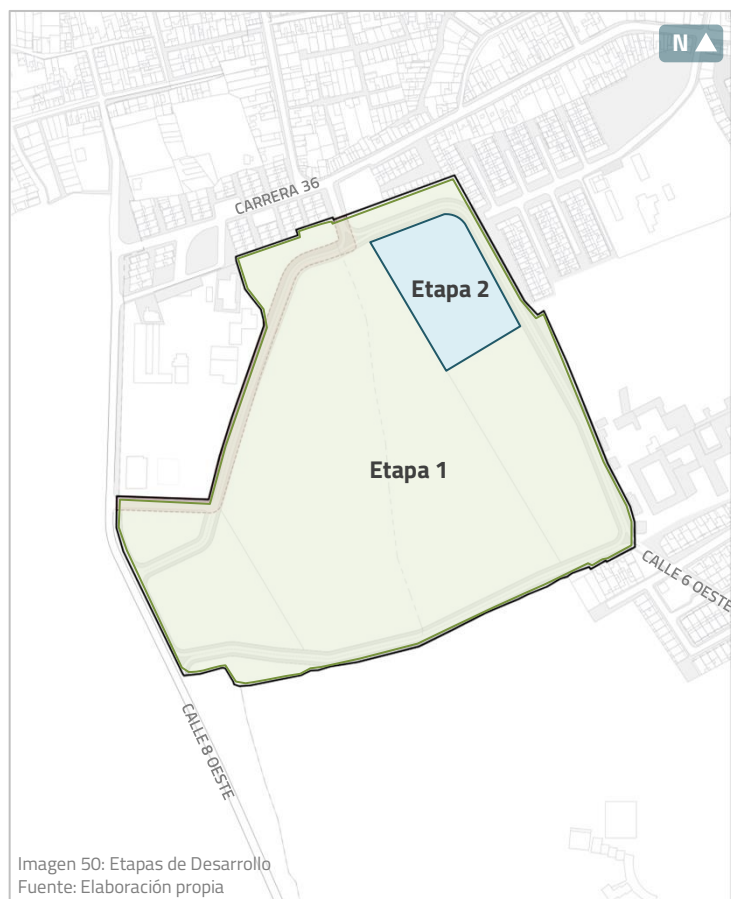


Imagen 50: Etapas de Desarrollo
Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Unidad de gestión única

De acuerdo con el artículo 39 de la Ley 388 de 1997 y en los términos de Decreto 1077 de 2015, la Unidad de Actuación Urbanística ó Unidad de Gestión Urbanística esta conformada por uno o varios inmuebles, que debe ser urbanizado o construido como una unidad de planeamiento promoviendo el uso racional del suelo, garantizando el cumplimiento de las normas urbanísticas y facilitando la dotación con cargo a sus propietarios mediante el reparto equitativo de cargas y beneficios.

El Plan Parcial Villa Dolores, contempla una única unidad de gestión, que comprende el área de manejo diferenciado, cargas locales y área útil. El área total de la Unidad de Gestión Única, corresponde al área bruta del Plan Parcial, que es igual a 149.833,39m².

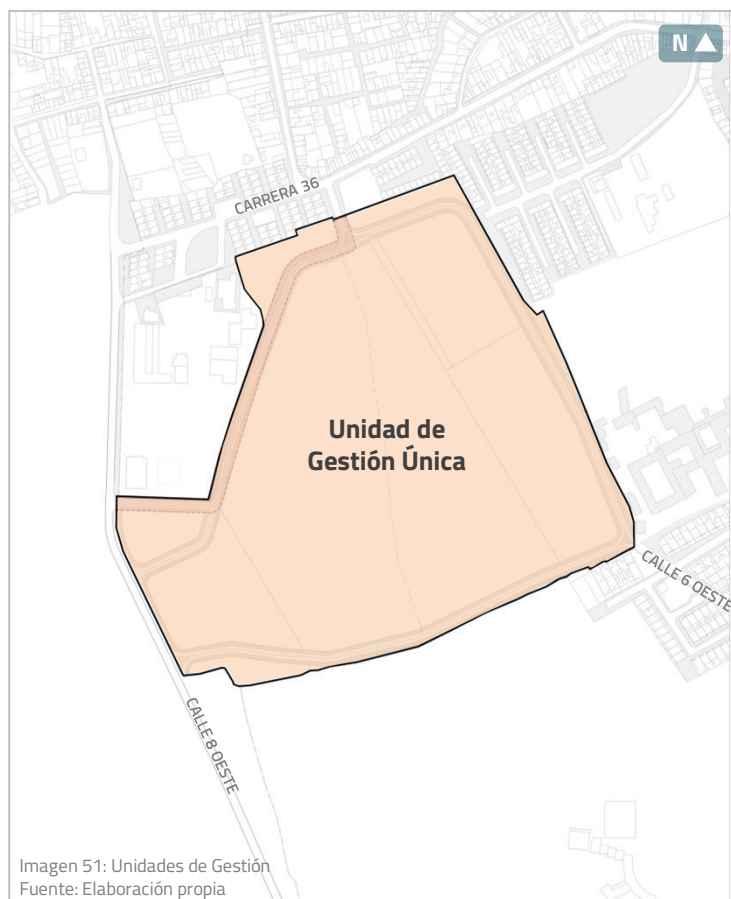


Imagen 51: Unidades de Gestión
Fuente: Elaboración propia

4.2 | ESTRATEGIAS

DE FINANCIACIÓN

4.2.1 Cuadro General de Áreas

Las áreas que se incluyen dentro del reparto de cargas y beneficios del Plan Parcial Villa Dolores, corresponden al planteamiento urbanístico desarrollado, el cual contempla el desarrollo de las obligaciones urbanísticas y el aprovechamiento de las áreas útiles. A continuación se detallan las áreas:

Las obligaciones urbanísticas influidas en el cuadro general de áreas del Plan Parcial Villa Dolores, obedecen a lo establecido por el Acuerdo 004 de 2015, las cuales deberán ser asumidas por el(los) titular(es) del derecho de dominio del inmueble incluido en su ámbito de delimitación.

P.P VILLADOLORES			
ITEM	DESCRIPCIÓN	m ²	%
1	ÁREA BRUTA	149.833,39	100,00%
1.1	Polígono PP Original	140.753,87	93,94%
1.2	Predio contiguo	3.383,84	2,26%
1.3	Vía Cam Rosales	5.695,68	3,80%
2	ÁREA DE MANEJO DIFERENCIADO	5.695,68	3,80%
2.1	Vía Cam Rosales	5.695,68	3,80%
3	ÁREA OBJETO DE DESARROLLO	144.137,71	96,20%
4	AFECTACIONES TOTALES	0,00	0,00%
5	ÁREA NETA URBANIZABLE	144.137,71	96,20%
6	CARGAS LOCALES TOTALES	55.438,43	38,46%
6.1	Cargas locales de Espacio Público exigidas	36.034,43	25,00%
6.2	Cargas locales de Espacio Público Propuestas Totales	36.034,43	25,00%
6.2.1	Cargas locales de Espacio Público Anticipadas	4.238,44	2,94%
6.2.2	Cargas locales de Espacio Público en sitio	31.795,99	22,06%
6.2.2.1	Parque Globo No. 1	10.542,52	7,31%
6.2.2.2	Parque Globo No. 2	17.236,85	11,96%
6.2.2.3	Parque Globo No. 3	2.012,36	1,40%
6.2.2.4	Parque Globo No. 4	2.004,26	1,39%
6.3	Cargas locales de Equipamientos Exigidas	7.206,89	5,00%
6.4	Cargas locales de Equipamientos Propuestas Totales	7.206,91	5,00%
6.4.1	Cargas locales de Equipamientos Anticipadas	847,69	0,59%
6.4.2	Cargas locales de Equipamientos en sitio	6.359,22	4,41%
6.4.2.1	Equipamiento Globo No. 1	2.975,38	2,06%
6.4.2.2	Equipamiento Globo No. 2	3.383,84	2,35%
6.5	Cargas locales de Vías Exigidas	14.413,77	10,00%
6.6	Cargas locales de Vías Propuestas	17.283,22	11,99%
6.6.1	Vía local Globo 1	2.208,04	1,53%
6.6.2	Vía local Globo 2	14.701,74	10,20%
6.6.3	Vía local Globo 3	373,44	0,26%
7	ÁREA ÚTIL	88.699,28	59,20%
7.1	Lote Útil 1	76.639,68	51,15%
7.2	Lote Útil 2	12.059,60	8,05%

4.2.2 Cargas Locales

Las cargas locales del Plan Parcial Villa Dolores obedecen a lo establecido en el artículo 256 del Acuerdo 004 de 2015, sobre las cargas tipo 5 correspondientes a los predios a los cuales les aplique edificabilidad tipo 5, las cuales deben ser asumidas por los titulares del derecho de dominio del inmueble incluido en su ámbito de delimitación. Las cargas locales asociadas al proyecto se especifican en el siguiente cuadro:

Las cargas locales se entenderán cumplidas cuando se haya culminado la ejecución de las obras a cargo del titular, y se realice la entrega material y titulación de ellas al Municipio de San Juan de Pasto. Lo anterior también aplica para las redes secundarias y domiciliarias de servicios públicos ante las respectivas empresas prestadoras. Se manejan dos etapas de desarrollo, la primera a 3 años y la segunda a 5 años desde la fecha de aprobación del Plan Parcial.

Carga Local (obra/construcción)	Área obra / construcción			Costo de construcción	Total Costo Carga Local		
	ETAPA 1	ETAPA 2	Total Plan Parcial	por M2	ETAPA 1	ETAPA 2	TOTAL PLAN PARCIAL
	M2/GL/ML	M2/GL/ML	M2/GL/ML	COP Miles / M2/GL/ML	COP Miles	COP Miles	COP Miles
Preliminares	1,00	0,00	\$ 1,00	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00	\$ -	\$ 1.000,00
<i>Preliminares</i>	1,00	#	1,00	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00	\$ -	\$ 1.000,00
Vías Vehiculares	17.283,22	0,00	17.283,22	225,00	\$ 3.888.724,50	\$ -	\$ 3.888.724,50
<i>Vía local Globo 1</i>	2.208,04	0,00	2.208,04	\$ 225,00	\$ 496.809,00	\$ -	\$ 496.809,00
<i>Vía local Globo 2</i>	14.701,74	0,00	14.701,74	\$ 225,00	\$ 3.307.891,50	\$ -	\$ 3.307.891,50
<i>Vía local Globo 3</i>	373,44	0,00	373,44	\$ 225,00	\$ 84.024,00	\$ -	\$ 84.024,00
Cesión de Parques	27.779,37	0,00	27.779,37	32,00	\$ 1.017.471,68	\$ -	\$ 1.017.471,68
<i>Parque Globo No. 1</i>	10.542,52	0,00	10.542,52	\$ 32,00	\$ 337.360,64	\$ -	\$ 337.360,64
<i>Parque Globo No. 2</i>	17.236,85	0,00	17.236,85	\$ 32,00	\$ 551.579,20	\$ -	\$ 551.579,20
<i>Parque Globo No. 3</i>	2.012,36	0,00	2.012,36	\$ 32,00	\$ 64.395,52	\$ -	\$ 64.395,52
<i>Parque Globo No. 4</i>	2.004,26	0,00	2.004,26	\$ 32,00	\$ 64.136,32	\$ -	\$ 64.136,32
Cesión de Equipamientos	6.359,22	0,00	6.359,22	15,00	\$ 95.388,30	\$ -	\$ 95.388,30
<i>Equipamiento Globo No. 1</i>	2.975,38	0,00	2.975,38	\$ 15,00	\$ 44.630,70	\$ -	\$ 44.630,70
<i>Equipamiento Globo No. 2</i>	3.383,84	0,00	3.383,84	\$ 15,00	\$ 50.757,60	\$ -	\$ 50.757,60
Redes	1,00	0,00	1,00	3.890.976,00	\$ 3.890.976,00	\$ -	\$ 3.890.976,00
<i>Red de Acueducto</i>	1,00	0,00	1,00	\$ 690.976,00	\$ 690.976,00	\$ -	\$ 690.976,00
<i>Red de Alcantarillado Sanitario</i>	1,00	0,00	1,00	\$ 600.000,00	\$ 600.000,00	\$ -	\$ 600.000,00
<i>Red de Alcantarillado Pluvial</i>	1,00	0,00	1,00	\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00	\$ -	\$ 2.000.000,00
<i>Redes Electricas</i>	1,00	0,00	1,00	\$ 600.000,00	\$ 600.000,00	\$ -	\$ 600.000,00
COSTO DIRECTO OBRAS DE CARGA					\$ 8.593.560,48	\$ -	\$ 8.593.560,48
ADMINISTRACIÓN (15%)					\$ 1.289.034,07	\$ -	\$ 1.289.034,07
COSTO TOTAL URBANISMO LOCAL					\$ 9.882.594,55	\$ -	\$ 9.882.594,55
Costos asociados a la formulación y gestión del plan parcial					\$ 700.000,00	\$ -	\$ 700.000,00
TOTAL CARGAS LOCALES					\$ 10.582.594,55	\$ -	\$ 10.582.594,55

4.2.3 Ventas Estimadas

Como beneficio del desarrollo del Plan Parcial Villa Dolores, se presentan a continuación las ventas estimadas tanto para el producto comercial como para el producto de vivienda no VIS.

Producto inmobiliario propuesto	Área Construida / Urbanizada		Total Plan Parcial	Precio de venta por M2 COP Miles / M2	Total Ventas Estimadas		
	ETAPA 1	ETAPA 2			ETAPA 1	ETAPA 2	Total Plan Parcial
	M2	M2	M2	COP Miles	COP Miles	COP Miles	
COMERCIO	32.000	0	32.000,00	\$ 5.000,00	\$ 160.000.000,00	\$ -	\$ 160.000.000,00
NO VIS (lote urbanizado)	0	10.231	10.231,00	\$ 750,00	\$ -	\$ 7.673.250,00	\$ 7.673.250,00
Total Plan Parcial	32.000	10.231	42.231		\$ 160.000.000,00	\$ 7.673.250,00	\$ 167.673.250,00

4.2.4 Valor Residual del Suelo

Concepto	ETAPA 1	ETAPA 2	Total Plan Parcial	Participación en las ventas
	COP Miles	COP Miles	COP Miles	%
Valor residual del suelo del Plan Parcial	\$ 23.513.405,45	\$ 1.635.169,58	\$ 25.148.575,02	15,00%

SAN JUAN DE PASTO NARIÑO

PLAN PARCIAL

VILLA DOLORES

DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE

TOMO B

2022

01 | ESTUDIOS AMBIENTALES

1.1 Marco Legal

1.1.1 Marco Legal

1.1.2 Determinantes Ambientales

1.2 Estudio Ambiental

1.2.1 Estructura Ecológica Ambiental

1.2.2 Uso y Cobertura del Suelo

1.2.3 Exploración del Subsuelo

1.2.4 Sistema Hídrico

1.2.5 Identificación de Estrategias para la Consolidación y Conservación de Áreas de Importancia Ambiental

1.2.6 Caracterización de Flora y Fauna

1.2.7 Áreas de Importancia Ambiental

1.2.8 Plan de Manejo Ambiental

1.1.6 Conclusiones

1.3 Estudio Hidrológico

1.3.1 Metodología

1.3.2 Áreas Oferentes

1.3.3 Parámetros Morfométricos

1.3.4 Coeficiente de Escorrentía

1.3.5 Caudales Máximos

1.3.6 Evaluación de Drenaje Superficial

1.3.7 Comportamientos de Nivel Freático

1.3.8 Conclusiones

02 | GESTIÓN DE RIESGO

2.1 Riesgo por Movimiento en Masa

2.1.1 Información Geográfica

2.1.2 Estructuración de Datos Geográficos

2.1.3 Recopilación y Análisis de información secundaria

2.1.4 Factores Condicionantes

2.1.5 Marco Geomorfológico

2.1.6 Elementos Geomorfológicos a Detalle

2.1.7 Uso y Cobertura del Suelo

2.1.8 Exploración del Subsuelo

2.1.9 Evaluación de la Amenaza

2.1.10 Zonificación de la Amenaza

2.1.11 Análisis de Vulnerabilidad

2.1.12 Evaluación del Riesgo

2.2 Riesgo por Amenaza Volcánica

2.2.1 Riesgo por Flujo de Lodos o Lahares

2.2.2 Caracterización de Amenaza por Lahar

2.2.3 Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo

2.2.4 Conclusiones

2.3 Riesgo por Inundación

2.3.1 Amenaza

2.3.2 Vulnerabilidad y Riesgo

2.4 Riesgo por Flujos Torrenciales

2.4.1 Amenaza

2.4.2 Vulnerabilidad y Riesgo

2.5 Otros Referentes

2.5.1 Incorporación de la gestión del riesgo a los instrumentos de planificación territorial Plan Parcial Villa Dolores

| CONTENIDO



**ESTUDIOS
AMBIENTALES**

01

1.1 | MARCO LEGAL

AMBIENTAL

1.1.1 Margo Legal

- **Constitución Política de Colombia**

Se dictan disposiciones acerca de los derechos colectivos y del ambiente. El Estado es responsable de la protección del medio ambiente y del derecho de las personas a gozar de un ambiente sano, así como de responsabilizar a los dueños de actividades productivas que puedan causar afectaciones sobre estos derechos. Se dictan disposiciones acerca de los derechos colectivos y del ambiente.

Art 79. Declara 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.

Art 80. Impone al Estado el deber de planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar factores de deterioro ambiental, imponer sanciones legales y exigir la reparación de daños causados

Art 82. Impone al Estado velar por la protección de la integridad del espacio público y por su destinación al uso común, el cual prevalece sobre el interés particular

- **Ley 9 de 1979**

Establece las normas generales que servirán de base para las disposiciones y reglamentaciones necesarias de restauración y mejoramiento de las condiciones sanitarias, respecto a la salud humana, los procedimientos y medidas que se pueden adoptar para la regularización, legalización y control de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del ambiente.

- **Decreto 3075 de 1997**

Por la cual se reglamenta parcialmente la Ley 9 de 1979 y se dictan otras disposiciones.

- **LEY 99 DE 1993**

Ley general ambiental de Colombia. por medio de la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental. Numeral 12°, Art 7 y 31 establece que "se entiende por ordenamiento territorial ambiental del territorio para los efectos previstos en la presente Ley, la función atribuida al Estado de regular y orientar el proceso de diseño y planificación del uso de territorio y de los recursos naturales renovables de la Nación, a fin de garantizar su adecuada explotación y su desarrollo sostenible".

- **Ley 142 de 1994**

Reglamenta el régimen de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas combustible, telefonía fija pública básica conmutada y la telefonía local móvil en el sector rural, así como otras disposiciones.

- **Ley 388 de 1997:**

Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones. Artículo 19, se establece que "Los planes parciales son los instrumentos mediante los cuales se desarrollan y complementan las disposiciones de los planes de ordenamiento, para áreas determinadas del suelo urbano y para las áreas incluidas en el suelo de expansión urbana, además de las que deban desarrollarse mediante unidades de actuación urbanística, macroproyectos u otras operaciones urbanas especiales, de acuerdo con las autorizaciones emanadas de las normas urbanísticas generales, en los términos previstos en la presente Ley. El plan parcial o local incluirá por lo menos los siguientes aspectos:

La delimitación y características del área de la operación urbana o de la unidad mínima de actuación urbanística contemplada en el plan parcial.

La definición precisa de los objetivos y las directrices urbanísticas específicas que orientan la correspondiente actuación u operación urbana, en aspectos tales como el aprovechamiento de los inmuebles; el suministro, ampliación o mejoramiento del espacio público, la calidad del entorno, las alternativas de expansión, el mejoramiento integral o renovación consideradas; los estímulos a los propietarios e inversionistas para facilitar procesos de concertación, integración inmobiliaria o reajuste de tierras u otros mecanismos para garantizar el reparto equitativo de las cargas y los beneficios vinculadas al mejor aprovechamiento de los inmuebles; los programas y proyectos urbanísticos que específicamente caracterizan los propósitos de la operación y las prioridades de su desarrollo, todo ello de acuerdo con la escala y complejidad de la actuación o de la operación urbana contemplada.

- **Decreto 1076 de 2015, decreto único compilatorio del sector ambiente y desarrollo sostenible.**

Por medio del cual se expide el Decreto Único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.

- **Resolución 472 del 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 1077 de 2015, decreto único compilatorio del sector vivienda ciudad y territorio.**

Entre los Decretos compilados se encuentran:

Decreto Nacional 2181 de 2006 El Decreto reglamenta parcialmente las disposiciones relativas a planes parciales contenidas en la Ley 388 de 1997, y se dictan otras disposiciones en materia urbanística.

Decreto Nacional 4300 de 2007 Por medio del citado Decreto se reglamentan las disposiciones relativas a planes parciales que tratan en los Artículos 19 y 27 de la Ley 388 de 1997 y el Artículo 80 de la Ley 1151 de 2007. Se subrogan los Artículos 1, 5, 12 y 16 del Decreto 2181 de 2006 y se dictan otras disposiciones.

Decreto Nacional 1478 de 2013 Por medio del presente Decreto se modifica parcialmente el Decreto 2181 de 2006, en relación con la formulación de los planes parciales.

Decreto 1807 del 2014. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.

- **LEY 1523 DEL 2012**

Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones

Artículo 39. Integración de la gestión del riesgo en la planificación territorial y del desarrollo. Los planes de ordenamiento territorial, de manejo de cuencas hidrográficas y de planificación del desarrollo en los diferentes niveles de gobierno, deberán integrar el análisis del riesgo en el diagnóstico biofísico, económico y socioambiental y, considerar, el riesgo de desastres, como un condicionante para el uso y la ocupación del territorio, procurando de esta forma evitar la configuración de nuevas condiciones de riesgo.

Artículo 41. Ordenamiento territorial y planificación del desarrollo. Los organismos de planificación nacionales, regionales, departamentales, distritales y municipales, seguirán las orientaciones y directrices señalados en el plan nacional de gestión del riesgo y contemplarán las disposiciones y recomendaciones específicas sobre la materia, en especial, en lo relativo a la incorporación efectiva del riesgo de desastre como un determinante ambiental que debe ser considerado en los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial, de tal forma que se aseguren las asignaciones y apropiaciones de fondos que sean indispensables para la ejecución de los programas y proyectos prioritarios de gestión del riesgo de desastres en cada unidad territorial.

- **Ley 2079 de 2021**

Por medio de la cual se dictan disposiciones en materia de vivienda y hábitat. Artículo 29. Procedimiento para planes parciales. Modifíquese el artículo 27 de la Ley 388 de 1997:

1. Los proyectos de planes parciales serán elaborados por las autoridades municipales o distritales de planeación, por las comunidades o por los particulares interesados, de acuerdo con los parámetros que al respecto determine el plan de ordenamiento territorial o el Macroproyecto de Interés Social Nacional cuando este último así lo prevea.

2. La oficina de planeación municipal o distrital, o la dependencia que haga sus veces, revisará el proyecto de plan parcial con el fin de verificar el cumplimiento de las normas tenidas en cuenta para la formulación del plan y pronunciarse sobre su viabilidad. Para la aprobación del proyecto de plan parcial, la oficina de planeación contará con un término de treinta (30) días hábiles contados a partir de la fecha de radicación completa del proyecto, prorrogables por treinta (30) días hábiles más por una sola vez, so pena que se entienda aprobado en los términos en que fue presentado mediante la aplicación del silencio administrativo positivo.

3. Una vez que la oficina de planeación municipal o distrital, o la dependencia que haga sus veces, apruebe el proyecto de plan parcial, mediante acto administrativo u ocurra el silencio administrativo en los términos del numeral 2, éste se someterá a consideración de la autoridad ambiental competente, cuando se requiera según lo previsto en el reglamento del Gobierno Nacional, a efectos de que conjuntamente con el municipio o distrito acuerden los asuntos exclusivamente ambientales, para lo cual dispondrán de quince (15) días hábiles prorrogables por un término igual. Este acuerdo debe realizarse con base en el acto administrativo de viabilidad y en las normas ambientales vigentes al momento de su expedición.

3. Una vez que la oficina de planeación municipal o distrital, o la dependencia que haga sus veces, apruebe el proyecto de plan parcial, mediante acto administrativo u ocurra el silencio administrativo en los términos del numeral 2, éste se someterá a consideración de la autoridad ambiental competente, cuando se requiera según lo previsto en el reglamento del Gobierno Nacional, a efectos de que conjuntamente con el municipio o distrito acuerden los asuntos exclusivamente ambientales, para lo cual dispondrán de quince (15) días hábiles prorrogables por un término igual. Este acuerdo debe realizarse con base en el acto administrativo de viabilidad y en las normas ambientales vigentes al momento de su expedición.

Los resultados de este proceso se consignarán en un acta que deberá ser suscrita por los representantes legales correspondientes o sus delegados. En la concertación ambiental de planes parciales de iniciativa particular, las partes podrán solicitar a los interesados que lo hayan elaborado la sustentación del mismo.

Cuando no se logre la concertación entre el municipio o distrito y la autoridad ambiental competente, la oficina de planeación municipal o distrital procederá a archivar el proyecto de plan parcial. No obstante, el interesado podrá efectuar los ajustes que considere pertinentes y reiniciar el trámite de concertación ambiental, dentro de un término máximo de seis (6) meses siguientes a su archivo.

4. Durante el período de revisión del proyecto de plan parcial se surtirá una fase de información pública, convocando a los propietarios y vecinos, para que éstos expresen sus recomendaciones y observaciones.

5. Una vez surtidas las etapas anteriores y dentro de los quince (15) días hábiles siguientes a la aprobación del proyecto de plan parcial, mediante acto administrativo expreso o ficto o la concertación ambiental, cuando sea el caso, el alcalde municipal o distrital estará obligado a adoptarlo mediante decreto.

PARÁGRAFO 1. El incumplimiento de los términos previstos en el presente artículo para pronunciarse por parte de las autoridades competentes constituirá falta grave en cabeza del director y funcionarios responsables de la respectiva entidad.

PARÁGRAFO 2. Las autoridades ante las cuales se deban adelantar trámites urbanísticos con posterioridad a la adopción del plan parcial estarán obligadas a emitir sus conceptos o

permisos con base en lo aprobado en el plan parcial y en su documento técnico de soporte. En todo caso, desde la aprobación del plan parcial se deberán tener definidos y resueltos todos los impactos de la operación sin que se requiera para su ejecución o desarrollo la aprobación de instrumentos de planificación complementarios.

PARÁGRAFO 3. La vigencia del plan parcial se señalará en el decreto en que se adopte y no se altera por el hecho de que se modifique el Plan de Ordenamiento Territorial, salvo que los propietarios de los predios se acojan, por escrito a la nueva reglamentación.

PARÁGRAFO 4. El ajuste o modificación de planes parciales, en caso de requerirse, se efectuará teniendo en cuenta el procedimiento definido en este artículo, en lo pertinente y, únicamente, las instancias o autoridades a cuyo cargo se encuentren los asuntos objeto del ajuste necesario para el desarrollo del respectivo plan.

PARÁGRAFO 5. Si durante el término que transcurre entre la expedición del acto administrativo de viabilidad de un proyecto de plan parcial y su adopción, se produce un cambio en las normas urbanísticas que afecten el proyecto sometido a consideración del Municipio o Distrito, el solicitante tendrá derecho a que el plan se estudie y apruebe con base en la norma urbanística vigente al momento de la expedición del referido acto administrativo.

1.1.2 Determinantes ambientales

Las determinantes ambientales, son aquellos elementos que condicionan el libre desarrollo de actuaciones urbanísticas, puesto que estos elementos traen consigo consideraciones que se encuentran reglamentadas tanto en la escala nacional como municipal. Lo anterior con el fin de actuar bajo el principio de precaución, a manera de otorgar nuevos desarrollos inmobiliarios y urbanísticos que garanticen condiciones de seguridad y habitabilidad tanto para la futura población como para la administración municipal.

Por tal motivo, a continuación, se identifican las determinantes ambientales de planificación del Plan Parcial Villa Dolores, a manera de reconocer cómo estos elementos, encauzarán las decisiones de diseño para la propuesta urbana y de infraestructura del plan.

1.2 | ESTUDIO AMBIENTAL

1.2.1 Estructura Ecológica Ambiental

Según el POT Pasto 2015 -2027 Pasto territorio con – sentido El concepto de Estructura Ecológica se entiende como “El conjunto de espacios naturales y seminaturales en suelo urbano, rural y de expansión, cuya interconexión espacial y funcional permite mantener los procesos y funciones ecológicas esenciales, que garantizan la integridad de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos requeridos para el desarrollo socioeconómico y cultural del Municipio.”

En ese sentido la identificación de la Estructura Ecológica permite asegurar en el tiempo la conservación de la biodiversidad, su funcionalidad y la prestación de servicios ecosistémicos que sustentan el bienestar de la población humana y dan sustento a los procesos ecológicos esenciales de la zona, su finalidad principal es la preservación, conservación, restauración, uso y manejo sostenible de los recursos naturales, lo que representa un enfoque para la conectividad de las poblaciones y comunidades; constituye un instrumento de planificación estratégica que contribuye al ordenamiento ambiental del territorio, identificando áreas importantes para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, la conservación de la biodiversidad y la sustentabilidad del modelo de ordenamiento, estableciendo la estructura ecológica como una determinante para la asignación de usos de suelo.

Los objetivos planteados por el POT Pasto para la identificación de la estructura ecológica son los siguientes:

- Garantizar la continuidad de los procesos ecológicos.
- Preservar la diversidad biológica en sus condiciones naturales (in situ).
- Garantizar la oferta de bienes y servicios ecosistémicos en el Municipio.
- Promover la recuperación natural y restauración de los ecosistemas deteriorados o degradados.
- Evitar la transformación del paisaje y la extinción de las especies que habitan en ellos.
- Garantizar la conservación de las áreas de importancia estratégica para reducir las presiones de orden antrópico y contribuir a la adaptación y mitigación al cambio climático.
- Articular los componentes de la estructura ecológica municipal

Hacen parte de la Estructura Ecológica Principal existente, dentro del ámbito del Plan Parcial Villa Dolores, la Quebrada Rosales y las áreas de calidad ambiental paisajística (zonas verdes tanto públicas como privadas, áreas de control ambiental y antejardines propuestos). Es importante mencionar que la Quebrada esta canalizada, por lo que no se identifica ronda hídrica de protección.

Considerando un área de influencia de 2 Km, el Plan Parcial tiene relación con diferentes fuentes hídricas y sus rondas de protección, por ejemplo Q. El Curiquingue, Q. Los chilques, Q. Los Chancos, Q. Rosales, Q Mijitayo, Q San Miguel, Q Gualmatan.

Dentro del área de influencia se encuentra también el santuario de flora y fauna galeras y su zona con función amortiguadora.

Si bien la estructura ecológica principal no es visible dentro del ámbito de planificación, si se genera una conexión con la estructura ecológica principal Municipal.

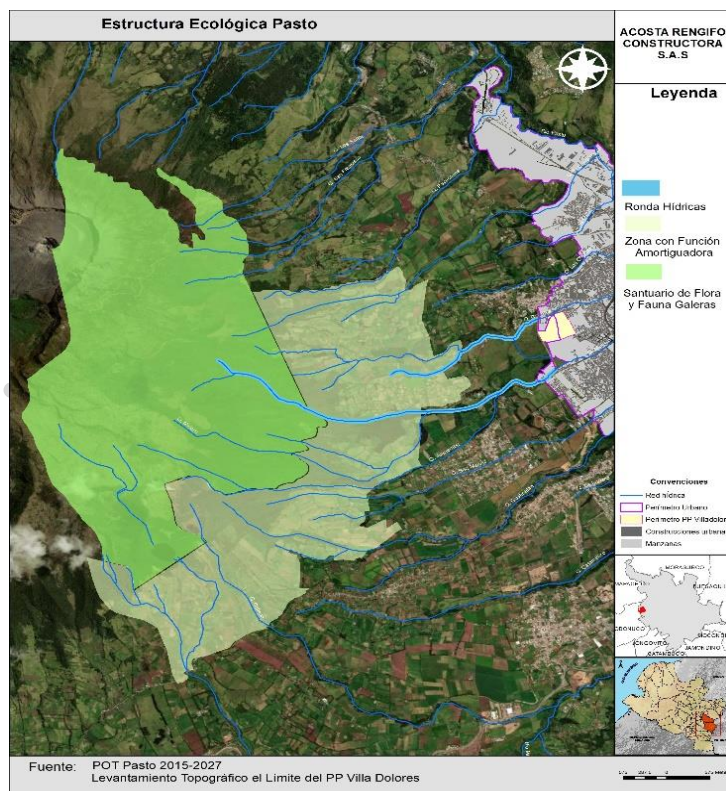


Figura 1- Estructura Ecológica Pasto
Elaboración: Claudia Juajino – Pot Pasto 2015-2027

1.2.2 Uso y coberturas del suelo

Para el procesamiento de la información referente a las coberturas y usos de suelo del Plan Parcial Villa Dolores se compró una ortoimagen a Empopasto tomada en el año 2017. Se verificó la georreferenciación para que se cumpliera la escala 1:2.000.

La revisión del área de trabajo se define a partir del límite establecido para este estudio. Una vez organizada la imagen y el límite de trabajo, se codifican las coberturas con la nomenclatura Corine Land Cover adaptada para Colombia con la interpretación visual y de manera manual (polígono por polígono, calificado por cada interprete). Adicionalmente, una vez obtenido un mapa preliminar de coberturas vegetales se realiza la edición de polígonos que presenten incoherencias identificadas mediante esta interpretación visual (mediante un barrido sistemático), como son división o corte de polígonos o unión o pegado de polígonos. Una vez revisados todos los polígonos mediante barrido sistemático, se hace la estructuración del shape, es decir, se verifica y ajusta topología, se revisa la unidad mínima de mapeo teniendo en cuenta que la escala de este producto es 1:2.000.

Finalmente, se genera el mapa con los colores correspondiente de cada cobertura y se calculan las respectivas áreas para el área de estudio.



Figura 3. Territorios artificializados
Elaboración: Claudia Juajinoy

LUGAR Y FECHA	Nombre	Plan Parcial Villa Dolores
	Área cubierta	14 ha
	Fecha de vuelo	Mayo 2017
UNIDAD DE VUELO	Plataforma de vuelo	Cessna
	Velocidad de vuelo (m/s)	27
CAMARA FOTOGRAFICA	Marca	Nikon D800
	Distancia Focal del lente	50
	Resolución de las fotografías	36
ESPECIFICACIONES VUELO	Grouns Sample Distance – GSD (m)	5
	Altura de vuelo sobre el terreno (m)	512
	Separación de las líneas de vuelo (m)	147
	Distancia entre fotos (m)	49
FOTOGRAFIA	Resolución centímetro por pixel	5
	Formato	Geo Tiff

Figura 2. Especificaciones Orto Foto
Elaboración: Claudia Juajinoy

• Territorios artificializados

El subsistema de Infraestructura vial se encuentra conformado por la red vial nacional y la red de vías urbanas. A continuación se describen y clasifican las vías que se identifican en el área de influencia del Plan Parcial Villa Dolores:

a) Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación.

Comprende los territorios cubiertos por infraestructura de uso exclusivamente comercial, industrial, de servicios y comunicaciones. Se incluyen tanto las instalaciones como las redes de comunicaciones que permiten el desarrollo de los procesos específicos de cada actividad. Para el plan parcial Villa Dolores aplica la siguiente unidad.

b) Red vial, ferroviaria y terrenos asociados

Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas; para el caso de estudio aplica para una vía que bordea el Plan Parcial con un área de 0,62 Ha.

c) Red vial y territorios asociados

Para el caso de la zona de estudio, comprende las áreas cubiertas por la infraestructura vial, por ejemplo, la carretera que bordea el plan parcial Villa Dolores.

• Territorios agrícolas

Son áreas dedicadas a la producción agropecuaria y otras materias primas industriales sea que se encuentren con cultivos, pastos, o en barbecho. Estos territorios comprenden áreas de cultivos transitorios, permanentes, áreas de pastos y zonas agrícolas heterogéneas

a) Pastos.

Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por gramíneas, de la familia Poaceae, dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años.

b) Pastos limpios.

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. Representa el 95% del área de estudio. Predomina el Kikuyo.

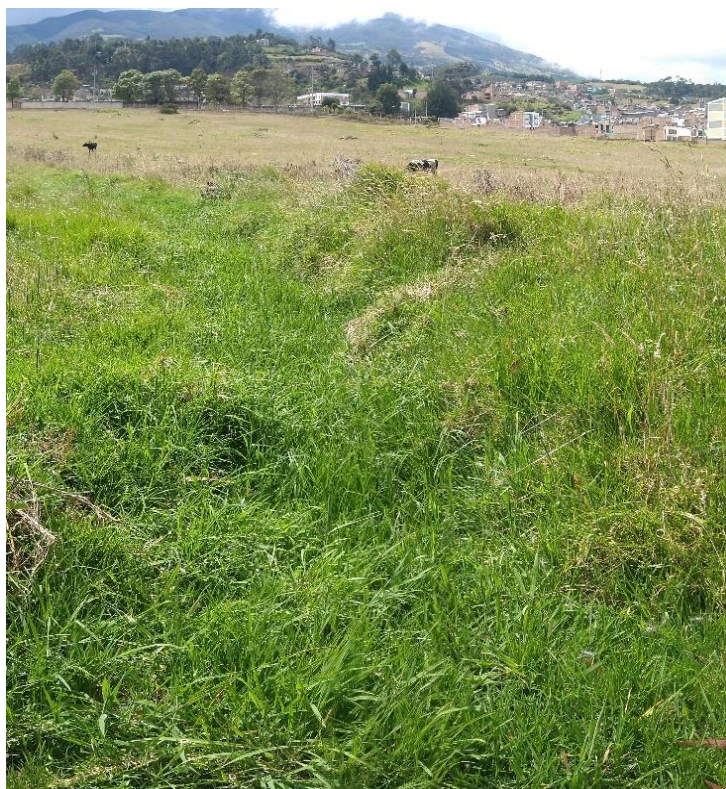


Figura 4. Territorios agrícolas
Elaboración: Claudia Juajino

• Bosques y áreas seminaturales

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación.

a) Bosques

Comprende las áreas naturales o semi-naturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal o en algunos casos con varios tallos, que tiene una copa más o menos definida. De acuerdo con FAO (2001), los bosques comprenden los bosques naturales y las plantaciones.

b) Bosques de galería y ripario

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales.



Figura 5. Bosques y áreas semi naturales
Elaboración: Claudia Juajino

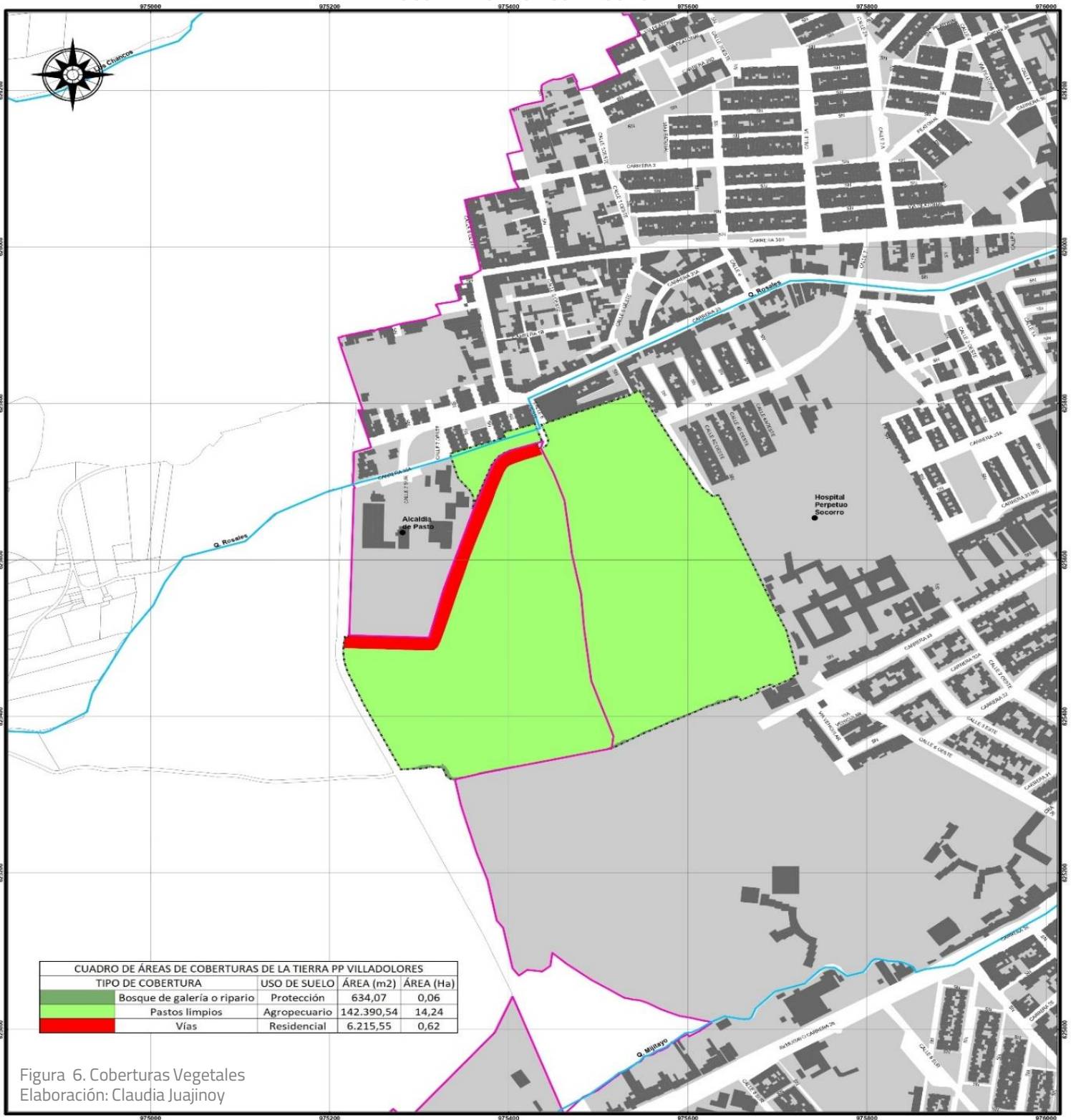


Figura 6. Coberturas Vegetales
Elaboración: Claudia Juajinoy

<p>PASTO LA GRAN CAPITAL ALCALDÍA MUNICIPAL</p> <p>DR. GERMÁN CHAMORRO DE LA ROSA ALCALDE DE PASTO 2020 - 2023</p> <p>ARQ. GERMÁN ORTEGA GÓMEZ SECRETARIO DE PLANEACIÓN MUNICIPAL</p> <p>ARQ. ENRIQUE RIASCOS VILLARREAL SECRETARIO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL</p> <p>ING. DIEGO PAUL MARTÍNEZ ERASO SECRETARIO DE ASPECTOS DE SOBREVIVENCIA URBANA</p>	<p>PLAN PARCIAL VILLA DOLORES</p>	<p>MAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA PP VILLADOLORES</p>	<p>CONTEXTO REGIONAL LOCALIZACIÓN GENERAL CONTEXTO LOCAL</p>	
	<p>FUENTES DE INFORMACIÓN</p> <p>Bases topográficas: Catastro IGAC, Levantamiento topográfico (2.000)</p>	<p>CONVENCIONES</p> <p>Red Hidrica</p> <p>Tipo: Intermitente, Perenne</p> <p>Curvas de nivel: 1, 2, 4</p>	<p>LEYENDA</p> <p>Tipo de Cobertura</p> <p> Bosque de galería o ripario</p> <p> Pastos limpios</p> <p> Vías</p>	<p>NOMBRE DEL ARCHIVO: EA1 - Coberturas PP Villa Dolores.mxd</p>
	<p>INFORMACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>Escala numérica: 1:2.000</p> <p>Escala gráfica: 0 20 40 80 120 160 Metros</p>	<p>Área = 14,8 Ha</p>	<p>FECHA DE ELABORACIÓN: OCTUBRE DE 2022</p>	<p>Nº MAPA: EA1</p>

1.2.3 Topografía

El área del plan parcial presenta una topografía levemente inclinada con pendientes entre el 3% y 25%.

- **Ligeramente Plano**

Son terrenos con pendientes inferiores a los 5°, el 27,28% del área de estudio corresponde a este tipo de pendiente. 4,07 Ha.

- **Ligeramente ondulado**

Son terrenos con pendientes entre 6° y 10°, El 71,05% del terreno es ligeramente ondulado, corresponde a un área de 10,60 Ha.

- **Ondulado**

Esta clasificación presenta una inclinación de 11° a 15°, representa el 1,61% de la zona de estudio, con un área de 0,24 Ha.

- **Fuertemente ondulado**

Esta clasificación presenta una inclinación de 16° a 20°, corresponde al 0,07% de la zona de estudio con un área de 0,01 Ha.

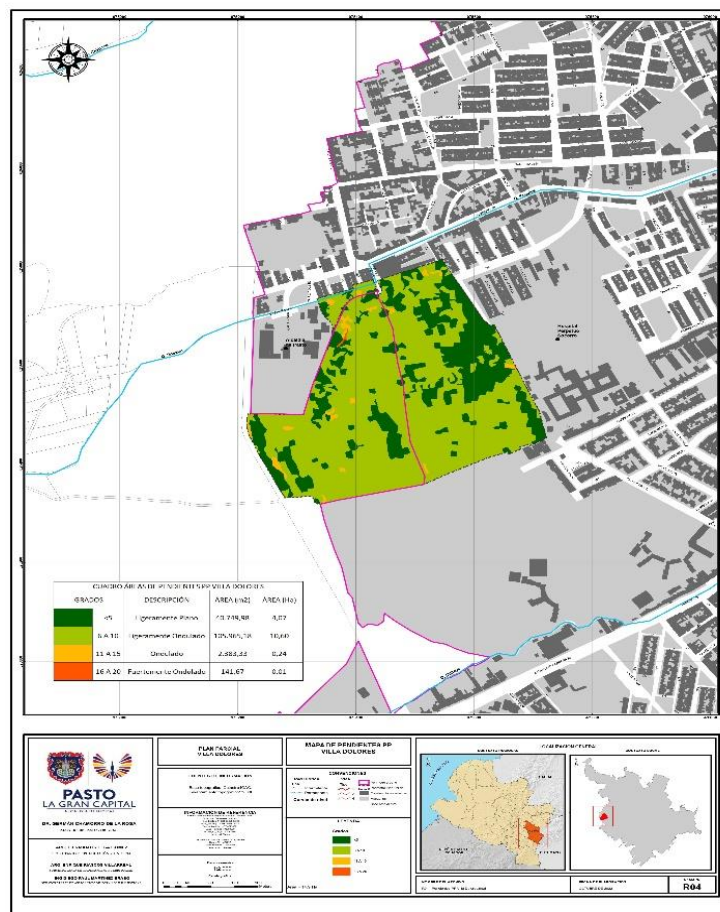


Figura 7. Pendientes
Elaboración: Claudia Juajino

1.2.3 Exploración del subsuelo

La exploración de subsuelo se adelantó mediante métodos directos que incluyeron sondeos y apiques manuales, de los cuales se realizó recuperación de muestras de los diferentes materiales encontrados. Así mismo, los materiales fueron descritos en campo y posteriormente sometidos a ensayos geotécnicos de clasificación por caracterización física y caracterización mecánica para la modelación y evaluación de la amenaza por movimiento en masa, tomando como base el mapa de unidades de geología para ingeniería UGI.

- **Exploración y ensayos de laboratorio existentes**

Teniendo en cuenta la información de los estudios geotécnicos realizados por el Consorcio Mijitayo en el año 2019 para el estudio de riesgo por lahar en la microcuenca de la quebrada Mijitayo, se procedió al análisis de las perforaciones y apiques que se encuentran en el área de interés del Plan Parcial Villa Dolores, en la Tabla 7 se encuentra el listado de los sondeos y apiques analizados.

- **Ensayos de laboratorio**

Todas las muestras recuperadas de los sondeos y apiques realizadas en el año de 2019 en el proyecto estudio de riesgo por lahar microcuenca quebrada Mijitayo, se trasladaron al laboratorio de suelos Coneresuelos S.A.S, con el objetivo de ejecutar un plan de ensayos tendiente a la caracterización mecánica y clasificación de los materiales encontrados en campo. Las Pruebas de laboratorio están normatizadas, a través de la Normatividad internacional USCS, ASTHO, ASTM y NTC, los ensayos que se realizaron se nombran a continuación:

- Límites de Atterberg
- Humedad natural
- Peso unitario seco y húmedo
- Granulometrías
- Ensayos de Corte directo
- Compresión Inconfinada

1.2.4 Sistema Hídrico

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

SUBZONA	SECTOR	MICROCUECA	AREA MICROCUECA (HA)	SUBZONA
Rio Pasto Alto	Rio Pasto Alto – bajo occidente	Q. Rosales	456,95	22265,13

Tabla 1. Sistema Hídrico Q. Rosales

Fuente: estudio de zonificación y codificación de cuencas hidrográficas.

En el área de estudio se encuentran la Quebradas Rosales, que es tributaria del río Pasto, son quebradas del orden 3 y su nacimiento se encuentra en la parte alta del Volcán Galeras.

En la subzona alta de la cuenca del Rio Pasto – bajo occidente la demanda agrícola corresponde a un 7,6% con la mayor demanda agrícola como quebrada rosales y río Mijitayo.

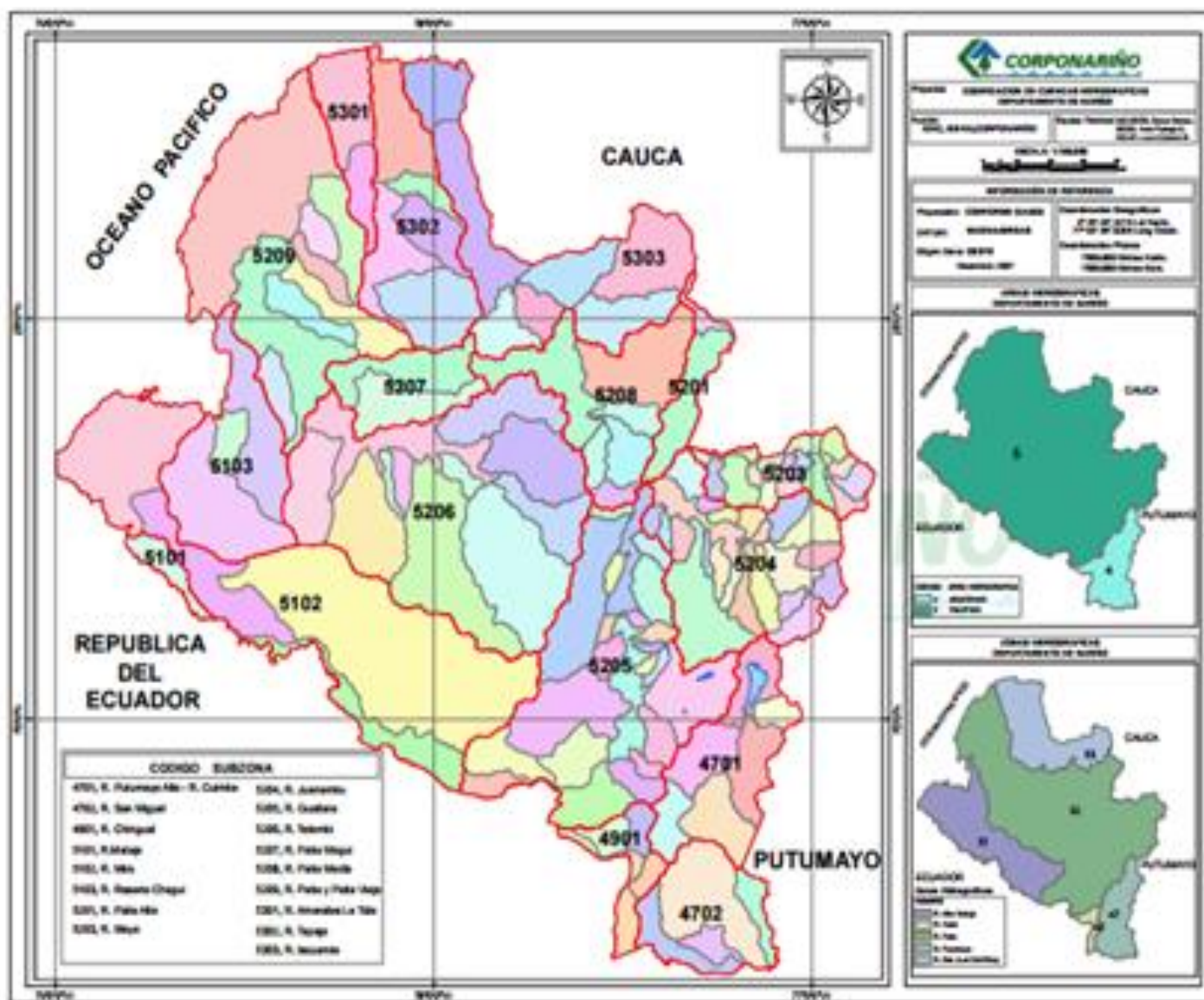


Figura 8. Mapa zonificación y codificación de cuencas del departamento de Nariño

1.2.5 Identificación de estrategias para la consolidación y conservación de áreas de importancia ambiental

• Quebrada Rosales.

Según el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Pasto, este cuerpo hídrico 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 Q. Rosales se encuentra dentro de la cuenca del Río Pasto, cuyo nacimiento se genera en la parte alta del Volcán Galeras atravesando de forma natural en sentido occidente oriente el sector conocido como Los Rosales hasta llegar a la calle 8 que sirve como limite entre suelo urbano y rural; es en este punto donde la quebrada es canalizada, y bordea una parte del área del plan parcial sobre la carrera 35A con una longitud de 106,031 metros; en ese orden de ideas sobre la fuente aplican los aislamientos en infraestructura y redes de servicios reglamentados por el artículo 120 del acuerdo 004 del 14 de abril del 2015 del POT Pasto .

1.2.8 Oferta y demanda Hídrica

El Municipio de Pasto cuenta con una oferta hídrica total de 28.59 mt³/seg de los cuales 0.4 mt³/seg corresponden al sector Río Pasto – Bajo occidente al cual pertenece la Q. Rosales. En general El Municipio cuenta con un alto potencial hídrico y tiene la responsabilidad de realizar una gestión integral del recurso por medio de actividades y proyectos que encaminen a la conservación, aprovechamiento y uso eficiente del mismo.

SUBZONA	SECTOR	OFERTA HIDRICA TOTAL (mt ³ /s)
Río Pasto Alto	Río Pasto Alto – Alto	1.6
	Río Pasto Alto - Bajo occidente	0.4
	Río Pasto Alto Bajo - Oriente	0.61
	Microcuenca Río Miraflores	0.89
	Área Urbana	0.41

Tabla 2. Oferta Hídrica
Elaboración: POMCA Río Pasto.

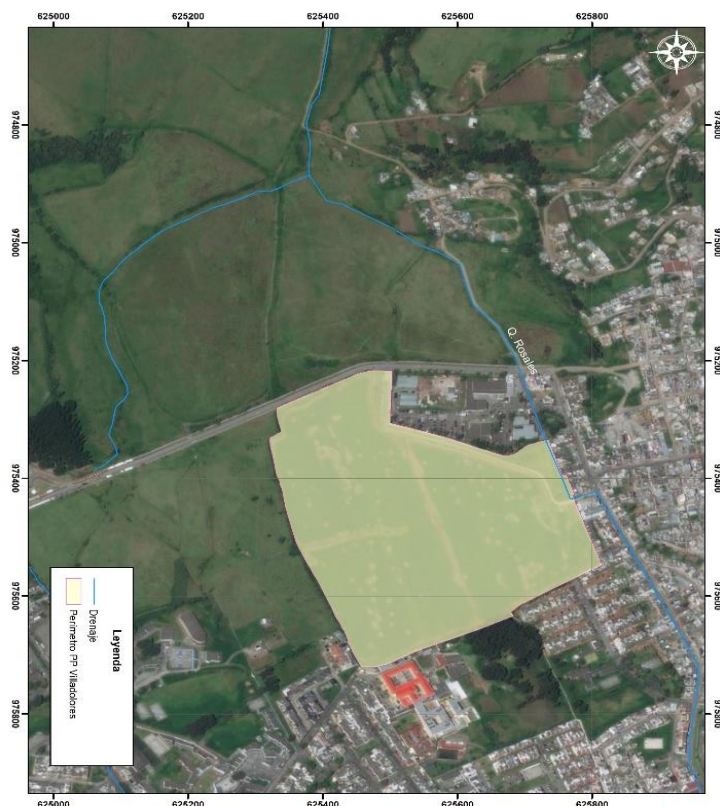


Figura 9. Fuentes Hídricas Plan Parcial Villa Dolores
Elaboración: Claudia Juajinoy

La demanda de agua corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales (actividades antrópicas sociales y económicas) expresado en millones de metros cúbicos.

A continuación, se presenta la demanda para la cuenca Río Pasto Alto – Bajo occidente, a la cual pertenece al Q. Dolores.

TIPO DE DEMANDA (mm ³ /año)	RIO PASTO ALTO – BAJO OCCIDENTE
Demanda de uso doméstico (dud).	3.7296
Demanda de agua para uso Pecuario (dup).	0.0189
Demanda de agua para uso Industrial (dúi).	0.05
Demanda de agua para uso Sector servicios (dus).	0.87
Demanda de agua para uso Agrícola (dua).	0.32

Tabla 3. Demanda Hídrica
Elaboración: POMCA Río Pasto.

1.2.6 Caracterización de Flora y Fauna

La caracterización de flora y fauna se realiza para cualquier tipo de estudio de índole ambiental, informes, planes y proyectos; especialmente para la determinación de especies y cuantificar el impacto que se producirá en el desarrollo de cualquier actividad humana.

• Flora

Según el POT En el Municipio de Pasto de acuerdo a la variación de altitud entre los 4.200 m.s.n.m. y 1.600 m.s.n.m, temperaturas entre los 6 y 17 grados centígrados y lluvias de 1.000 a más de 2.000 mm en promedio anual, se diferencian según la metodología de Holdridge 8 zonas de vida. La zona de estudio se encuentra dentro de la zona de vida bosque seco - montano bajo (bs – MB).

Teniendo en cuenta la influencia del santuario de flora y fauna galeras, se destaca que hacia la parte alta, se encuentra gran variedad de especies de flora y fauna con funciones ecosistémicas indispensables, por lo que merecen ser protegidas evitando al máximo sobrepasar las zonas delimitadas con función amortiguadora.



Figura 11. Pasto
Elaboración: Claudia Juajinoy.



Figura 10. Cercas vivas
Elaboración: Claudia Juajinoy

La zona de estudio se caracteriza por estar conformada principalmente por Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov), su principal uso es el alimento para ganado de tipo extensivo y temporal. Se evidencian sobre la zona los impactos del pisoteo sobre el suelo.

Además, como forma de delimitar el predio se han encontrado cercas vivas alrededor de la zona de estudio. En términos de flora no se observaron especies de organismos catalogadas en estado de raro, o en peligro de extinción.

Para el caso de las zonas de sesión, y las zonas verdes contempladas dentro de las unidades de gestión urbanística, serán los constructores encargados de realizar la reforestación y revegetalización con especies naturales donde se amerite dicho cambio, es decir en, las áreas destinadas como parques. Esto implica que el responsable del diseño y construcción de la misma será el constructor, en este sentido del diseño de los parques corresponde a la vocación identificada para cada uno, y su diseño y ejecución serán tramitadas a través de las licencias de Urbanismo y construcción siguiendo los lineamientos de la alcaldía de Pasto.

• Fauna

Dentro del área de estudio se encontraron mamíferos como el ganado; aves como los colibríes y cucaracheros; insectos como mariposas, saltamontes, moscos, zancudos; roedores como ratones; anfibios como sapos, renacuajos, lagartijas.

No se evidenciaron especies en peligro de extinción o endémicas.

Es importante resaltar que, con la intervención humana, el hábitat de estas especies se vera afectada, por lo tanto, se recomienda crear espacios verdes que conserven las características para la vida de estas especies cuyas funciones son importantes para los ecosistemas.

Es importante resaltar que, con la intervención humana, el hábitat de estas especies se vera afectada, por lo tanto, se recomienda crear espacios verdes que conserven las características para la vida de estas especies cuyas funciones son importantes para los ecosistemas.

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTÍFICO
MAMÍFEROS	
Vaca	Bos Taurus
AVES	
Cucarachero común	Troglodytes aedon
Colibri	Trochilidae
INSECTOS	
Mariposas	Rhopalocera
Saltamontes verde	Tettigoniavirissima
Moscas	Culícido
Zancudos	
ROEDORES	
Raton	Mus musculus
ANFIBIOS	
Sapos	Bufo xeros
Renacuajos	Pelophylax perezii
Lagartijas	Teius teyou

Tabla 4. Fauna Plan Parcial Villa Dolores
Elaboración: Claudia Juajino

1.2.7 Áreas de Importancia Ambiental

• Santuario de Flora y Fauna Galeras

El santuario de Flora y fauna Galeras cuenta con un área de 5426.89 has de ecosistema de bosque altoandino y andino y 2813.36 ha de páramos, que contribuyen de manera importante y exclusiva al proceso de almacenamiento y regulación hídrica; principalmente el ecosistema de páramo que hace parte de dos cuencas, Güaitara y Juanambú y al mismo tiempo de la Subcuenca del río Pasto, ocupando el Santuario en esta última, un total de 1460.9 ha, lo cual equivale al 88% del área total de la subcuenca (CORPONARIÑO, 2011), siendo un área fundamental para el ciclo hidrológico con la función de captación, regulación, recarga y nacimiento de las principales fuentes de agua superficiales; de igual manera este ecosistema al recibir los vientos cargados de humedad de la vertiente Amazónica y las corrientes de convección orográfica del área subxerofítica del Patía, forma un frente hídrico dinámico, origen de la gran riqueza hídrica de la zona. (CORPONARIÑO, 2010)

Las microcuencas de la quebrada Rosales y la Quebrada Mijitayo forman parte de la red hídrica del santuario de flora y fauna Galeras. (Parques nacionales naturales de Colombia, 2015)

La Microcuenca Mijitayo abastece al 20 % de la población del Municipio de Pasto, por tal razón desde el santuario se piensa realizar la valoración económica de esta microcuenca. (Parques nacionales naturales de Colombia, 2015)

En el estudio desarrollado por el consorcio UNGRD 009, "Informe final de resultados y recomendaciones microcuenca del Río Pasto entre el Hospital infantil y el sector Torobajo" se identifica que a las cuencas que son susceptibles a presentar avenida torrencial, corresponden al río Mijitayo, y Rosales entre otros.

Ahora bien, la delimitación de la zona con función amortiguadora, tiene sus inicios desde el año 2005.

Con la propuesta de delimitación, zonificación y reglamentación de 10.615 hectáreas como zona con función amortiguadora de las cuales el 38,2% corresponden a zonas de protección se tiene un precedente de conectividad estratégico sobre los valores objeto de conservación del Santuario principalmente de Bosque Alto Andino y Andino.

En el marco de la zona con función amortiguadora se cuenta con estrategias de trabajo que articulan la función en las sub zonas definidas las cuales mitigan las principales presiones que inciden directamente en el SFF Galeras: i) Las reservas naturales de la sociedad civil y el trabajo con la organización articuladora Tierrandina; y ii) el proceso de corredores de conservación; temas de especial prioridad para dar continuidad al plan de acción que se encuentra en implementación.

El santuario de flora y fauna galeras, se encuentra a una distancia del ámbito del plan Parcial de aproximadamente 3 km; la zona amortiguadora, se ubica a una distancia de aproximadamente 1,05 Km del área de estudio.

En un rango de 2 kilómetros alrededor del plan parcial, La zona amortiguadora del santuario de flora y fauna Galeras presenta influencia en suelo destinado para la mitigación, protección y contención por producción agrícola y pecuaria.

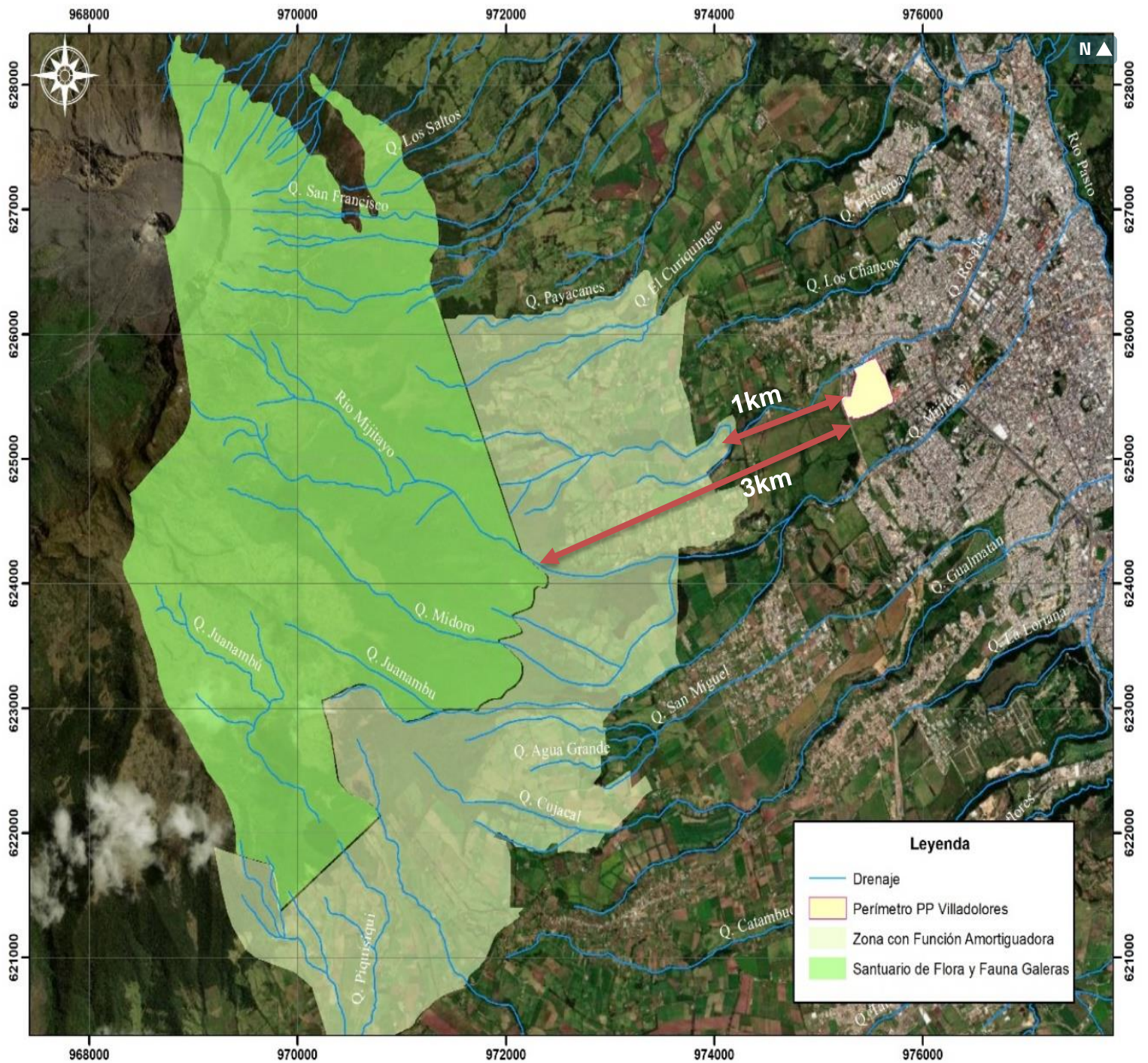


Figura 12. Santuario de flora y Fauna Galeras
Fuente: POT Pasto

1.2.8 Plan de Manejo Ambiental

La zonificación de manejo ambiental se realiza principalmente para identificar las áreas más vulnerables ambientalmente ante la construcción y operación de un proyecto. Sirve como instrumento para la planeación y ordenamientos del territorio, por ende, para una buena toma de decisiones en cuanto a las condiciones físico – bióticos y sociales del sector.

Es importante resaltar que una vez en etapa de ejecución el desarrollador debe asumir las responsabilidades ambientales que la construcción de infraestructura amerita; en ese orden de ideas deberá garantizar la implementación de los respectivos planes de manejo que garanticen el cumplimiento de la norma ambiental vigente respecto al manejo y disposición de residuos de construcción y demolición (Decreto 472/17; Resolución 1257/21), manejo de vertimientos, de residuos sólidos ordinarios, especiales y/o peligrosos según sea el caso, movimiento de suelo, utilización de asfaltos, medidas de compensación, reforestación, restauración, permisos de aprovechamiento forestal, etc.

Es indispensable además que según su pertinencia se levante la matriz para la identificación y evaluación de impactos, con las debidas medidas de prevención o mitigación.

- **Áreas de especial significado ambiental**

Son aquellas áreas que por sus características ambientales merecen ser conservados y protegidos por razones de su biodiversidad, teniendo en cuenta la flora, fauna, suelos, el entorno paisajístico y la memoria histórica-cultural, tales como:

- Áreas naturales protegidas. El Plan Parcial Villa Dolores no existe esta categoría, pues por su poca extensión, su poca variedad de flora y fauna, y la ausencia de fenómenos amenazantes, no tiene características que ameriten ser protegidas,.
- Ecosistemas Sensibles. Aquel que es altamente susceptible al deterioro por la introducción de factores ajenos o exógeno. Para el Plan Parcial Villa Dolores no aplica esta categoría.
- Ronda Hídrica. Las rondas hídricas, de conformidad con el artículo 206 de la ley 1450 de 2011 son "zonas o franjas de terreno aledañas a los cuerpos de agua que tienen como fin permitir el normal funcionamiento de las dinámicas hidrológicas, geomorfológicas y ecosistémicas propias de dichos cuerpos de agua". En este caso no aplica, teniendo en cuenta que la Q. Rosales se encuentra canalizada en el tramo de incidencia sobre el Plan Parcial
- Zonas de especies endémicas, amenazadas o en peligro crítico. No se encontraron dentro del área de estudio especies amenazadas o en peligro.
- Áreas de importancia para cría, reproducción, alimentación y anidación. No se encontraron este tipo de zonas debido a que no hay una biodiversidad amplia de flora y fauna.
- Zonas de paso de especies migratorias. La Zona de estudio no representa refugio para las aves migratorias.

- **Áreas de recuperación ambiental**

Son áreas que han sido sometidas por el ser humano a procesos intensivos e inadecuados de apropiación presentan fenómenos de deforestación, erosión y degradación de suelos, sedimentación, inestabilidad, contaminación y extinción o grave disminución de especies de fauna y flora.

En la zona de estudio se incrementa la susceptibilidad a erosión por pastoreo de animales. Es importante realizar actividades de recuperación de suelo sobre el área.

- **Áreas erosionadas, de conflicto o contaminadas por uso del suelo**

El suelo de la zona de estudio presenta ligeras muestras de erosión debido al pisoteo por pastoreo de ganado bovino.

- **Áreas de riesgo y amenazas**

Después de realizado el análisis de amenazas, se destacan los fenómenos de: Remoción en Masa, inundación, avenida torrencial, Lahares y fenómenos asociados a la sismicidad.

Es de resaltar que después de haber realizado los respectivos estudios teniendo en cuenta el Decreto 1077 del 2015 en lo que respecta al componente de Gestión del riesgo, no existen zonas de amenaza alta o media, dentro del Plan Parcial Villa Dolores, en ese sentido no se necesitan tomar medidas adicionales sobre la zona de estudio.



Figura 13. Área Plan Parcial Villa Dolores
Elaboración: Claudia Juajinoy

1.2.9 Conclusiones

Una vez realizado el diagnóstico ambiental del Plan Parcial Villa Dolores, se puede concluir lo siguiente:

El área destinada para el desarrollo del Plan Parcial presenta condiciones favorables para el establecimiento de infraestructura urbana, por lo tanto se recomienda su desarrollo y construcción.

Para la planificación del desarrollo del área del Plan Parcial Villa Dolores se tuvieron en cuenta las condiciones de riesgo, es decir para el caso particular de la Zona de estudio la amenaza por remoción en masa, inundación, avenidas torrenciales y volcánica es baja, en consecuencia no hay áreas en condición de riesgo.

No existen dentro de la Zona de estudio elementos ambientales que merezcan la categoría de especial o de protección.

La zona de estudio representa una gran posibilidad de desarrollo para el Municipio, además cuenta con una ubicación estratégica que se complementa con el potencial ambiental de la zona, siendo una característica única del sector que lo convierte en un gran atractivo urbano.

Si bien es cierto Dentro del Plan parcial Villa Dolores no existen elementos de la estructura ecológica, se resalta que la zona se conecta con los elementos principales a nivel Municipal, tales como las fuentes hídricas y sus rondas, las zonas verdes, el santuario de flora y fauna Galeras y la zona con función amortiguadora.

1.3 | ESTUDIO HIDROLÓGICO

1.3.1 Metodología

Para contar con una información veraz sobre los caudales en el área de estudio, es necesario realizar una evaluación de la información hidrológica existente mediante la aplicación del METODO RACIONAL el cual arrojará un nivel de exactitud mucho más adecuado y pertinente al tipo de estudio que hemos de realizar.

• Método Racional

El método racional se utiliza en hidrología para determinar el Caudal Instantáneo Máximo de descarga de una cuenca hidrográfica.

La fórmula básica del método racional es:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Dónde:

Q: Caudal máximo [L/s]

C: Coeficiente de escorrentía, en este Tutorial encontrarás algunos valores para cuencas Rurales y Urbanas.

I: Intensidad de la Lluvia de Diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño (Curvas de I-D-F) [mm/h]

A: Área oferente. [mt²]

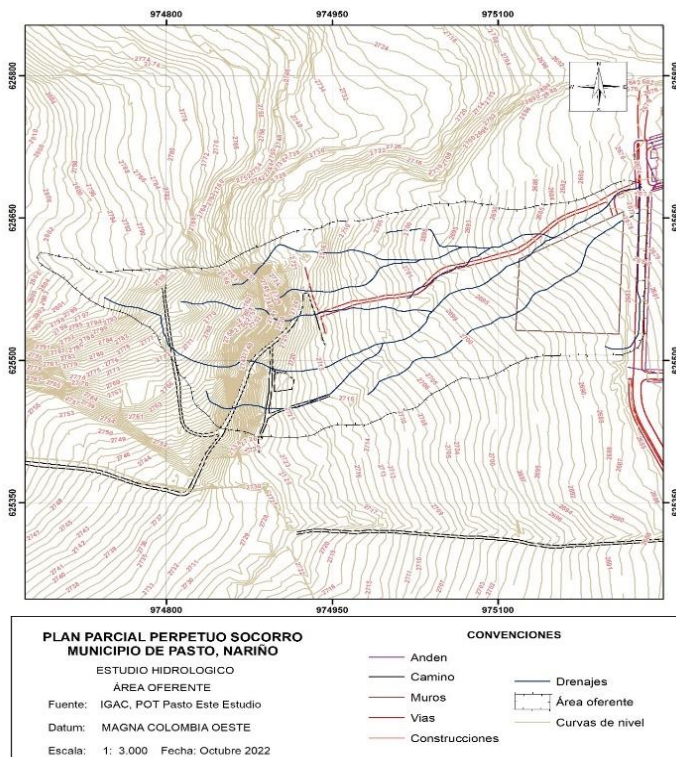


Figura 15. Mapa del Área oferente objeto de estudio
Elaboración: Claudia Juajinoy

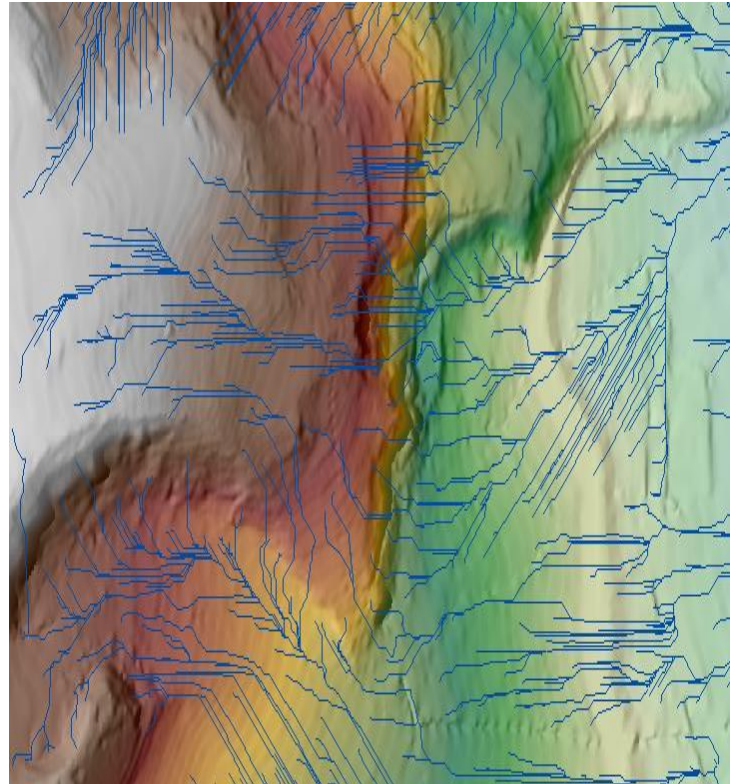


Figura 14. MDT con drenajes generados por computador
Elaboración: Claudia Juajinoy

1.3.2 Áreas Oferentes

La determinación de las áreas oferentes es el resultado del análisis cartográfico usando la topografía levantada para el predio objeto del proyecto y la información del IGAC a escala 1:2.000

Con la información de curvas de nivel de la topografía tomada en campo y complementada con la información de curvas de nivel de la cartografía del IGAC a escala 1:2.000, se realiza un modelo digital de terreno el cual es procesado con la herramienta Arc Hydro Tools de ArcGIS y se encuentra el siguiente comportamiento de los posibles escurrimientos al punto de descarga sobre la vía principal.

1.3.3 Parámetros Morfométricos

Una vez identificadas las áreas oferentes que afectan el área del proyecto, se procede a determinar los parámetros morfométricos.

Los resultados de estos parámetros morfométricos se aprecian a continuación:

PARAMETRO	VALOR
Área (km ²)	0,08
Perímetro (km.)	1,41
Longitud del cauce principal (km.)	0,60
Cota superior cauce principal (m.S.N.M)	2804,00
Cota inferior del cauce principal (m.S.N.M)	2674,00
Longitud axial (km)	0,46
Ancho promedio (km)	0,18
Forma	0,30
Coefficiente de compacidad	0,02
Pendiente media del cauce (m/m)	0,28
Tiempo de concentración (minutos)	4,47
Índice de meltom	0,45

Tabla 5. Parámetros morfométricos.
Elaboración: Claudia Juajinoy

1.3.4 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía se obtiene del análisis de las coberturas existentes en el área oferente al proyecto objeto de estudio. Para esto se realizó una foto interpretación de las imágenes Quickbird para determinar que cobertura y/o uso del suelo existe en cada una de las áreas oferentes, así como en la zona de influencia de la vía.

COBERTURA	AREA m ²	PORCENTAJE	CN
Tejido urbano	9458,17	11,22	0,29
Pasto	72207,78	85,65	0,17
Bosque plantado	2638,07	3,13	0,07
	84304,02	100,00	0,18

Tabla 6. Coeficiente de escorrentía.
Elaboración: Claudia Juajinoy

Para el caso anterior se tiene un Coeficiente de Escorrentía CN de 0,18 el cual es el resultado del CN de cada una de las coberturas encontradas en el área oferente.

El área oferente es pequeña, 0,08 Km² lo cual permite realizar análisis a partir del modelo racional.

El tiempo de concentración es bastante rápido, de 447 minutos, tiempo en que se demoraría una gota de agua en llegar desde la parte mas alta de la micro cuenca hasta el punto que atraviesa la vía, esto debido a la baja pendiente del área oferente.

El índice de Mentom de 0,45 indica que el área oferente es susceptible a presentar torrencialidad, es decir que presenta avenidas torrenciales que puedan afectar la integridad estructural de la vía objeto de estudio.

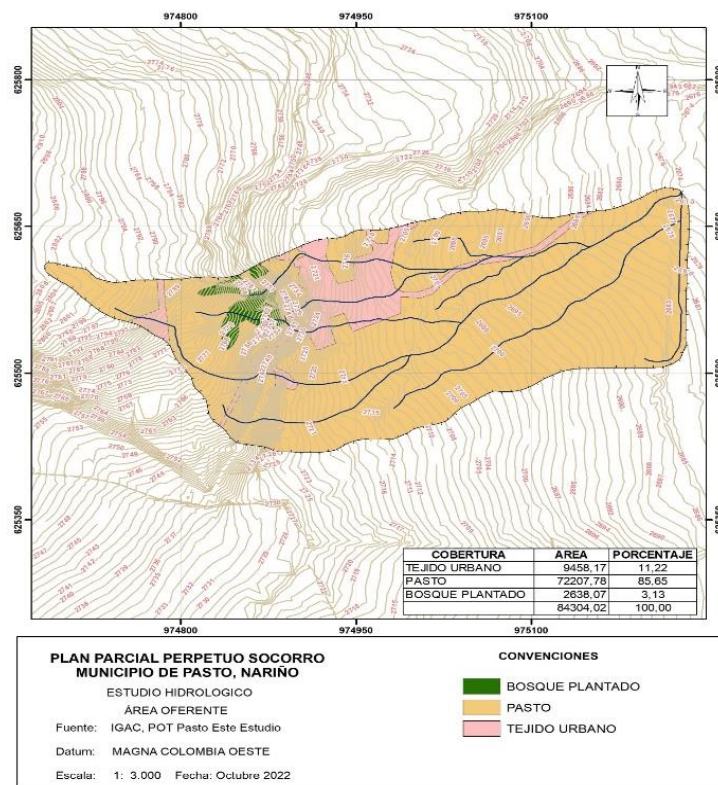


Figura 16. Mapa de coberturas del Área Oferente.
Elaboración; Claudia Juajinoy

1.3.5 Caudales máximos.

Una vez se cuenta con la información necesaria se procede a aplicar la fórmula del método racional y determinar los caudales máximos para cada zona establecida en la determinación de áreas oferentes y del área de influencia de la vía, en este sentido se presenta la siguiente información por cada una de las zonas.

CAUDALES MAXIMOS					
TR	AREA (m ²)	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA	INTENSI DAD	Q Máx	Q Máx
(Año s)			(mm/h)	(m ³ /s)	(l/s)
5	84304,02	0,18	28,20	0,118869	118,8686
10	84304,02	0,18	33,50	0,141209	141,2092
25	84304,02	0,18	40,20	0,169451	169,4510
50	84304,02	0,18	45,20	0,190527	190,5270
100	84304,02	0,18	50,10	0,211182	211,1815

Tabla 7. Caudales Máximos
Elaboración: Claudia Juajinoy.

En la tabla anterior se muestran los resultados de la aplicación de la fórmula del método racional para determinar caudales instantáneos a partir de la intensidad, el área oferente y las coberturas que resultan en el coeficiente de escorrentía.

Como se puede apreciar los caudales máximos que puede llegar a presentar el área oferente analizada, son de importancia, sin embargo, la poca pendiente media del cauce en la parte baja y las condiciones morfológicas de la zona permite la descarga de energía.

1.3.6 Evaluación de drenaje superficial

El drenaje es la acción de drenar o evacuar las aguas que se acumulan sobre la superficie del suelo por efectos de inundación, anegamiento o encharcamiento.

Para el Plan parcial Villa Dolores se tienen diferentes tipos de drenaje superficial. Por un lado están los sumideros ubicados sobre las vías que limitan con la zona, sobre la calle 8 y la alcaldía Municipal, lo cual evita la generación de caudales excesivos por las escorrentías pluviales.

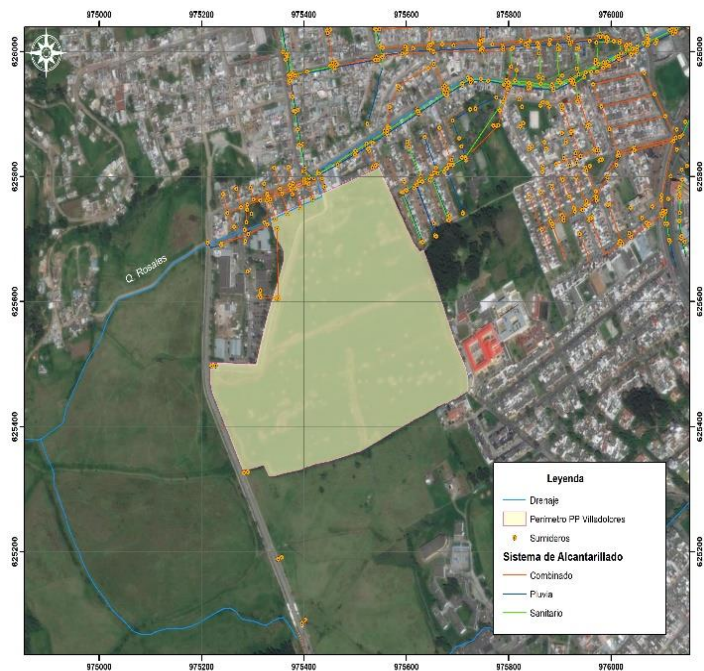


Figura 17. Drenajes Área de estudio..
Fuente. Estudio Hidrológico

1.3.7 Comportamientos de Nivel Freático

Para el proyecto del Plan Parcial Villa Dolores solo fue posible identificar posición de nivel freático en los puntos de perforación de exploración de campo en la segunda etapa SPT1 y SPT2 de 6 m de profundidad cada uno, el cual dio una profundidad de 2 m de nivel freático.

En el resto de la zona no se evidencia nivel freático antes de lo 9 m de profundidad.

1.3.8 Conclusiones

El suelo El plan Parcial Villa Dolores tiene buenas condiciones de drenaje tanto por sumideros, como por las propiedades hidráulicas del suelo. No hay niveles freáticos que denotes sobre saturación del suelo, o posibles zonas de anegamiento o encharcamiento.

1.3.9 Estrategias para la y conservación de áreas de importancia ambiental

En el marco del Decreto 2811 de 1974, compilado en el Decreto Único Reglamentaria 1076 del 2015 y demás decretos reglamentarios, el Plan Parcial Villa Dolores, determina como recomendaciones encaminadas a la conservación, restauración y manejo de estructura ecológica principal del municipio de Pasto, ubicada en la parte alta del plan parcial Villa Dolores, de las cuales hacen parte: el Santuario de Flora y Fauna Galeras, la zona con función amortiguadora y la quebrada Rosales, las siguientes estrategias:

1. Garantizar la continuidad a la estructura ecológica principal definida en el Plan de Ordenamiento Territorial 2015-2027 del municipio de Pasto, Título III, Capítulo I, del Acuerdo Municipal 004 del 14 de abril de 2014, de la cual hacen parte el Santuario de Flora y Fauna Galeras y la zona con función amortiguadora conectadas naturalmente a través de cuerpos de agua presentes en la zona, cuya delimitación de sus rondas hídricas, serán tratadas como áreas de protección ecológica cuyo manejo garantizará la estabilidad ambiental de la zona.

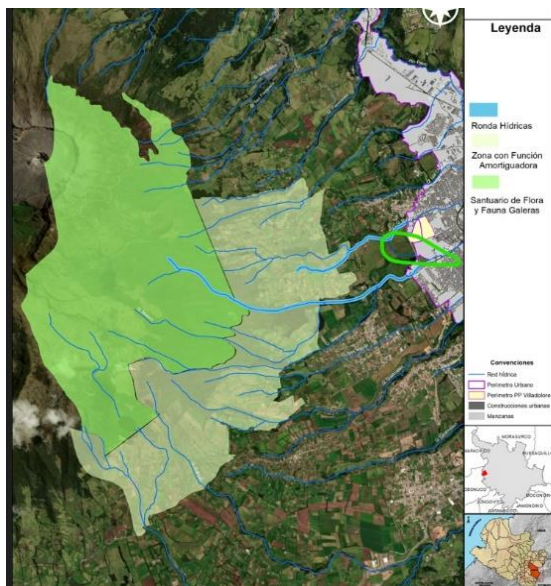


Figura 17: Plano estructura ecológica
Elaboración: Claudia Juajinoy

Es decir, hacen parte de la Estructura Ecológica Principal existente, dentro del ámbito del Plan Parcial Villa Dolores, la Quebrada Rosales por ser parte del sistema hídrico, constituyéndose en áreas de protección ambiental que permitan la restauración ambiental y paisajística de la zona, lo anterior, al ser tomado por el POT como parte funcional del sistema de drenaje pluvial sostenible, constituyéndose en un corredor ecológico hídrico, cuya función principal es la de unir

articular elementos del Sistema de Áreas Protegidas entre sí o con otros elementos de la estructura ecológica municipal, contribuyendo a mitigar y controlar los efectos de la fragmentación de hábitat, así como al mantenimiento de la biodiversidad, garantizando la oferta de bienes y servicios ambientales y de elementos ecosistémicos de soporte y regulación hídrica.

En este sentido, es importante mencionar que como bien se observa en plano que antecede, la delimitación de la ronda hídrica objeto de protección ambiental correspondientes a la Quebrada Rosales, al entrar en contacto con la zona urbano del municipio de Pasto (casco urbano), se encuentra canalizada, condición que en concordancia con la normativa urbanística dispuesta en el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio, no es objeto de protección dentro de la estructura ecológica principal, sino que por el contrario y acorde a la reglamentación urbanística del POT, dicha estructura hace parte de la infraestructura y redes de servicios del Municipio, tal y como se puede observar plano EA30 del POT, adjunto a continuación:

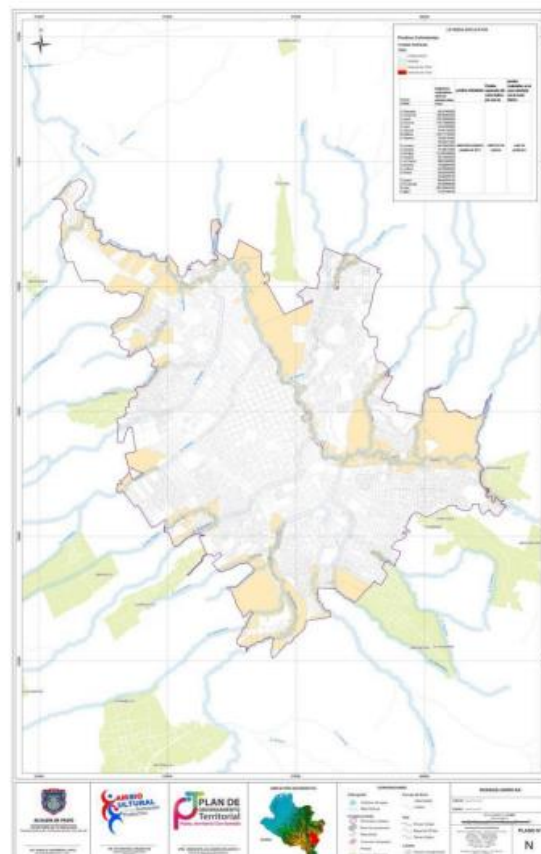


Figura 18. Plano Reglamentación de Rondas Hídricas en el área urbana del municipio de Pasto.
Fuente: POT 2015-2027

Cuya reglamentación para la zona del plan parcial, se encuentra establecida en la propuesta urbanística del mismo; propuesta que fue estructurada teniendo en cuenta los elementos naturales presentes en la zona de desarrollo y su área de influencia, es por esto, que observando a detalle el diseño urbanístico de la zona, se observa que el mismo, propende a la continuidad del corredor ecológico hídrico, esto por cuanto, una vez éste conecta con el área del plan parcial, continua su estructura de protección ambiental a través de las áreas de espacio público propuestas, las cuales se complementan con las áreas naturales correspondientes a las rondas hídricas las cuales hacen parte de las áreas de calidad ambiental paisajística (zonas verdes tanto públicas como privadas, áreas de control ambiental y antejardines propuestos), y permiten la restauración ambiental y paisajística de la zona.

2. Establecer un área de contención entre el suelo rural y el suelo urbano; para esta estrategia, se hace necesario establecer como elemento de contención, la vía secundaria que conecta el área del plan parcial incorporado al perímetro urbano con el suelo rural y su área de influencia, cuyo propósito será constituirse no solo como un elemento de control al crecimiento urbano no planificado, sino que también se considera como una medida de mitigación frente al fenómeno de escorrentía, esto en razón de que al generar continuidad y barreras naturales a través de cobertura vegetal permite que esa agua que actualmente circula libremente sobre la superficie del terreno, controle naturalmente su escurrimiento minimizando al máximo su efecto (lavado de suelos), en especial en el perímetro urbano y más específicamente en la zona de desarrollo del plan parcial.



Figura 19: Propuesta urbanística plan parcial Villa Dolores
Fuente: Elaboración propia

The background is a light blue map of a city grid. A river flows through the city from the top right towards the bottom right. A specific area in the center-right of the map is highlighted with a darker blue color. The text 'GESTIÓN DE RIESGO' is positioned at the bottom left, and the large number '02' is at the bottom right.

**GESTIÓN
DE RIESGO**

02

2.1 | RIESGO POR MOVIMIENTO EN MASA

El perímetro del plan parcial Villa Dolores, está ubicado al occidente del casco urbano de la ciudad de Pasto comprendido por tres predios identificados con números prediales: 010410810096000, 010405010009000, 000100140694000. De los cuales el predio número 000100140694000 se encuentra por fuera del perímetro urbano, siendo parte de las áreas identificadas en el POT vigente del municipio de Pasto como polígono de planes parciales de expansión.

Con respecto a los estudios básicos se realizaron tomando el área de la cuenca de la quebrada Los Rosales (ver Figura), delimitada con base al Modelo Digital de Elevación – DEM con resolución de pixel de 5 metros de imagen de sensor remoto GEOSAR.

2.1.1. Información geográfica

El La información geográfica y alfanumérica generada en el presente estudio sigue los lineamientos y aspectos mínimos requeridos por la Alcaldía Municipal de Pasto para Planes Parciales y presenta la siguiente información:

- Base de datos geográfica (GEODATABASE): Estructurada en Dataset A_BASE que contiene información base del proyecto y el dataset C_RIESGOS que contiene información espacial de los estudios básicos del proyecto, como se muestra a más detalle en la siguiente tabla (Tabla 1):
- Proyectos de cada mapa base y temático: se encuentran los proyectos en MXD de los mapas bases BC01 Localización y BC02 Mapa Base, de los mapas temáticos se encuentran los proyectos de R01 - UGI Cuenca Rosales y R02 - EGMF Cuenca Rosales.

Geodat abase	Feature dataset	Feature class	Geometría	Escala	Fuente de datos
PLAN_PARCIAL_VILLADOLORES.gdb	A_BASE	Base predial rural	Polígonos	1:2000	IGAC
		Base predial urbana	Polígonos	1:2000	IGAC
		Centros poblados contornos	Polígonos	1:2000	IGAC
		Construcciones urbanas	Polígonos	1:2000	IGAC
		Corregimientos Pasto	Polígonos	1: 25.000	POT PASTO 2015-2027
		Curvas 1m	Línea	1: 1.000	EMPOPASTO 2017
		Dreanaje Sencillo	Línea	1: 10.000	POT PASTO 2015-2027
		Manzanas Pasto	Polígonos	1: 2.000	IGAC
		Perímetro cuenca Rosales	Polígonos	1: 5.000	GEOSAR DEM
		Perímetro PP VillaDolores	Polígonos	1: 2.000	levantamiento topográfico, base predial IGAC
		Perímetro rural	Polígonos	1: 25.000	POT PASTO 2015-2027
		Perímetro urbano	Polígonos	1: 5.000	POT PASTO 2015-2027
		Red vial urbana	Línea	1: 2.000	POT PASTO 2015-2027
		Toponimia	Punto	1: 5.0000	POT PASTO 2015-2027
C_RIESGOS	Pendientes Cuenca Rosales	Polígonos	1: 5.000	DEM GEOSAR	
	UGI Cuenca Rosales	Polígonos	1: 5.000	Este estudio	
	EGMF cuenca Rosales	Polígonos	1: 5.000	Este estudio	

Tabla 7. Base de datos geográfica

- Salidas gráficas: se encuentran en carpetas en formato PDF y JPEG los mapas bases y temáticos referidos en los proyectos de mapas.
- Información Raster: se adjunta la información raster del DEM Geosar, ortofoto EMPOPASTO 2017.

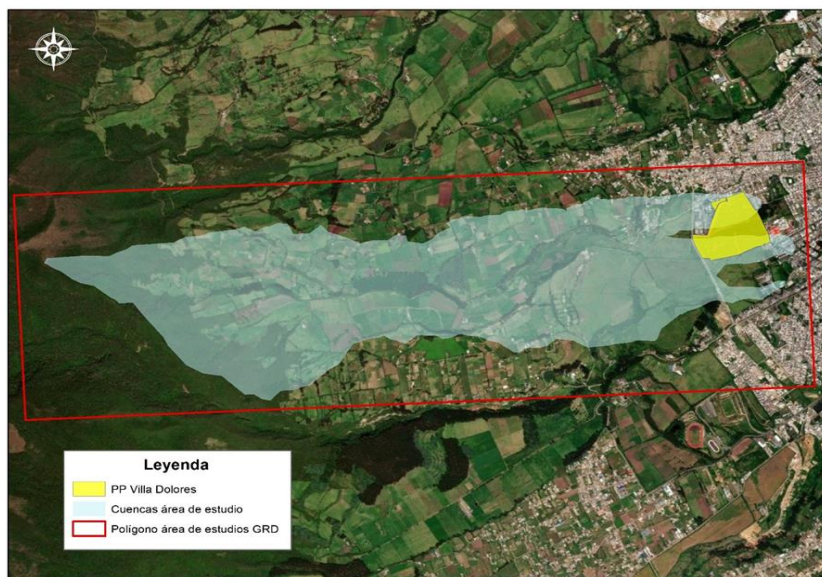


Figura 20: Área de estudios de gestión de riesgo de desastres cuenca Los Rosales
Fuente: Claudia Juajino

2.1.2 Estructuración de datos geográficos

Se realizó una revisión topológica de cada una de los Shape file que componen la geodatabase entregada, lo cual fue útil para valorar, detectar y corregir errores de digitalización.

La Tabla de atributos de cada shape file, se estructuró bajo los siguientes campos mínimos de información, cabe resaltar que algunas capas tienen información complementaria de acuerdo a la temática.

POLÍGONO	Nombre	Descripción	Área_m2	Área_Ha
LÍNEA	Nombre	Descripción	Longitud	
PUNTO	Nombre	Descripción	Latitud	Longitud

Tabla 8. Tabla de atributos de cada Shape file
Fuente: Estudio amenaza por remoción en masa

Se migró la información espacial correspondientes al sistema de coordenadas requeridos por la Subsecretaría de Ordenamiento Territorial de la Alcaldía de Pasto, de acuerdo al sistema de proyección MAGNA_COLOMBIA_OESTE

Parámetros	Valor
Proyección	Transversa Mercator
Datum	D_MAGNA
Origen Latitud	4,59620042 N
Central Meridiano	-77,07750792
Falso Este	1.000.000
Falso Norte	1.000.000
Unidades	Metros
Factor de Escala	1,0

Tabla 9. Parámetros de Proyección cartográfica
Fuente: Estudio amenaza por remoción en masa

Unidad Mínima Cartografiable

Es la unidad más pequeña de la superficie que puede ser delimitada en un mapa y puede ser visible según la escala de trabajo (LOPEZ, 2012), en este sentido, se trabajó con los siguientes parámetros teniendo en cuenta que la escala de trabajo de los mapas entregados es de 1: 5.000 y 1: 2.000.

ESCALA	UNIDAD MÍNIMA CARTOGRAFIABLE (4X4 mm)		
	Metros Cuadrados	Hectáreas	Kilómetros cuadrados
1: 2.000	64	0,0064	0,000064
1: 5.000	400	0,04	0,0004

Tabla 10. Unidad mínima cartografiable
Fuente: Estudio amenaza por remoción en masa

2.1.3 Recopilación y análisis de información secundaria

La recopilación y análisis de la información existente es una de las etapas importantes principalmente de diagnóstico, ya que posibilita conocer las principales características del área de estudio, generando de este modo uno de los primeros pasos para la construcción de las capas de información que se levantarán posteriormente en campo, y que servirán como pauta para plantear posibles hipótesis de los resultados de la zonificación de amenaza vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa.

La información recopilada y consultada como se observa en la siguiente Tabla, aporta datos importantes para el proyecto, aunque cabe destacar que algunos documentos presentan mayor relevancia por el detalle de los estudios apoyando de esta manera el objeto principal del Plan Parcial Villa Dolores.

Título/Año	Fuente	Información
Geología de las planchas 429-Pasto/1991	MIIG-SGC INGEOMINAS	Mapa, Memoria explicativa y nativos de la geología de la plancha 429-Pasto. Esc. 1:100000
Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia/ 1998	MIIG-SGC INGEOMINAS Unidad operativa de Manizales	Documento y nativos de donde se propone la Formación Los Pastos como unidad litoestratigráfica de Colombia a escala regional.
Mapa de Subunidades Geomorfológicas de la Ciudad San Juan de Pasto y sus alrededores. Departamento de Nariño Colombia/2002	INGEOMINAS	Mapa de Subunidades Geomorfológicas de la Ciudad de Pasto cubre el 100% de la zona de estudio. Esc. 1:10.000
Evaluación de los efectos actuales de subsidencia y colapsos por actividades de aprovechamiento subterráneo de recursos minerales en la ciudad de San Juan de Pasto /2003	MIIG-SGC Subdirección de amenazas Geoambientales	Describe las UGS de la zona de estudio a escala 1:10.000, teniendo en cuenta, su composición, secuencia, espesores, contactos, edad y origen. Se definen 12 ugs: lavas (QL), depósitos piroclásticos (Qp), la capa de arena (Qa), flujos de lodo, depósitos paludales (Qpl), terrazas del río Pasto, depósitos piroclásticos de ladera (Qc), flujos complejos (Qfc), depósitos de movimientos en masa (Qmm), depósitos de cauce actual (Qcac), llenos antrópicos (Qll), otros depósitos a la zona cartografiada.
Mapa de unidades geológicas superficiales de la ciudad de San Juan de Pasto y sus alrededores/2003	INGEOMINAS	Determina las unidades geológicas superficiales de la ciudad de Pasto a escala 1:10.000. Cubre la totalidad del área de estudio y se destacan las UGS de llenos antrópicos, depósitos paludales, flujos de lodos del oeste y depósitos de cauce activo. Esc. 1:10000.
Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009 AIS	AIS – 2009	Contextualiza el régimen tectónico donde se encuentra Colombia, descripción del historial de sismicidad, expone los parámetros para el cálculo de amenaza sísmica y realiza la evaluación de los parámetros Aa, Ae, Av, Ad para los municipios de Colombia.
Zonificación de la susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100000 Plancha 429-Pasto/2014	MIIG-SGC SGC-UNAL	Mapa, Memoria explicativa y nativos de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa. Esc. 1:100000
Áreas de actividad urbana y de expansión Esc 1:11000 / POT/ 2014	Alcaldía Municipal de Pasto	Zonas de suelo de protección, áreas de actividad urbanas y áreas de actividad en suelos de expansión.
Cuaderno diagnóstico Gestión del Riesgo V4/2012-2015	Alcaldía Municipal de Pasto	UGS de la ciudad de Pasto, contiene información litológica a nivel de formación superficial permitiendo la caracterización litoestratigráfica de las unidades cartografiables.
Memoria Explicativa Mapa Geomorfológico aplicados a Movimientos en Masa, Escala: 1:100.000/2015	SGC -UNAL	Descripción de las unidades geomorfológicas de la plancha 429 de Pasto y su evolución. Esc. 1: 100.000
Elaboración estudio detallado de riesgo por lahar en la microcuenca de la quebrada Mijitayo, en el municipio de Pasto/2019	Consortio Mijitayo	Estudio de amenaza, vulnerabilidad y zonificación de riesgo en escala 1:100 para zona rural y 1:2000 para la zona urbana.
Estudio geotécnico preliminar lote Anganoy, Pasto/2022	Ingeniería de suelos y cimentaciones S.A.S	Análisis geotécnico preliminar que se realizó sobre lote de 3,5 hectáreas destinado a la construcción localizado en el barrio Anganoy, junto a las oficinas de la Alcaldía de Pasto.
Inventario y catálogo de MM	SIMMA	Inventario de Procesos Morfodinámicos

Tabla 10. Análisis de recopilación de información secundaria

2.1.4 Factores Condicionantes

• Marco geológico y tectónico regional

Los Andes hacia sector norte abarcan una amplia zona de deformación continental limitada al oriente por el cratón sudamericano y por las zonas de subducción de las placas Nazca y Caribe que se ubican de manera lineal a las costas de Colombia. El suroccidente colombiano topográficamente se caracteriza por un ramal de la cordillera de los Andes, cuyo basamento se compone de una mezcla de rocas precámbricas (Kroonenberg, S., 1983) y rocas cretácicas de afinidad oceánica obducidas al continente (Murcia y Cepeda, 1991a). En este basamento se sobrepone un magmatismo Cenozoico caracterizado por una serie de pulsos magmáticos que reflejan la subducción de la Placa Nazca bajo la margen continental de Suramérica (Toussaint, J, y Restrepo, J., 1982; Alvarez, A., 1983; Aspen, et al., 1987). Es así, como el magmatismo del suroeste colombiano se caracteriza por presentar cuerpos plutónicos del Oligoceno y Mio-Plioceno, igualmente, por la presencia de importantes edificios volcánicos Plio-Cuaternarios (Alvarez et al. 1980 a; Alvarez et al. 1980 b; Alvarez y Linares, 1980, Cepeda, 1989), donde el vulcanismo joven es de composición predominantemente intermedia con extensos depósitos piroclásticos, los cuales puede dividirse en volcanes activos (Galeras, Azufral, Doña Juana, Cúmbal, etc.) y volcanes inactivos (Morasurco, Bordoncillo, Campanero, Chapacual, etc.) (Trujillo et al., 2010).

Geológicamente el departamento de Nariño se ubica hacia el sector suroccidental de los Andes Colombianos, donde se diferencian dos cordilleras (la centro-oriental y la occidental), separadas por una depresión que localmente se denomina "Altiplano Nariñense". El límite entre el Altiplano y la cordillera centro-oriental está delimitado por el sistema de fallas de Romeral, mismo sistema que divide el país en dos grandes zonas: la zona al occidente y de afinidad oceánica, y la localizada al oriente y de afinidad continental, que en la región controla el emplazamiento del volcán Galeras (INGEOMINAS, 2003).

Debido al enmascaramiento de los rasgos tectónicos primarios, por efecto de la intensa actividad volcánica recientemente en la región, los aspectos estructurales de la zona han sido objeto de especulación y controversia ante las dificultades que se presentan para sustentar apropiadamente los trazos y desplazamientos de las fallas tectónicas. Por tal motivo, en diversos estudios se toma como referencia los trazos de fallas planteados en la plancha 429 (INGEOMINAS, 1991b), donde el rasgo más relevante de la región está definido por el Sistema de Fallas Romeral (Murcia & Cepeda, 1991).

■ Unidades litoestratigráficas (escala 1:100.000)

El área de estudio se encuentra localizado en el sector occidental de la ciudad de Pasto, geológicamente corresponde a unidades volcánicas que comprenden edades Terciario - Cuaternario (INGEOMINAS, 1991), en la Figura se observa el mapa de las unidades que se presentan en la zona y su descripción a continuación.

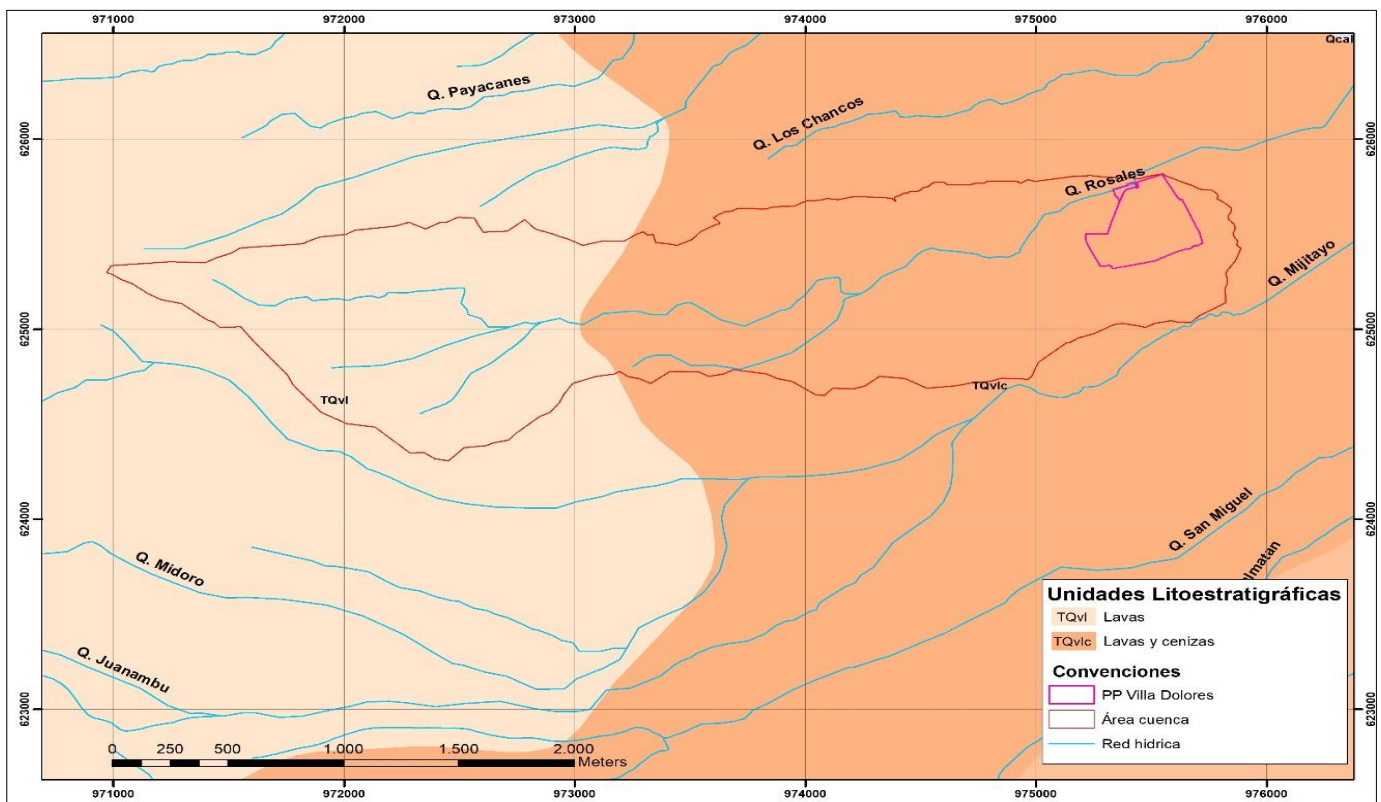


Figura 21. Mapa de unidades litoestratigráficas a nivel regional
Fuente: Adaptado de Ingeominas (1991)

▪ Lavas (TQvl)

Se denomina como lavas principalmente a los flujos masivos de forma tabular y algunos escoriáceos, lavas aa' y lavas en bloques que afloran principalmente alrededor del área del Complejo Volcánico del Galeras; son rocas de tipo porfíricas con fenocristales que no sobrepasan los 2mm en su diámetro mayor y que evidencian textura de flujo (INGEOMINAS, 1991). Se ubican principalmente en los valles de quebradas y ríos, estableciendo una configuración abrupta, consistente en valles en V muy estrechos, profundos y escalonados (INGEOMINAS, 1984).

Se componen principalmente de dacitas con anfíbol y plagioclasa sódica y andesitas de dos piroxenos (augita e hipersteno) y plagioclasa cálcica, además pueden contener cuarzo microcristalino, olivino y biotita como accesorio, el vidrio se observa en la matriz y/o rellenando vesículas en porcentajes variables generalmente de color marrón y pocas veces verde (INGEOMINAS, 1991).

Estas rocas presentan colores que pueden variar entre tonos de gris, negro, verdes y algunas veces rojas por la formación de óxidos de hierro sineruptivos, en una etapa más meteorizada muestran colores amarillo y marrón, por la oxidación de los minerales máficos. El peso y color de estas lavas pueden disminuir con el aumento en contenido de vidrio y espacios porosos (INGEOMINAS, 1984).

▪ Lavas y cenizas (TQvlc)

Paquetes de flujos de lava y depósitos de ceniza que se intercalan o cubren a esos flujos, a veces difíciles de diferenciar por los cambios de facies dado al carácter de estratovolcán de algunos focos volcánicos, estos cambios de facies hacen que predominen las rocas lávicas en unos sitios y los depósitos de ceniza (Tipos "Ash fall" y "ash Flow") en otros, los cuales pueden alcanzar decenas de metros de espesor y por lo general se encuentran alterados. En estado fresco estas rocas presentan colores que varían entre tonos de gris, negro, verdes y algunas veces rojas por la formación de óxidos de hierro, meteorizan mostrando colores amarillo y marrón, por oxidación de minerales máficos (INGEOMINAS, 1991b).

Las lavas son muy similares en su apariencia, de color gris oscuro, porfíricas, ligeramente vesicular especialmente hacia los bordes de los flujos. Los minerales más comunes son plagioclasa, piroxeno y en algunos casos puede presentar olivino (Calvache, 1995).

Los diferentes flujos presentan formas tabulares, con espesores que no sobrepasan los 15 m, dispuestos sobre los valles de ríos y quebradas principalmente, modelando una topografía abrupta. Estos flujos se intercalan con otros flujos de lava o con material piroclástico y comúnmente se presentan como lavas macizas, escoriáceas, en bloque y autoclásticas. Las principales estructuras mostradas por los diferentes flujos son: fracturamiento por flujo laminar en estado plástico, fracturamiento por flujo laminar en estado casi sólido,

fracturamiento columnar por enfriamiento, líneas de flujo más o menos bien marcadas que señalan superficies planas o replegadas, y estriación en la base por el arrastre de halo o autoclastos durante el avance (INGEOMINAS, 1984).

Las lavas se describen como holocristalinas a hipocristalinas, porfíricas con matriz afanítica a microcristalina (algunas veces), orientadas, tanto la matriz como los fenocristales (los cuales no sobrepasan los 2 mm en su longitud mayor), evidenciando textura traquítica. También se observa amígdalas, vesículas (macroscópicamente se observan tapizadas con vidrio de color gris claro) y esfeluritas. Los fenocristales son principalmente subhedrales y anhedrales, maclados y algunas veces fracturados, y corresponden a plagioclasas, piroxenos, anfíboles, olivino y biotita. La plagioclasa (An 10-55%), esencialmente oligoclasa – andesina o andesina, es el principal constituyente de estas rocas (generalmente más del 60%). El peso y color de las lavas disminuye con el aumento en contenido de vidrio y de espacios porosos (INGEOMINAS, 1984).

Se cree que la actividad volcánica de estas rocas inicia en el Mioceno medio, lo cual coincide con el hiato regional existente en el Sur de Colombia y relacionado con la Orogenia Andina. Esta actividad volcánica ha tenido diferentes pulsos o episodios y se continua en la actualidad debido a los procesos de subducción (INGEOMINAS, 1984).

• Marco técnico estructural

En Colombia, se evidencia tres placas activas, el cratón sudamericano y zonas de subducción de las placas de Nazca y Caribe; la convergencia relativa entre estas tres placas se manifiesta en la zona de subducción del Pacífico colombiano y a lo largo de diversos sistemas de fallas activas paralelos a los piedemontes de las cordilleras Occidental, Central y Oriental; donde, se acercan entre sí originando deformaciones en la corteza continental, actividad volcánica e intensa actividad sísmica en este territorio (Taboada et al., 1998)

Como se menciona, la placa Nazca converge hacia el este con respecto a la placa Sudamericana, a una velocidad de aproximadamente 7cm/año. Asociado con la subducción del Pacífico, Colombia presenta un arco volcánico activo segmentado en tres sectores a lo largo de la Cordillera Central: el sector del Parque Natural de los Nevados, (e.g. Volcán Nevado del Ruiz), el Sector central (Nevado del Huila, Grupo volcánico Puracé-Doña Juana), y el Sector sur (Grupo volcánico Galeras-Cerro Negro) (Taboada et al., 1998)

En este orden de ideas, se puede definir que la tectónica del sector sur, corresponde al departamento de Nariño en la zona centro oriental, enmarcada por la convergencia de la cordillera Occidental, Central y Oriental, lo cual se conoce como Nudo de los Pastos, este contexto se complementa con el estrechamiento y levantamiento de las depresiones interandinas del Valle del Magdalena y del Cauca – Patía.

El principal rasgo estructural cercano al área de estudio corresponde al Sistema de Fallas Romeral, el cual pone en contacto el Altiplano Nariñense con la Cordillera Centro – Oriental, prolongándose al sur de la Depresión Cauca – Patía y de la Cordillera Central respectivamente. A pesar de la importancia y protagonismo de las fallas regionales presentes en la región, algunos de sus rasgos estructurales han desaparecido bajo los depósitos volcánicos Terciario – Cuaternarios (INGEOMINAS, 1991).

El Sistema de Fallas Romeral corresponde a un grupo de fallas inversas y de rumbo, paralelas a subparalelas que posiblemente presentaron movimientos dextrales, su trazo principal cruza por el volcán Galeras y presenta una orientación de N45E, hacia el sur presenta una orientación N15E. Este sistema de fallas es uno de los más importantes de la zona según Kammer (1993) y está catalogada como activa con una tasa de movimiento entre 0.1 y 10 mm/año (Paris et al., 2000), el cual se asocia al Sistema de Fallas del Cauca, por eso se aplica el termino de sistema de fallas Cauca Romeral en algunos casos; a este sistema pertenece la falla de Buesaco, falla Patía-Guaitara y de San Francisco.

Localmente se deriva la falla Pasto, con una dirección que puede variar de sur a norte entre N25E y N40E, la cual está afectando a las rocas del conjunto Metasedimentario – volcánico de Sacanambuy (Ksvmsa2), imprimiendoles fracturamiento y cataclasis. Hacia el sur su trazo es confuso ya que parece encontrarse con la Falla de San Ignacio y con el Sistema de Fallas del río Magdalena. Asociada al trazo de la falla se encuentra la caldera del río Bobo y San Vicente (INGEOMINAS, 1984). El trazo de la Falla de Pasto, se encuentra ubicado al sur de la zona de estudio como se presenta en la Figura 4.

A nivel de detalle, el área de estudio se caracteriza por la ausencia de evidencias de neo tectónica, aunque no se descarta la presencia de las mismas, su identificación no fue posible por la limitada exposición de los afloramientos y la intervención antrópica cercana.

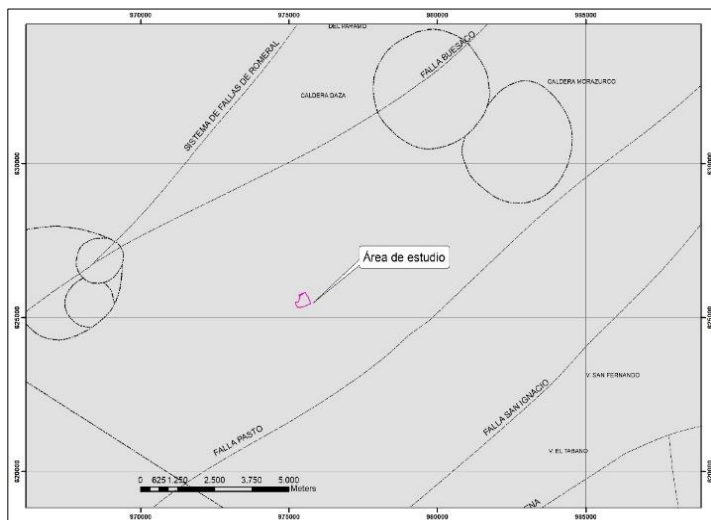


Figura 22. Marco tectónico regional
Fuente: Adaptado de Ingeominas (1991).

fracturamiento columnar por enfriamiento, líneas de flujo más o menos bien marcadas que señalan superficies planas o replegadas, y estriación en la base por el arrastre de halo o autoclastos durante el avance (INGEOMINAS, 1984).

Las lavas se describen como holocristalinas a hipocristalinas, porfiríticas con matriz afanítica a microcristalina (algunas veces), orientadas, tanto la matriz como los fenocristales (los cuales no sobrepasan los 2 mm en su longitud mayor), evidenciando textura traquítica. También se observa amígdalas, vesículas (macroscópicamente se observan tapizadas con vidrio de color gris claro) y esfeluritas. Los fenocristales son principalmente subhedrales y anhedrales, maclados y algunas veces fracturados, y corresponden a plagioclasas, piroxenos, anfíboles, olivino y biotita. La plagioclasa (An 10-55%), esencialmente oligoclasa – andesina o andesina, es el principal constituyente de estas rocas (generalmente más del 60%). El peso y color de las lavas disminuye con el aumento en contenido de vidrio y de espacios porosos (INGEOMINAS, 1984).

Se cree que la actividad volcánica de estas rocas inicia en el Mioceno medio, lo cual coincide con el hiato regional existente en el Sur de Colombia y relacionado con la Orogenia Andina. Esta actividad volcánica ha tenido diferentes pulsos o episodios y se continua en la actualidad debido a los procesos de subducción (INGEOMINAS, 1984).

• Marco técnico estructural

En Colombia, se evidencia tres placas activas, el cratón sudamericano y zonas de subducción de las placas de Nazca y Caribe; la convergencia relativa entre estas tres placas se manifiesta en la zona de subducción del Pacífico colombiano y a lo largo de diversos sistemas de fallas activas paralelos a los piedemontes de las cordilleras Occidental, Central y Oriental; donde, se acercan entre sí originando deformaciones en la corteza continental, actividad volcánica e intensa actividad sísmica en este territorio (Taboada et al., 1998)

Como se menciona, la placa Nazca converge hacia el este con respecto a la placa Sudamericana, a una velocidad de aproximadamente 7cm/año. Asociado con la subducción del Pacífico, Colombia presenta un arco volcánico activo segmentado en tres sectores a lo largo de la Cordillera Central: el sector del Parque Natural de los Nevados, (e.g. Volcán Nevado del Ruiz), el Sector central (Nevado del Huila, Grupo volcánico Puracé-Doña Juana), y el Sector sur (Grupo volcánico Galeras-Cerro Negro) (Taboada et al., 1998)

En este orden de ideas, se puede definir que la tectónica del sector sur, corresponde al departamento de Nariño en la zona centro oriental, enmarcada por la convergencia de la cordillera Occidental, Central y Oriental, lo cual se conoce como Nudo de los Pastos, este contexto se complementa con el estrechamiento y levantamiento de las depresiones interandinas del Valle del Magdalena y del Cauca – Patía.

• Unidades de geología para ingeniería UGI

La evaluación y diagnóstico de la variable geológica, dentro de un espacio territorial, claramente delimitado, permite determinar parcialmente y en forma cualitativa, la oferta natural y físico espacial de la dimensión ambiental objeto de análisis.

El conocimiento del subsuelo predice en forma clara el comportamiento de las áreas superficiales, que se reflejan a partir de la calidad de las aguas superficiales, zonas con tendencia hacia la erosión estructural, riesgos naturales, anomalías minerales y de la morfología que demuestran en contextos de formación de montañas.

La ocurrencia de movimientos en masa está condicionada a las características geomecánicas del subsuelo, debido al modelo de predicción a aplicar, se reconocen primero las unidades geológicas superficiales UGS que corresponden a un conjunto homogéneo de materiales geológicos que afloran en la superficie, que provienen del mismo origen y conservan en general las mismas características físicas y de comportamiento geomecánico.

Salazar (1995), considera a las unidades geológicas como “formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre y por lo tanto son unidades cartografiables”. INGEOMINAS, redefine la clasificación propuesta por los anteriores autores y propone dividir la clasificación con base en el tipo de material, grado de meteorización, índice de fracturamiento, índice geológico de resistencia (G.S.I), dureza o resistencia de los materiales; como suelo residual, roca (blanda, intermedia o dura), y suelos transportados (INGEOMINAS, 2004).

Las unidades de geología para ingeniería UGI se caracterizaron y cartografiaron con enfoque ingenieril de acuerdo a sus características físico – mecánicas, clasificándose según a las recomendaciones del Servicio Geológico Colombiano. (SGC, 2017).

Para la construcción cartográfica y caracterización de las UGI se realizó trabajo de campo, mediante el cual se describieron estas unidades a partir de cinco parámetros importantes, tales como litología, propiedades ingenieriles, grado de meteorización, y rasgos estructurales. Así mismo, se usó como insumo las descripciones litológicas y las columnas levantadas de las perforaciones que se realizaron en la etapa de exploración geotécnica para complementar la construcción de la cartografía temática y realización de perfiles geológicos, como se observa en el mapa de la figura.

Para la clasificación de la matriz rocosa, se analizan aspectos como:

- Composición mineralógica: Permite clasificar litológicamente la roca y determinar su origen.
- Tamaño y forma de los granos: La estimación del tamaño de grano se realiza normalmente de manera visual y se emplean los mismos términos descriptivos utilizados para suelos.
- Color: Se puede describir de manera semejante al de los suelos, dando un color principal seguido de uno secundario.
- Estado de meteorización: Es importante debido a que condiciona de forma definitiva las propiedades físicas y mecánicas de la roca. Se describen en términos de decoloración, descomposición química o desintegración física.

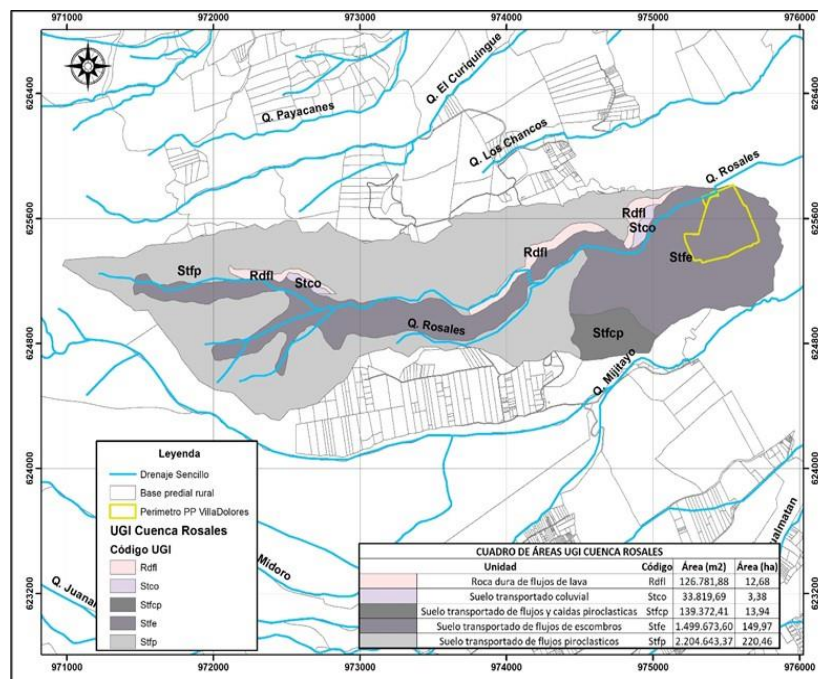


Figura 23. Mapa de unidades geológicas superficiales UGS
Fuente: Claudia Juajinoy

- Resistencia: Puede ser estimada en el afloramiento mediante índices de campo o a partir de correlaciones con datos proporcionados por sencillos ensayos de campo como el martillo Schmidt.
- Textura o estructura: Se refiere a los granos individuales y a su arreglo, este último puede mostrar una orientación preferencial.

También se determina el horizonte de meteorización correspondiente a cada UGI de roca, debido a que cada unidad de roca posee una resistencia a la meteorización, características físicas, químicas y mecánicas diferentes (ver Figura). Para esta clasificación se consideran como rocas los niveles I, II, III, según el perfil de meteorización y en la zona de saprolito, aunque se conserva la estructura original de la roca, el material tiene características de suelo.


Vegetación	Ígnea y Metamórficas	Limolitas Y Margas	Ígneas y Areniscas	Ígneas y Metamórficas	Todas las rocas
	Hz IA Con humus	IV Alteración Completa	Suelo Residual	Zona superior	Hz 6-Suelo con Humus
	Hz IB				Hz 5-Suelo sin Humus
	Saprolito IC Roca descompuesta	IV Alteración Parcial			Hz 4- Completamente descompuesto
	Suelo de Transición	III Alteración Parcial	Residual Joven	Zona Intermedia	Hz 3-Altamente descompuesto
	Meteorización Parcial	II Alteración Parcial	Roca desintegrada	Zona parcialmente alterada	Hz 2-Parcialmente descompuesto
	Roca Sana Deere-Paton 1971	Roca Inalterada Chandler 1969	Roca sana Vargas 1951	Roca inalterada Sowers 1954-1963	Hz 1-Roca sana Duque-Escobar 2002

Figura 24. Perfil de meteorización del macizo rocoso
Fuente: Adaptación de varios autores

En la descripción de las características físicas de los suelos, estos se agrupan de acuerdo con el tamaño de grano, para el cual se utilizan dos grandes grupos de suelos: Suelos gruesos de textura granular (gravas y arenas) y suelos finos de texturas lodosas (limos y arcillas), para mayor detalle se utiliza subdivisiones del tamaño de grano usando cualquiera de los sistemas comunes de clasificación granulométrica, como la propuesta por Atterberg, 1905. igualmente la descripción textural de los suelos puede ser calibrada o más detallada sometiendo muestras a ensayo granulométrico bajo el sistema unificado de clasificación de suelos USCS.

Así mismo, se definen características generales independientemente del tamaño de grano, como génesis, composición, relación clasto-matriz, geometría de los clastos, textura, color, meteorización, plasticidad, consistencia, compacidad, condición de humedad y estructuras relictas.

Para este estudio se diferenciaron en total cinco (5) unidades de roca y suelo divididas según su origen y distribuidos por hectáreas (ha) y porcentaje, como se observa en la Figura, las cuales son Roca dura de flujos de lava (Rdfl) con un área de 12,68 ha que representa el 3.2% del área total, seguido de Suelo transportado coluvial (Stco) con un área de 3,38 ha que corresponde a 0.8% ; Suelo transportado de flujos de escombros (Stfe) con un área de 149.97 ha representa

(el 37.5%; Suelo transportado de flujos piroclásticos (Stfp) con un área de 220.46 ha corresponde a 55.1% siendo así la unidad de mayor área y por último Suelo transportado de flujos y caídas piroclásticas (Stfcp) con un área de 13.94 que representa el 3.5%.

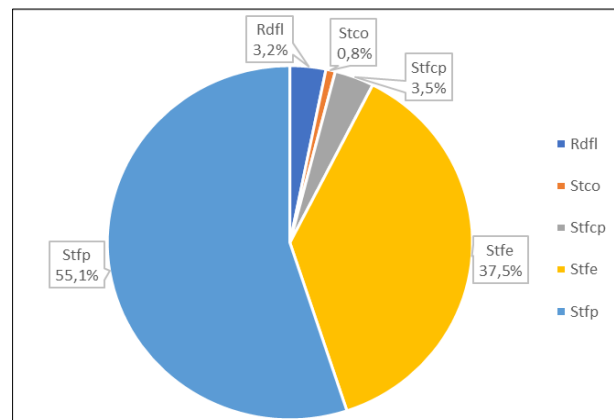


Figura 25. Representación de UGI según porcentajes en el área de estudio.
Fuente: Este estudio.

■ Unidades de roca

Roca dura de flujos de lava (Rdfl): Son rocas de carácter efusivo consolidadas, relacionadas genéticamente con los eventos eruptivos recientes del Complejo Volcánico Galeras – CVG, según Calvache et al. (1997) corresponden a los eventos volcánicos del estado Genoy, con edades aproximadas que pueden estar comprendidas entre 160 a 30 ka; aunque en el contexto local no presentan una expresión muy amplia cartográfica.

INGEOMINAS (2003) para el estado Genoy refiere dos importantes cambios morfológicos que suceden durante el transcurso de este evento, durante el segundo indica la presencia de coladas posteriores, con intercalaciones de eventos piroclásticos que rellenan la depresión de Anganoy - Obonuco confiriéndole una morfología positiva, de laderas inclinadas cercanas a los 20°, muy similar a la que se observa en la actualidad.

Litológicamente corresponden a lavas de composición andesítica, aunque puede presentar variaciones a dacitas y basaltos de manera local, afloran de manera parcial por lo tanto se hace difícil medir su espesor real, por lo observado en otros sectores como en algunas canteras cercanas, se infiere que puede alcanzar el orden de los 40 m (INGEOMINAS, 2003).

En la zona de interés, la roca es de color gris hipocrystalina, porfirítica, mesocrática, de grano medio, con una relación de fenocristales/matriz fundamental de 65/35. Los fenocristales corresponden a plagioclasa, piroxenos ligeramente orientados probablemente hacia la dirección de flujo, la matriz es afanítica de color gris oscuro a negro compuesta principalmente de vidrio. Por tanto, la roca se clasifica según Streckeisen (1976), como una andesita porfídica, tal como se evidencia en la siguiente imagen.



Figura 26 . a) Afloramiento de macizo rocoso de la unidad Rdfl, b) contacto entre las unidades Stfe y Rdfl. La flecha indica la dirección del norte.

Fuente: Este estudio

Esta unidad se encuentra al norte de la quebrada Rosales, conformando altas pendientes. Los afloramientos de esta unidad presentan variedad de diaclasas, atribuido al enfriamiento de las rocas las cuales no siempre se identifican por el fracturamiento concoideo de esta misma. El macizo se encuentra bien conservado, por consiguiente, se clasifica como roca fresca "III" según Deere y Patton (1971).

El macizo rocoso se relaciona a los grados I y II, del perfil de meteorización descrito por Dearman (1974), en algunas partes, la roca exhibe un grado de fracturamiento alto, con un espaciado de fracturas variable que va de 0.01 mm hasta 4 cm. El dato estructural de la familia principal de diaclasas es 330/16.

Sumado a lo anterior, el alto grado de fracturamiento se debe también la presencia de dos fallas para el macizo rocoso descrito, cuyos datos estructurales son 015/76 y 228/67. Los esfuerzos ejercidos por la falla, alteran el macizo rocoso generando brecha de falla.

Según el índice de resistencia a la compresión simple de Brown (1981) esta unidad es del grado de R3 a R4 y se relaciona con un Índice de resistencia geológica (GSI) de 50 a 60, del factor de GSI para macizos rocosos homogéneos (Hoek & Marinos, 2000). Por tanto, según el rango de clasificación del macizo de calidad de la roca es bueno (SGC, 2015). Lo descrito anteriormente, permite clasificar esta unidad como Roca dura de flujos de lava (Rdfl).

▪ Suelos transportados

Suelo transportado coluvial (Stco): Depósito asociado a fragmentos compuestos principalmente de flujos de lava y asociados a posibles desprendimientos de material en este sector, cuyo origen se asocia al alto diaclasamiento de la unidad Roca dura de flujos de lava (Rdfl).

Este suelo está conformada por depósitos masivos con presencia de capa orgánica, bien seleccionados, con un empaquetamiento matriz soportados. La composición del material es heterogénea, de color marrón, principalmente representada por una matriz limo arenosa, la cual recubre clastos que no superan los 5 cm. Estos materiales han sido transportados por acción de la gravedad a lo largo de las vertientes o laderas. El grado de meteorización puede variar de IV a V, según los niveles propuestos por Dearman (1974). Adicionalmente, los depósitos tienen muy baja plasticidad, una resistencia de rígida a débil y humedad moderada. A partir de las características anteriormente nombradas esta unidad se clasifica como Suelo transportado de coluvial (Stco), ver Figura.

La unidad Stco se halla en contacto discordante con las unidades Roca dura de flujos de lava (Rdfl) y Suelo transportado de flujos de escombros Stfe.



Figura 27. Stco, caracterizado por ser material heterogéneo color marrón y presencia de capa orgánica. La flecha indica dirección del norte.

Fuente: Este estudio.

Suelo transportado de flujos de escombros (Stfe): Denominada también como Flujos del sector noroccidental (Qflw), se ubica al NW de la ciudad de Pasto y se caracterizan por involucrar clastos grandes de rocas volcánicas efusivas en una matriz abundante, predominantemente limo-arcillosa, pero localmente puede presentar variaciones en cuanto al tamaño máximo de los clastos y los porcentajes de la relación clastos/matriz. (INGEOMINAS, 2003).

Depósitos originados por removilizaciones acuosas de fragmentos y agua, que desciende desde un volcán debido a la remoción de estos presentes en depósitos volcániclasticos, generalmente esta concentración de fragmentos es alta por lo cual puede denominarse lahar o flujo de escombros volcánico. Si el lahar es inducido por una erupción, el depósito se denomina depósito de lahar sin-eruptivo, pero si el lahar es inducido por factores externos posteriores a la erupción, el depósito se denomina depósito de lahar post-eruptivo (Murcia, 2013).

Estos depósitos pueden extenderse por decenas de kilómetros, y texturalmente se reconocen por su elevado espesor, ausencia de estratificación, internamente presentan una alta variabilidad en el tamaño de los bloques que pueden ser desde formas angulosas hasta redondeados, los bloques se componen de rocas volcánicas y pueden tener evidencia de roces y colisiones durante el flujo (Consortio Mijitayo, 2019).

La unidad se ubica principalmente en el valle de la quebrada Rosales, el cual se caracteriza por ser estrecho con laderas escarpadas en la parte alta y hacia la parte baja este se dispersa a manera de abanico, donde se presenta el cambio de pendiente, ver Figura 10. Por esta razón, las áreas alrededor del Complejo Volcánico Galeras donde se evidencia valles de origen fluvial y zonas distales con cambio brusco de pendiente pueden ser más susceptibles a presentar eventos asociados a lahares.

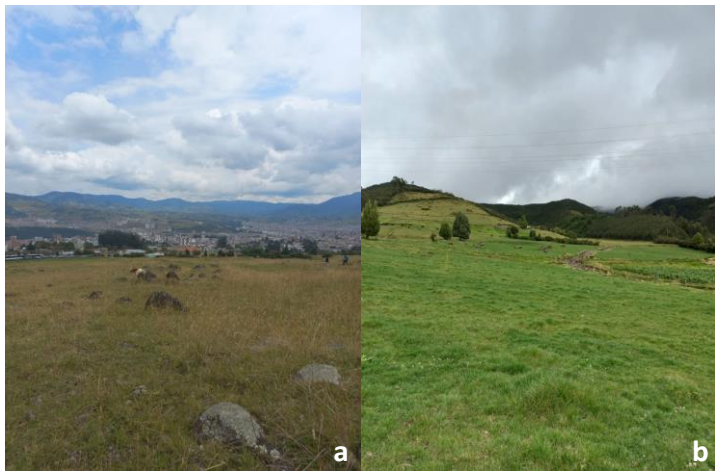


Figura 28 . a) localización de la unidad en la parte baja. b). localización de la unidad en la parte alta.

Fuente: Este estudio

Se caracteriza por ser un suelo matriz soportado con un contenido de matriz aproximado de 70% y presencia de clastos o fragmentos de 30%, de pobre a moderadamente seleccionado, aunque puede presentarse variaciones de manera local en cuanto tamaño máximo de clastos y porcentaje de clastos/matriz. La matriz se observa de textura limo arcillosa conformada principalmente por cenizas y lapilli, no presentan una gradación aparente, su empaquetamiento se observa de forma aleatoria y están muy mal seleccionados (diferencias en el tamaño de grano, desde lodos hasta cantos).

Los clastos están constituidos por rocas volcánicas efusivas que varían de 2 a 20 cm, tipo andesitas porfídicas provenientes de los flujos de lava con fenocristales de plagioclasa, piroxeno y opacos.

Los suelos de flujos de escombros presentan una coloración variable, desde un café con tonalidades amarillo a marrón; generalmente se evidencia con una condición de humedad seco y no se observan estructuras relictas. La compactación y consistencia (suelos gruesos y finos respectivamente) es moderada, según la impresión subjetiva en campo (Consortio Mijitayo, 2019).

La unidad Stfe se halla en contacto discordante con las unidades Roca dura de flujos de lava (Rdfl) y Suelo transportado de flujos de piroclásticos



Figura 29. contacto entre Stfe y Rdfl.

Fuente: Este estudio

Suelo transportado de flujos piroclásticos (Stfp): En el sector noroccidental los flujos de lodo recubren todo el substrato cartografiado como tal. Sin embargo, en las paredes de las cañadas que drenan el sector se puede observar la secuencia que los infrayace: flujos piroclásticos alternando con cenizas, lapillis y lavas hacia la parte basal, todo lo cual se relaciona genéticamente con el evento Genoy (INGEOMINAS, 2003).

La etapa Genoy está conformada por flujos de lava y depósitos de flujo piroclástico, cuyo foco de emisión posiblemente estuvo localizado al este del centro de la caldera formada en la etapa Caba Negra o a lo largo del borde este de la misma (Calvache et al., 1997).

En el área de estudio se observa un área extensa de flujos piroclásticos, generalmente de forma superficial, suprayaciendo la unidad denominada roca dura de flujos de lava (Rdfl); a veces, estos depósitos conforman un tipo de ignimbrita no soldada, por esta razón es que se denomina suelo transportado.

Esta unidad se caracteriza por ser un suelo transportado de origen volcánico, conformado por depósitos de colores entre marrón a café ligeramente oscuro. Así mismo, se establece que este material se encuentra en el nivel del perfil de meteorización que varía entre III a IV, con un tamaño de grano de arena media a grava, una resistencia a la compresión moderada, una plasticidad baja, con una condición de humedad de seco a húmedo y una resistencia del suelo débil, ver Figura 12. Es por estas características que la nomenclatura de la unidad es Suelo transportado de flujo de piroclastos (Stfp).

La unida Stfp se halla en contacto discordante con las unidades Roca dura de flujos de lava (Rdfl) y Suelo transportado de flujos de escombros Stfe.

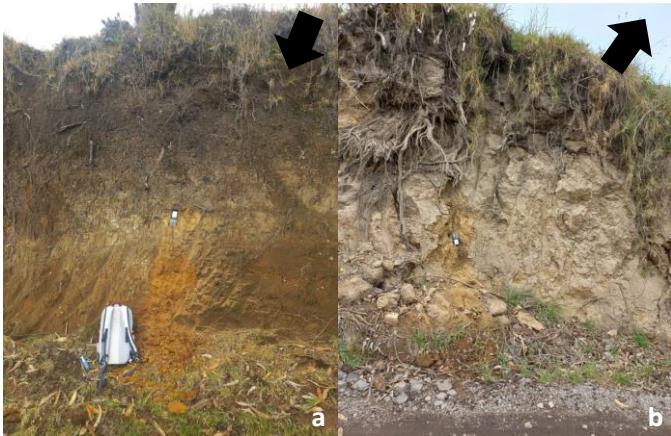


Figura 30. a y b. Suelo transportado de flujo de piroclastos (Stfp), con presencia de capa orgánica y ceniza
Fuente: Este estudio

Suelo transportado de flujos y caídas piroclásticas (Stfcp)

Depósitos de origen volcánico asociados al Complejo Volcánico Galeras, aunque no se descarta que también pueda corresponder a otros volcanes cercanos, caracterizado por material areno limoso con espesores que pueden variar a decenas de metros, compuesto por intercalaciones de cenizas y lapilli generalmente de tamaño fino. Este material se compone principalmente de fragmentos de cuarzo, biotita, pumita, moscovita, plagioclasa y anfíboles, con formas que van de subredondeadas a subangulares, de esfericidad media, sin gradación, con un rango de tamaño de clastos que van desde arena fina a gravas gruesas de cuarzo, con estado de meteorización moderada y compacidad débil (suelto). Se presenta piroclastos de tamaños que varían entre centímetros y varios metros.

El color que se observa en estos suelos es de un café claro pálido, aunque puede variar entre marrón a moderadamente amarillento, presentan una condición de humedad seco, y no se observan estructuras relictas además de la estratificación aparente entre los cambios de tamaño de grano anteriormente mencionados (Consortio Mijitayo, 2019).

La unidad Stfcp se halla en contacto discordante con las unidades de Suelo transportado de flujo de piroclastos (Rdfl) y Suelo transportado de flujos de escombros Stfp,



Figura 31. Suelo transportado de flujos y caídas piroclásticas Stfcp. La flecha indica dirección del norte.
Fuente: Este estudio

2.1.5 Marco Geomorfológico

La geomorfología se establece como uno de los factores de mayor relevancia para el análisis de la evolución del territorio y la ocurrencia de procesos con características definidas. El mapa geomorfológico propio de un territorio tiene como objetivo fundamental establecer un registro de información de cada una de las formas del terreno identificadas a una escala específica de trabajo, considerando los materiales y estructuras geológicas que las conforman e integrando además el análisis de los procesos superficiales que actúan sobre estas a través del tiempo, de tal forma que se logre entender la historia evolutiva del paisaje de un área específica. (SGC, 2017).

Según la jerarquización geomorfológica de (Carvajal, 2012), para un estudio detallado, se debe considerar el elemento geomorfológico 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 microrelieves asociados con una característica litológica con base en análisis detallados, como se observa en la Figura.

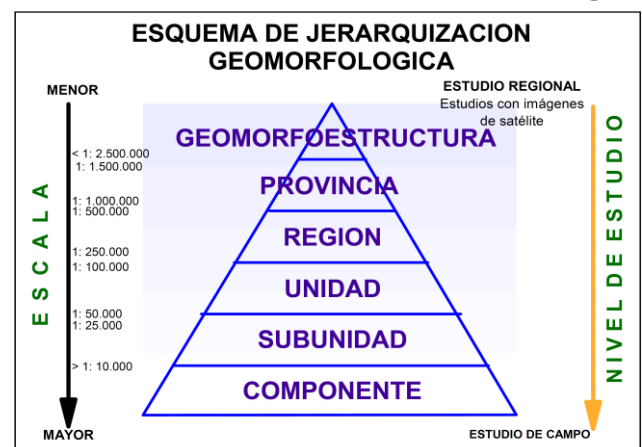


Figura 32. Esquema de jerarquización geomorfológica

Fuente: Carvajal (2012)

Los rasgos geomorfológicos del área del Plan Parcial Villa Dolores son complejos debido a que hacen parte del Nudo de los Pastos, denominado por Murcia y Cepeda (1991) como un macizo montañoso el cual presenta geoformas variadas producto de las diferentes unidades geológicas y depósitos superficiales de distintos ambientes morfogenéticos.

El paisaje actual se modeló a partir del desarrollo de grandes flujos de lodo, alternantes con eventos de caídas piroclásticas procedentes del edificio del Complejo Volcánico Galeras por el occidente, como de las zonas orientales que durante todo el Cuaternario han constituido fuertes relieves topográficos en la ciudad de Pasto (INGEOMINAS, 2003).

▪ Evolución geomorfológica reciente del Complejo Volcánico Galeras (CVG)

A escala regional se puede definir características geomorfológicas variadas, algunas asociadas a los principales eventos eruptivos recientes del Complejo Volcánico Galeras - CVG, Complejo redefinido por Calvache (1995) donde además de incluir los diferentes materiales de origen volcánico como el cono de escorias denominado La Guaca, define diferentes etapas o estados en la evolución del CVG. Esta agrupación, aunque presenta divisiones informales, se encuentra dividida en seis etapas diferentes que corresponden a los siguientes estados desde el más antiguo al más reciente: Cariaco, Pamba, Coba Negra, Genoy, Urcunina y Galeras propuesto por Cortés, G. P., & Calvache, M. L. (2002), en la Figura con una evolución de miles de años, se identifica los estados eruptivos.

Con el análisis de la información respecto a las etapas o estados del CVG, el área de estudio del Plan Parcial Villa Dolores se encuentra sobre los depósitos del Estado Genoy, como se observa en la Figura 6, estos depósitos se encuentran ocupando la mayor parte de la zona occidental del área urbana del Municipio de Pasto, misma zona donde se ubica el sector que comprende el proyecto, por esta razón se hace énfasis en la información de este estado.

Estado Genoy: Es la segunda etapa más grande en el CVG, la mayoría de afloramientos son explotados como canteras de material para la construcción. Su actividad inicial fue hace 159 ka cuyo registro es una secuencia de flujos de lava intercalada con depósitos de flujo piroclástico de ceniza, posteriormente se dio erupciones con formación de caldera y espesas secuencias de flujos piroclásticos con edades mayor a 40 ka, la actividad más reciente consistió en erupciones de lava y depósitos piroclásticos de menor volumen (Cortés, G. P., & Calvache, M. L., 2002).

INGEOMINAS (2003) determina una edad de 160-30 ka para el estado Genoy y se refiere a dos importantes cambios morfológicos suceden durante el transcurso de este evento:

- Una colada de lava, muy temprana en relación con el evento, procedente del centro eruptivo ubicado al occidente de la ciudad, bloquea el cauce del río Pasto a la altura del barrio Las Terrazas de Briceño, generando un lago que ocupaba la zona plana que actualmente corresponde a los barrios, Briceño, Villa Campestre y Pandiaco, entre otros.

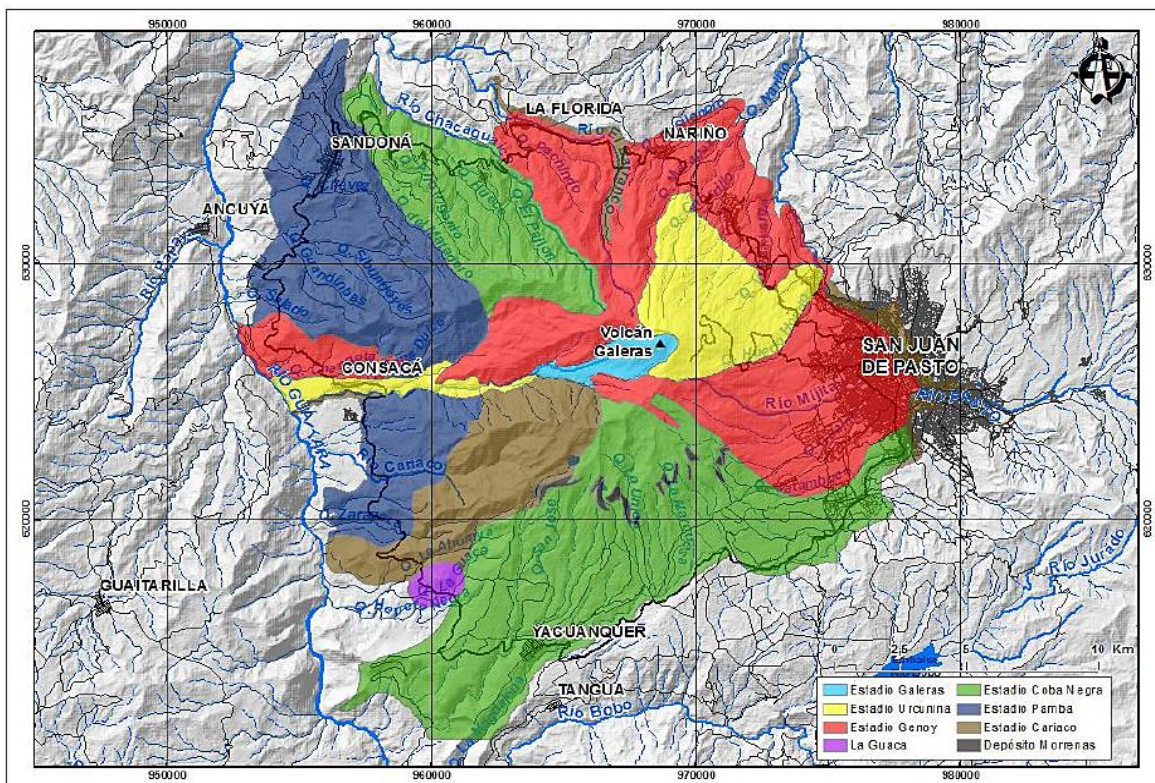


Figura 33. Etapas o estados del Complejo Volcánico Galeras
Fuente: Cortés y Calvache (2002)

- Coladas posteriores, con intercalaciones de eventos piroclásticos, rellenan la depresión de Anganoy - Obonuco confiriéndole una morfología positiva, de laderas inclinadas cercanas a los 20°, muy similar a la que se observa en la actualidad.

■ Unidades geomorfológicas a nivel regional

Las unidades identificadas en el área de estudio y sus alrededores, los nombres y definiciones de estas geoformas fueron tomadas de la propuesta de estudios “Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa de escala 1:100.000” (Servicio Geológico Colombiano y Universidad Nacional de Colombia, 2015).

Dentro de las unidades identificadas en la propuesta indican que el ambiente volcánico es el que predomina en el área, son geoformas originadas por procesos asociados a la actividad volcánica del Terciario y Cuaternario, relacionadas a erupciones efusivas que permite la expulsión y acumulación de productos y posteriormente remoción de estos mismos. Aunque en la propuesta escala 1:100.000 se identifican otros ambientes de origen de las geoformas, para efectos de este estudio se describirán aquellas que se encuentran presentes en el área delimitada, como se muestra en el mapa de l

Flujo de lava (Vfl): Lóbulo alargado y festoneado localmente hacia el frente, se encuentra limitado por escarpes de diferente altura, con pendientes y formas de laderas variadas que dependen de la composición, viscosidad, volumen del magma emitido y topografía preexistente sobre la que se depositó. Su génesis está asociada a la extrusión y posterior enfriamiento de flujos de lava. Las geoformas dentro de la zona aledaña al área de estudio corresponden a depósitos volcánicos del plioceno–pleistoceno y Cuaternario.

Son unidades que presenta de media a baja densidad de movimientos en masa, ubicados principalmente al oeste del volcán Galeras, muchas veces se encuentran intercalados con otros materiales volcánicos.

Flujo piroclástico aterrazado (Vfp): Lóbulos alomados de aspecto tabular con laderas casi verticales, las cimas son planas a suavemente inclinadas, se localizan principalmente paralelos a los ríos que los limitan. Su génesis se asociada a la acumulación de materiales de flujos piroclásticos que van elevando su topografía a medida que la corriente hídrica va erosionando y recobrando su cauce.

Muchas de estas geoformas presentan baja densidad de movimientos en masa, donde predominan los deslizamientos de tipo rotacional.

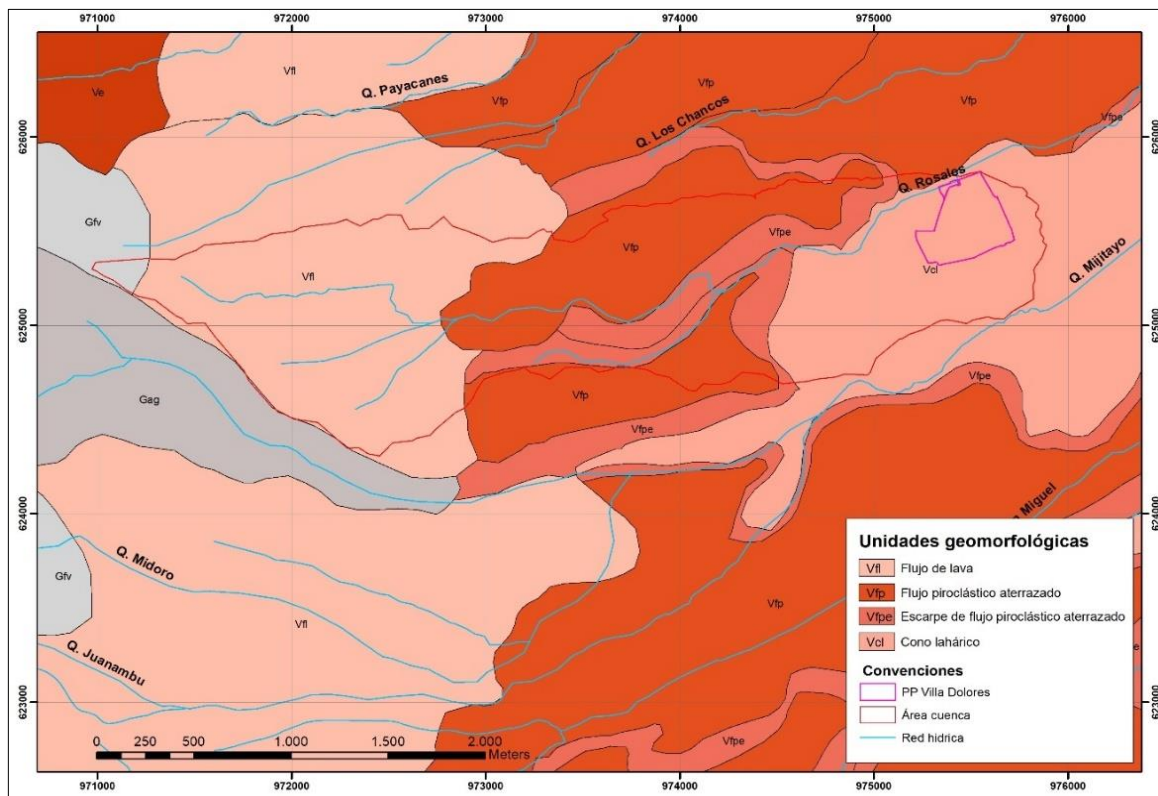


Figura 34. Unidades geomorfológicas a escala regional
Fuente: Adaptado de SGC y UNAL (2015)

Escarpe de flujo piroclástico aterrazado (Vfpe): Ladera casi vertical que puede variar de longitud y altura, con forma de ladera cóncava o convexa, presente en los bordes de la superficie de remanentes de un depósito de un flujo piroclástico. Su génesis está asociada a la erosión y socavación de los depósitos de flujo piroclástico.

se asocia principalmente a deslizamientos rotacionales y flujos, por lo tanto estas unidades presentan una densidad media a estos eventos.

Cono lahárico (Vcl): Geformas asociadas a la acumulación de productos volcánicos previamente depositados o generados durante la erupción principalmente del Galeras, estos productos volcánicos han sido mezclados o removidos por cuerpos de agua superficiales (ríos y deshielos), cuando el material llega a zonas de valles amplios pierde energía y se deposita sobre la corriente por la cual viene canalizado. Estos depósitos presentan un alto grado de alteración y ausencia de cobertura vegetal.

Son unidades con baja densidad de movimientos ya que presenta una morfología suave y bajas pendientes, sin embargo la acción antrópica y falta de cobertura vegetal puede aumentar la susceptibilidad a caída de detritos y rocas.

2.1.6 Elementos Geomorfológicos a detalle

La cartografía de elementos geomorfológicos (EGMF) con fines de análisis de amenaza y evaluación de riesgo por movimientos en masa se realizó tomando en cuenta la metodología SGC (2015) y la jerarquización geomorfológica de Carvajal (2012), donde el elemento geomorfológico está definido por los rasgos del relieve, por la morfometría detallada del terreno y por los microrelieves asociados con una característica litológica con base en análisis detallados. Las clases de pendientes fueron determinadas a partir de los índices de inclinación de ladera propuestos por Carvajal (2012) como se analiza en la Tabla, los cuales fueron usados para el presente estudio y determinar el nombre de las geformas..

Inclinación	Descripción
< 5°	Plana o suavemente inclinada
6 – 10°	Inclinada
11 – 15°	Muy inclinada
16 – 20°	Abrupta
21 – 30°	Muy abrupta
31 – 45°	Escarpada
> 45	Muy escarpada

Tabla 11 . Índice de inclinación de ladera
Fuente: Carvajal,2012

La pendiente del terreno se calculó a partir del Modelo de Elevación Digital de 5m pixel para el área de influencia de la cuenca Rosales, para el área delimitada del Plan parcial se realizó a partir del DEM de 1 m pixel de Empopasto, en la Figura que es el Mapa de Pendientes se observa la espacialización de las pendientes presentes en el área de estudio a partir del DEM de 5 m.

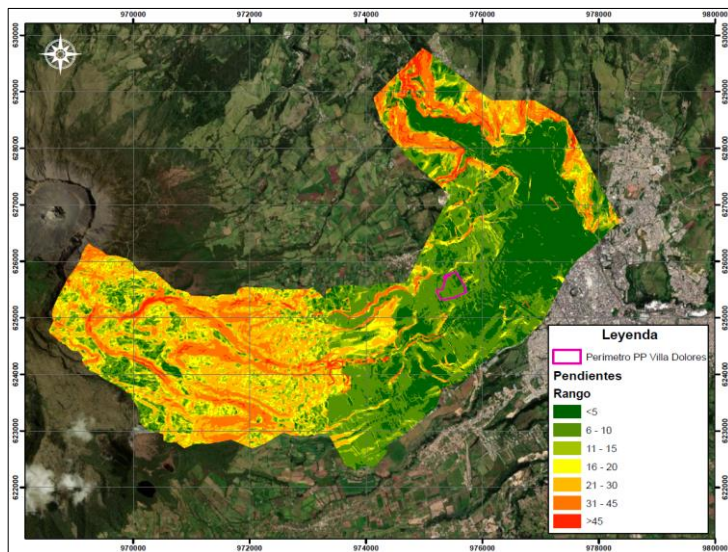


Figura 35. Mapa de pendientes
Fuente: Este estudio

De acuerdo a la información temática levantada en campo, las principales geformas del área de estudio del Plan Parcial Villa Dolores se asocian principalmente a ambiente volcánico, volcánico-fluvial, denudacional y antropogénico, elementos geomorfológicos como laderas clasificadas de acuerdo a la pendiente con rangos de escarpada a inclinada de origen volcánico, coluviales y superficies de explanación generadas para la adecuación del terreno en la construcción de vías, los elementos de origen volcánico y volcánico-fluvial son los que más dominan en el área.

Para el nivel detallado de este estudio se diferenciaron once (11) elementos geomorfológicos distribuidos por hectáreas (ha) y porcentaje, como se observa en la Figura 18, en el área de estudio se encuentra los siguientes: Superficie de explanación (Asp) con un área de 0.89 ha que representa el 0.2% del área total; Coluvial (Dco) con un área de 3.38 ha que simboliza el 0.8%; seguido de Lóbulo de flujo de escombros (Vlfe) con un área de 148.25 ha corresponde al 37.0% siendo el elemento de mayor área en la zona, Escarpe de flujos de lava (Vefl) con un área de 12.22 ha que simboliza el 3.1%, Ladera muy abrupta de flujos de lava (Vlmafl) con un 2.03 ha de área que corresponde al 0.5%, Escarpe de flujos y caídas piroclásticas (Vefcp) con un 2.3 ha de área que representa el 0.6%, Ladera inclinada de flujos y caídas piroclásticas aterrazados (Vlifcp) con un área de 11.91 ha que representa el 3.0%, Escarpe de flujos piroclásticos (Vefp) con un 5.01 ha de

área que simboliza el 1.3%, Ladera muy abrupta de flujos piroclásticos (Vlmaf) con un área de 14.69 ha que representa el 3.7%, seguida de Ladera abrupta de flujos piroclásticos (Vlaf) con un área de 127.93 ha corresponde a 31.9% y por último Ladera inclinada de flujos piroclásticos aterrizados (Vlif) con un área de 71.84 ha que representa el 17.9%.

Son unidades con baja densidad de movimientos ya que presenta una morfología suave y bajas pendientes, sin embargo la acción antrópica y falta de cobertura vegetal puede aumentar la susceptibilidad a caída de detritos y rocas.

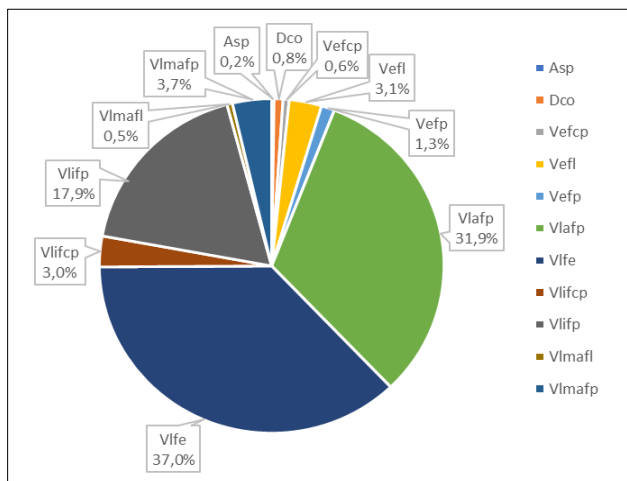


Figura 36. Representación de Elementos Geomorfológicos según porcentajes en el área de estudio
Fuente: Este estudio

Para la realización del inventario de elementos geomorfológicos se empleó el formato de campo del Servicio Geológico Colombiano de Caracterización de geoformas en geomorfología aplicada recomendada en la guía metodológica 2016. Igualmente se realizó la salida gráfica para la clasificación de estos once (11) elementos geomorfológicos a partir de los diferentes insumos como ortofotos del área, DEM, Curvas de nivel, hillshade y mapa de pendientes, además de la información recolectada en campo, lo cual se describe a continuación y como se observa en la Figura que es el Mapa de Elementos Geomorfológicos.

■ Ambiente antropogénico:

Geoformas producto de la intervención humana sobre el suelo, con el objeto de realizar adecuaciones del terreno para construcción de vivienda, obras de ingeniería o disposición de escombros, para lo cual se modifica la morfología natural del paisaje.

Superficie de explanación (Asp): Elemento de superficie plana de nivelación o terrazo con pendientes planas a inclinadas, con forma de ladera rectilínea e índice de relieve muy bajo, este tipo de corte se realizan en el terreno para el desarrollo de vías de comunicación, obras de infraestructura, los cuales terminan generando un corte horizontal disminuyendo la pendiente del terreno y una explanación de la geoforma preexistente; dicho elemento se encuentra sobre suelo transportado de flujo piroclástico con partículas tamaño limos y arcillas, asociado a cenizas y lapilli.

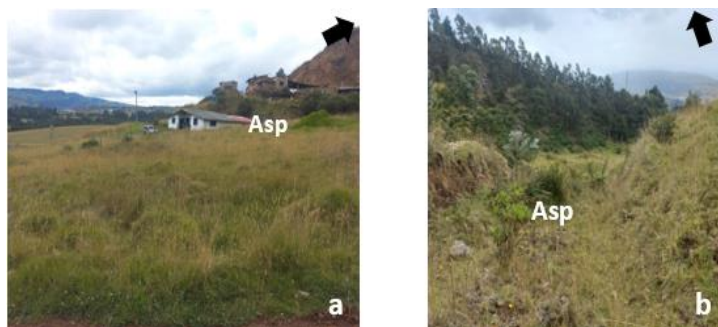


Figura 37. a y b. Superficie de explanación la cual se realizó para construcción de viviendas.
Fuente: Este estudio

■ Ambiente denudacional

Geoformas que ocurren en la vertiente como resultado de procesos exógenos moderados o intensos como meteorización, erosión, transporte y depositación de material gravitacional o pluvial, que actúa sobre las geoformas preexistentes, suavizándolas y produciendo paisajes de baja altura, formas irregulares, cubiertas por suelos transportados y depósitos asociados a procesos erosión y remoción.

Coluvial (Dco): Estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja; su origen es relacionado a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente limo-arcillosa,



Figura 38. a. Cono y lóbulo coluvial y de soliflujo. b. Cono y lóbulo coluvial y de soliflujo en contacto con la unidad escarpe de flujo de lava.
Fuente: Este estudio.

■ Ambiente volcánico fluvial

Geoformas que se desarrollan sobre depósitos volcanoclasticos que son transportados y se depositan cuando la corriente de un cuerpo de agua pierde su capacidad de arrastre, a partir de la acción climática se degrada el terreno, lo meteoriza, erosiona y entalla, hasta producir morfologías de expresión redondeada a relativamente suave.

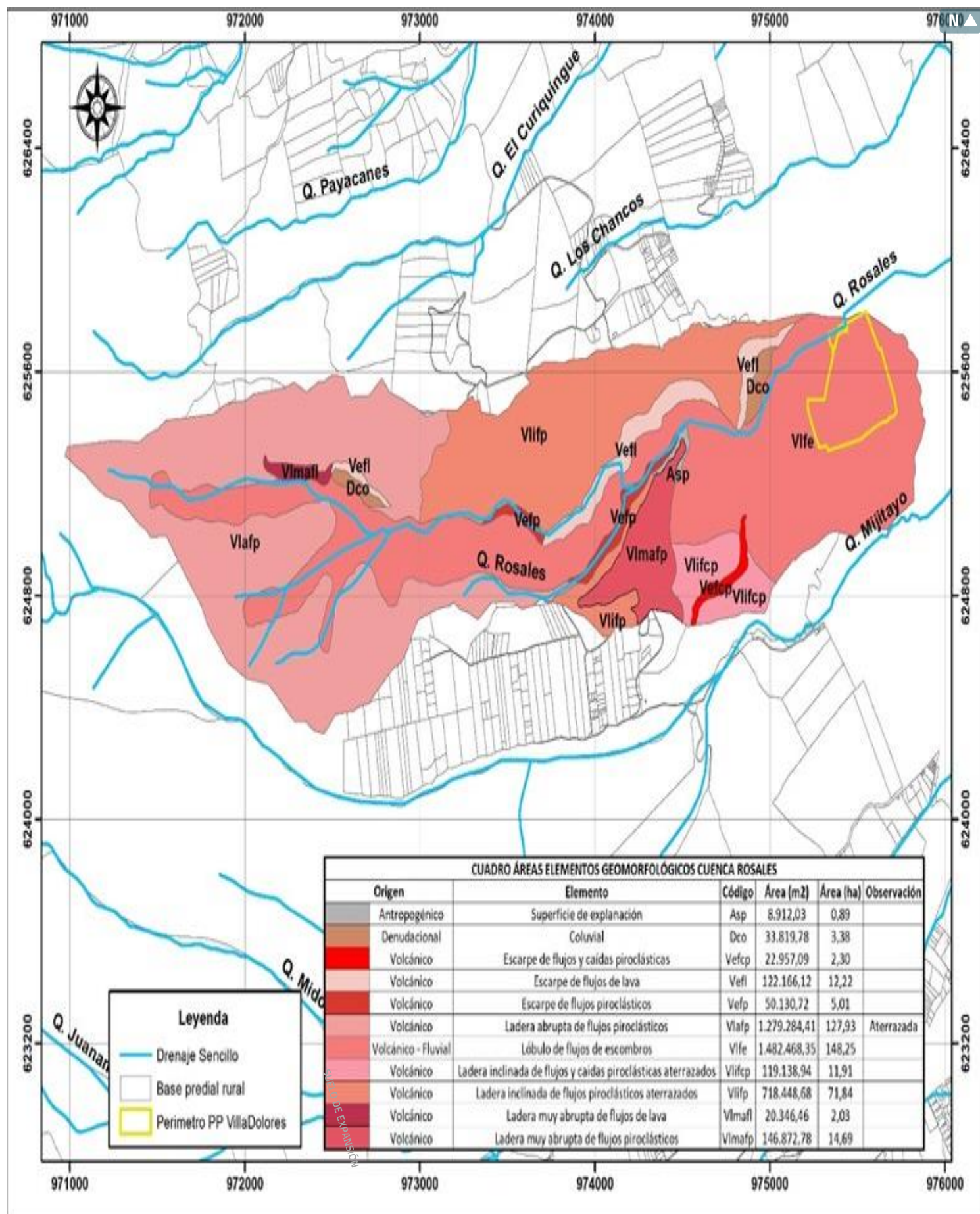


Figura 39. Mapa de elementos geomorfológicos EGMF

Fuente: Claudia Juajino

Lobulo de flujo de escombros (Vlfe): Elemento conformado por superficies elongadas, planas a onduladas, se encuentran sobre sedimentos aluviales y limitadas por escarpes de diferente altura caracterizados por lavas meteorizadas. Exhiben una morfología elongada a lo largo del trazo de cauces sobre los cuales se canalizan para finalmente culminar con formas lobulares o redondeadas en la zona baja de la cuenca a modo de abanico.

Su origen está relacionado a la erosión y acumulación de materiales transportados por los drenajes dentro de antiguas llanuras de inundación. Morfométricamente son geoformas que presentan una topografía de muy baja pendiente y su material se encuentra poco consolidado en sectores donde se presenta una mayor acumulación que erosión, razón por la cual no presentan una alta densidad de movimientos en masa.

Dentro del área esta geoforma se prolonga a manera de flujo hacia la parte media de la zona, dispuesto a lo largo y ancho del valle de la quebrada Rosales, estos flujos de lahar tienen una morfología en planta elongada, a manera de lóbulos o lenguas, las cuales tomaron la configuración del relieve irregular de las quebradas, ver Figura 22.



Figura 40 . Lóbulo de flujos de escombros (Vlfe) en contacto con la unidad ladera abrupta de flujos piroclásticos (Vlafp) y escarpe de flujos piroclásticos (Vefp) en las zonas altas (Oeste). b. Lóbulo de flujos de escombros (Vlfe) en las zonas bajas (Este).

Fuente: Este estudio.

▪ Ambiente volcánico

Geoformas que se originan a partir de la depositación de materiales provenientes de la actividad volcánica de la región, se asocia principalmente a material proveniente de erupciones explosivas que cubren la topografía pre-existente o rellenan depresiones del terreno., para lo cual se modifica la morfología natural del paisaje..

Escarpe de flujos de lava (Vefl): Corresponde a elementos de forma cóncava o convexa con ángulos de pendiente mayores a 30° de inclinación y longitudes de ladera cortas menores a 120 m; su origen está relacionado al enfriamiento y reología de flujos de lavas que se encuentran en la zona que fueron probablemente incididos por procesos erosivos asociados a la quebrada Rosales. Se caracteriza por desarrollo de suelos hacia el techo de las lavas en algunos sectores y rocas con un grado de fracturamiento medio, se ubican principalmente hacia el margen izquierdo o norte del valle de la quebrada Rosales,

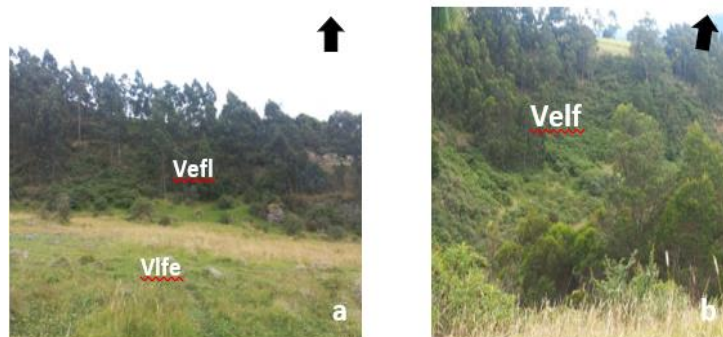


Figura 41: a. Escarpe de flujo de lava (Vefl) en contacto con la unidad lóbulo de flujos de escombros (Vlfe). b. Escarpe de flujo de lava (Velf).

Fuente: Este estudio.

Ladera muy abrupta de flujos de lava (Vlmafl): Laderas irregulares de forma cóncava o convexa con rangos de inclinaciones entre los 21° y 30° y longitudes de ladera cortas menores a 52 m; su origen está relacionado al enfriamiento de flujos de lavas de la zona que fueron retrabajados por procesos erosivos asociados a la quebrada Rosales con un grado de meteorización moderado y fracturamiento medio. Se ubica en el lado izquierdo del margen de la quebrada Rosales hacia la cabecera del cauce,. La cobertura vegetal de las laderas es predominantemente bosques



Figura 42 Ladera muy abrupta de flujos de lava (Vlmafl) en contacto con las unidades como y lóbulo coluvial y de soliflucción (Dco) y Escarpe de flujos de lava (Vefl). b. Ladera muy abrupta de flujos de lava (Vlmafl) en contacto con la unidad lóbulo de flujos de escombros (Vlfe).

Fuente: Este estudio

Figura . a. Ladera muy abrupta de flujos de lava (Vlmafl) en contacto con las unidades como y lóbulo coluvial y de soliflucción (Dco) y Escarpe de flujos de lava (Vefl). b. Ladera muy abrupta de flujos de lava (Vlmafl) en contacto con la unidad lóbulo de flujos de escombros (Vlfe).

Fuente: Este estudio.

Escarpe de flujos y caídas piroclásticas (Vefcp): Elemento de ladera casi vertical cuyos ángulos de inclinación son mayores a 30°, longitud de ladera corta entre 20 m a 60 m e índice de relieve bajo, su formación está relacionada con la incisión y socavación de la corrientes hídricas en los depósitos, el material es de origen volcánico caracterizado por textura areno limosa con diferentes espesores compuesto por intercalaciones de cenizas y lapilli, presente en los bordes de la superficie de remanentes de un depósito de un flujo piroclástico. Se encuentra ubicado hacia el sector sur de la quebrada Rosales en el área, en cercanías a la planta de Empopasto, ver Figura.

La cobertura vegetal de las laderas es predominantemente árboles y arbustos.



Figura 43 . a y b. Escarpe de flujos y caídas piroclásticas (Vefcp) y ladera inclinada de flujos y caídas piroclásticas aterrazados (Vlifcp).

Fuente: Este estudio.

Ladera inclinada de flujos y caídas piroclásticas aterrazados (Vlifcp):

Ladera suave levemente escalonada o ondulada de paisaje colinado con rango de inclinación entre 5° y 10°, de longitudes de ladera moderada a larga e índice de relieve bajo a moderado. su origen está relacionado con material de origen volcánico caracterizado por una textura areno limosa con diferentes espesores compuesto por intercalaciones de cenizas y lapilli en combinación con la dinámica erosiva de la quebrada Mijitayo, ver Figura . Se encuentra ubicado hacia el sector sur de la quebrada Rosales en el área, en cercanías a la planta de Empopasto.

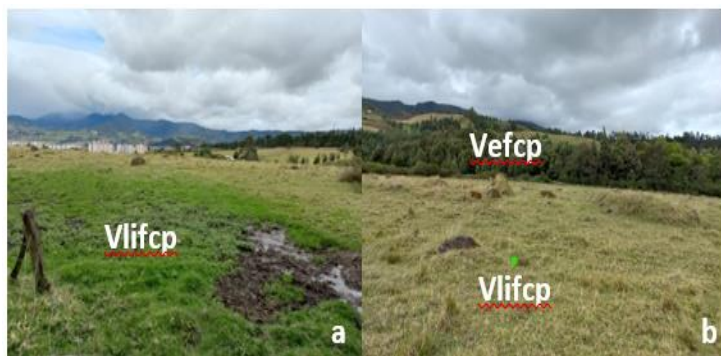


Figura 44. a. Ladera inclinada de flujos y caídas piroclásticas aterrazados (Vlifcp). b. Ladera inclinada de flujos y caídas piroclásticas aterrazados (Vlifcp) en contacto con la unidad de escarpe de flujos y caídas piroclásticas (Vefcp).

Fuente: Este estudio.

scarpe de flujos piroclásticos (Vefp):

Elemento casi vertical e irregular con una cresta que varía de plana a redondeada, cuyos ángulos de inclinación van de 35° a 75°, longitud de ladera corta entre 25 m a 74 m e índice de relieve muy bajo, esta geoforma se asocia con flujos de origen volcánico compuesto principalmente por partículas tamaño lodo (limos y arcillas) relacionado a cenizas y lapilli, y su génesis a la incisión y socavación de las corrientes hídricas en estos depósitos. Se ubican hacia la margen derecha del valle de la quebrada Rosales en el área de la parte alta de la cuenca,



Figura 45 . Escarpe de flujos piroclásticos (Vefp) en contacto con las unidades lóbulos de flujos de escombros (Vefl) y Escarpe de flujo de lava (Vefl).

Fuente: Este estudio.

Ladera muy abrupta de flujos de lava (Vlmaf):

Corresponde a laderas irregulares con rangos de inclinaciones entre los 21° y 30°, de longitudes de ladera que varían entre corta y moderada no mayores a 400 m e índice de relieve bajo, esta geoforma se asocia con flujos de origen volcánico compuesto principalmente por partículas tamaño lodo (limos y arcillas) relacionado a cenizas y lapilli. Se encuentra ubicada hacia el sector sur del área en el sector de las canteras.

La cobertura vegetal de las laderas es predominantemente pastos.

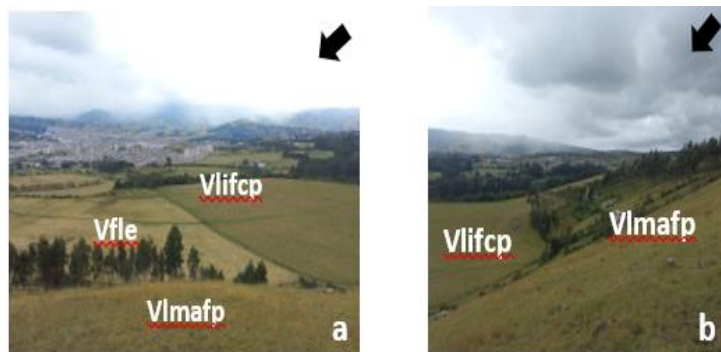


Figura.46 a. Ladera muy abrupta de flujos piroclásticos (Vlmaf) en contacto con las unidades lóbulos de flujos de escombros (Vefl) y ladera inclinada de flujos y caídas piroclásticas aterrazados (Vlifcp). b. Ladera muy abrupta de flujos piroclásticos (Vlmaf) en contacto con la unidad ladera inclinada de flujos y caídas piroclásticas aterrazados (Vlifcp).

Fuente: Este estudio.

Ladera abrupta de flujos piroclásticos (Vlafp):

Laderas irregulares con rangos entre los 16° y 20° de inclinación, de longitudes de ladera que varían entre moderada y larga no mayores a 800 m e índice de relieve moderado, ocupando una amplia área de la zona estudiada; este elemento se asocia con flujos de origen volcánico compuesto principalmente por cenizas y lapilli de tamaño limos y arcillas. Esta geoforma se ubica hacia la zona que comprende la cabecera de la quebrada Rosales hacia el occidente del área.

La cobertura vegetal de las laderas es predominantemente pastos

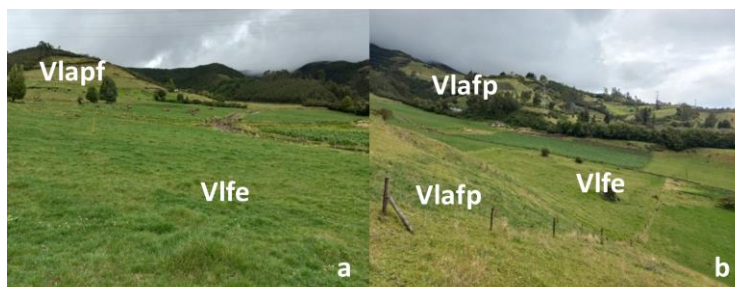


Figura . a y b. Ladera abrupta de flujos piroclásticos (Vlafp) en contacto con la unidad lóbulo de flujos de escombros (Vlfe).

Fuente: Este estudio.

Ladera inclinada de flujos piroclásticos aterrazados (Vlifp):

Ladera suave a plana levemente escalonada con rango de inclinación entre 5° y 10°, de longitud de ladera moderada a larga no mayor a 600 m. este elemento se origina de depósitos de origen volcánico compuesto principalmente por cenizas y lapilli de tamaño limos y arcillas en asociación con la dinámica erosiva de la quebrada Rosales caracterizándose por mostrar desarrollo importante de suelo. Se ubica hacia la margen izquierda o norte del valle de la quebrada Rosales.

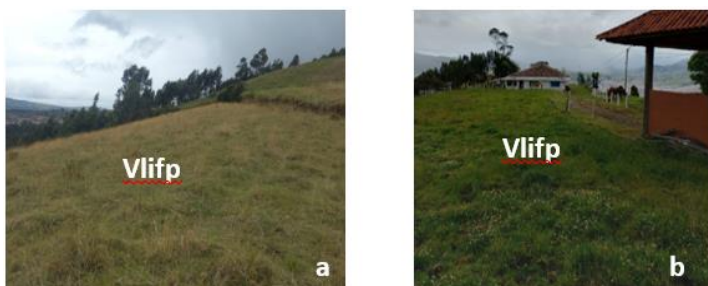


Figura 47. a y b. Ladera inclinada de flujos piroclásticos aterrazados (Vlifp). Fuente: Este estudio.

2.1.7 Uso y cobertura de suelo

El principal objetivo de la identificación del uso y cobertura de suelo existente en la zona de estudio, así como, determinar las principales características, basándose en la vegetación presente en el territorio, su distribución a lo largo del sector analizado, y la altura que esta presenta, es el de utilizarse como insumo en la evaluación de la amenaza para la remoción en masa.

Este análisis se realizará tanto en el área de influencia de la cuenca Rosales para determinar la influencia del tipo de cobertura en la generación de movimiento en masa a nivel básico, así como en el perímetro del Plan parcial Villa Lucia para determinar alguna influencia de estos movimientos en masa a nivel más detallado.

Como en las salidas graficas anteriores, el uso y cobertura de suelo para este estudio se realizó a partir del Modelo de Elevación Digital de 5m pixel para el área de influencia de la cuenca Rosales y para el área delimitada del Plan parcial se realizó a partir del DEM de 1 m pixel de Empopasto, en la Figura 31 se observa el Mapa de uso y cobertura de suelo presentes en el área de estudio a partir del DEM de 5 m.

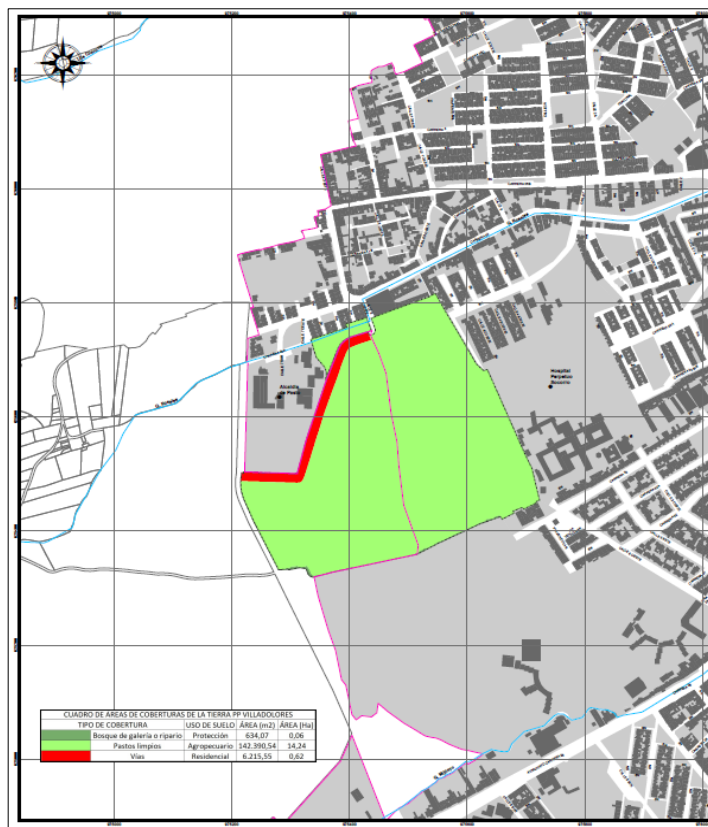


Figura 48. Mapa de uso y cobertura de suelo para Plan Parcial Fuente: Este estudio.

Elaboración: Claudia Juajino

2.1.8 Exploración del subsuelo

La exploración de subsuelo se adelantó mediante métodos directos que incluyeron sondeos y apiques manuales, de los cuales se realizó recuperación de muestras de los diferentes materiales encontrados. Así mismo, los materiales fueron descritos en campo y posteriormente sometidos a ensayos geotécnicos de clasificación por caracterización física y caracterización mecánica para la modelación y evaluación de la amenaza por movimiento en masa, tomando como base el mapa de unidades de geología para ingeniería UGI.

Además de plan de exploración definido durante este estudio, se incluyó información de algunos estudios existentes que se realizaron en la zona en años recientes y que sirven como insumo para complementar la caracterización geotécnica realizada.

■ Exploración y ensayos de laboratorio existentes

Teniendo en cuenta la información de los estudios geotécnicos realizados por el Consorcio Mijitayo en el año 2019 para el estudio de riesgo por lahar en la microcuenca de la quebrada Mijitayo, se procedió al análisis de las perforaciones y apiques que se encuentran en el área de interés del Plan Parcial Villa Dolores, en la Tabla 7 se encuentra el listado de los sondeos y apiques analizados.

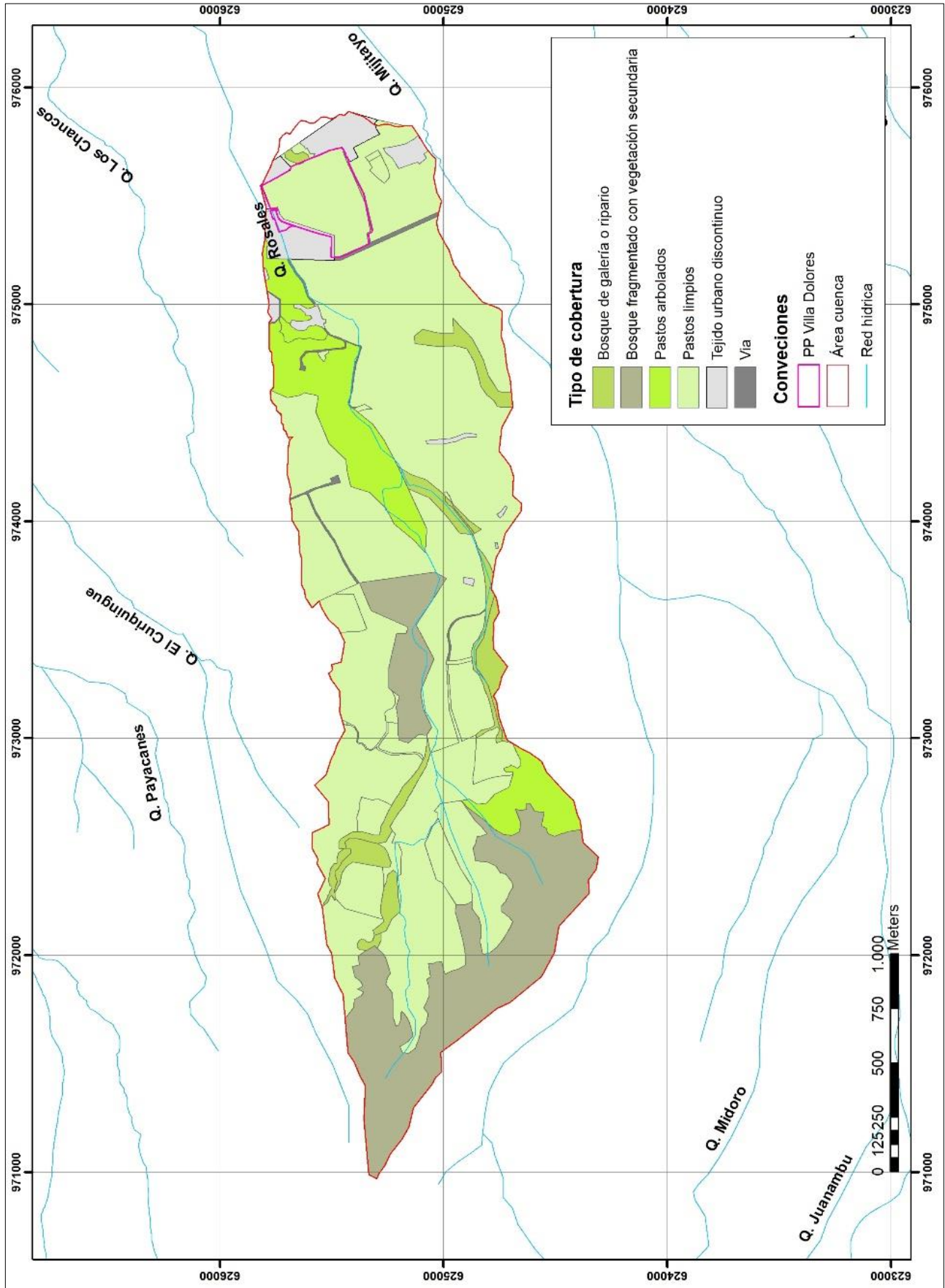


Figura 49. Mapa de uso y cobertura de suelo área de influencia cuenca Rosaes
Elaboración: Claudia Juajinoy

ID	Sondeo	Este	Norte	Prof. (m)
PM3	S3	973576	624833	9
PM5	S5	975284	625320	8
APQ2	B2	972721	624958	3
APQ4	B4	971914	625037	3
APQ5	B5	971941	625389	3
APQ6	B6	972189	624117	3
APQ10	B10	973362	625041	3

Tabla 12. Ubicación de los sondeos y apiques realizados en el año 2019
Fuente: Consorcio Mijitayo, 2019

Como característica general de los sitios de muestreo, durante la etapa de exploración no se detectó presencia del nivel freático ni en los apiques hasta la profundidad de -3.00 m, ni en las perforaciones a una profundidad de 9 m.

■ Ensayos de laboratorio

Todas las muestras recuperadas de los sondeos y apiques realizadas en el año de 2019 en el proyecto estudio de riesgo por lahar microcuenca quebrada Mijitayo, se trasladaron al laboratorio de suelos Coneresuelos S.A.S, con el objetivo de ejecutar un plan de ensayos tendiente a la caracterización mecánica y clasificación de los materiales encontrados en campo. Las Pruebas de laboratorio están normatizadas, a través de la Normatividad internacional USCS, ASTHO, ASTM y NTC, los ensayos que se realizaron se nombran a continuación:

- Límites de Atterberg
- Humedad natural
- Peso unitario seco y húmedo
- Granulometrías
- Ensayos de Corte directo
- Compresión Inconfinada

Ensayo de penetración estándar: Para los sondeos de 3 y 5 de acuerdo con los ensayos de SPT, a los 1.5 y 2.0 m se registra suelos muy firmes; así mismo, se hallaron suelos de consistencia dura a los 6.0 y 5.0 m respectivamente. El perfil estratigráfico del suelo se obtiene de los resultados de las perforaciones y los ensayos realizados en laboratorio; a continuación, se presentan los perfiles obtenidos para los sondeos S3 y S5

Muestra				Estrato	Descripción	Observaciones
Prof m	Tipo	SPT Sección 1'cu.				
1.00	10	12	14	Arenas arcillosas color café claro con vetas café. Humedad natural un poco mayor al límite plástico, compacidad media, presencia de gravillas pequeñas. Recuperación De Cuchara En El 40 y 50% Clasificación USCS - SC.	Muestra - 1	
1.50	13	15	16			
2.00	18	18	19			
2.50	20	21	22	Arcilla color café con vetas café claro y negro, de baja compresibilidad, humedad natural un poco mayor al límite plástico, consistencia que de semi dura pasa a dura, presencia de Algunas Gravillas pequeñas y Grandes, Recuperación De Cuchara En El 40 y 60% Clasificación USCS - CL.	Muestra - 2	
3.00	23	23	25			
3.50	19	19	20			
4.00	21	25	24			
4.50	26	26	32			
5.00	21	24	25			
5.50	22	25	28			
6.00	30	32	35			
6.50	40	41	45			
7.00	42	45	46			
7.50	44	45	48	Arenas arcillosas color café claro con vetas café y Amarillo, humedad natural un poco mayor al límite plástico, compacidad media, presencia de gravillas pequeñas, Recuperación De Cuchara En El 60 y 70% Clasificación USCS - SC.	Muestra - 3	
8.00	47	47	25			
8.50	24	28	26			
9.00	25	26	34	Fin De Perforacion		

Figura 50. Registro SPT para sondeo S3
Fuente: Consorcio Mijitayo (2019)

Muestra				Estrato	Descripción	Observaciones
Prof m	Tipo	SPT Sección 1'cu.				
1.00	10	9	8	Arenas arcillosas color café claro con vetas café, negro y Amarillo, humedad natural un poco mayor al límite plástico, compacidad media, presencia de gravillas pequeñas y grandes, Recuperación De Cuchara En El 70 y 90% Clasificación USCS - SC.	Muestra - 1	
1.50	12	10	12			
2.00	14	15	17			
2.50	20	15	16	Arenas limosas color café claro con vetas amarillas, humedad natural un poco mayor al límite plástico, compacidad media, presencia de gravillas pequeñas, Recuperación De Cuchara En El 50 y 80% Clasificación USCS - SM.	Muestra - 2	
3.00	21	21	25			
3.50	20	23	25			
4.00	22	25	24			
4.50	24	27	29			
5.00	32	29	30			
5.50	31	35	36			
6.00	28	24	26			
6.50	25	27	20			
7.00	30	21	25			Gravas Compactas Envolutas En Matriz Limosa Color café Claro Con Vetas Café y Negro, Compacidad Compacta, Recuperación De Cuchara En El 30 y 50% Clasificación USCS - GM.
7.50	26	26	32			
8.00	22	24	27			
Fin De Perforacion						

Figura 51. Registro SPT para sondeo S5
Fuente: Consorcio Mijitayo (2019)

Perfil estratigráfico de los apiques: En los apiques se evidenció una capa inicial que corresponde a una arcilla (CL) de baja compresibilidad, color negro a un tono grisáceo en toda la extensión de los apiques, desde 0.0 a -1.20 m de profundidad en promedio. Para el caso de los apiques APQ6 y APQ10, se encontró un material limo arcilloso (MH) de alta compresibilidad, cuyo espesor está entre 0.0 a 3.5 m.

Seguido de esta capa se encuentra un nivel de material areno arcilloso y limoso (SM-SC) de color pardo amarillento a un tono pardo verdoso, de baja plasticidad. Dicho material posee una mediana compacidad y aflora desde los 1.30 m hasta espesores de profundidad mayor o igual a 3.0 m.

Límites de Atterberg: A continuación, en la Tabla, se encuentra un resumen de los resultados de los límites de Atterberg hallados para las distintas muestras de suelos, tomadas tanto en los sondeos como en los apiques.

ID	Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Límites de Atterberg			Clasificación USCS	
				LL	LP	IP		
APQ2	B2	M1	1	N.L.	N.P.	N.P.	SM	Arena Limosa
		M2	3	44.1	23.6	20.5	CL	Arcillas de baja plasticidad
APQ4	B4	M1	1	35.6	14.5	21.1	CL	Arcillas de baja plasticidad
		M2	3	35.3	17.1	18.1	CL	Arcillas de baja plasticidad
APQ5	B5	M1	1	49.1	19.6	29.5	CL	Arcillas de baja plasticidad
		M2	3	36.0	20.6	15.5	CL	Arcillas de baja plasticidad
APQ6	B6	M1	1	56.9	35.6	22.8	MH	Limo de alta plasticidad
		M2	3	59.0	34.6	25.6	MH	Limo de alta plasticidad
APQ10	B10	M1	1	57.3	34.0	23.3	MH	Limo de alta plasticidad
		M2	3	65.4	36.5	28.9	MH	Limo de alta plasticidad

Tabla 13. Límites de Atterberg para los apiques
Fuente: Consorcio Mijitayo (2019)

Como se aprecia en la Tabla anterior, para los apiques 2, 4 y 5 los límites líquidos fueron menores al 50% y corresponden a arcillas de baja plasticidad (CL), en contraste a lo que se evidencio en los apiques 6 y 10, los cuales presentaron un límite líquido superior al 50% que corresponden a limos de alta plasticidad. En general, los materiales están conformados principalmente por limos y arcillas, consecuente con el material de origen volcánico localizado en estas áreas.

Para el caso de los sondeos S3 y S5 (ver Tabla), los límites líquidos en general fueron inferiores al 50%, lo cual indica que los suelos encontrados corresponden en su mayoría a arcillas de baja plasticidad. Por otro lado, la muestra S5 a 9 m, corresponde también a arenas limosas. En esta última, la capa superficial presenta arenas arcillosas.

ID	Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Límites de Atterberg			Clasificación USCS	
				LL	LP	IP		
PM3	S3	M1	1	34.3	19.0	15.4	SC	Arena Arcillosa
		M2	5	43.1	23.7	19.4	CL	Arcillas de baja plasticidad
PM5	S5	M1	1	30.0	15.5	14.5	SC	Arena Arcillosa
		M2	5				SM	Arena Limosa
		M3	8				GM	Grava Limosa

Tabla 14. Límites de Atterberg para los sondeos
Fuente: Consorcio Mijitayo (2019)

Humedad natural: En la Tabla, a continuación, se presentan los resultados de la humedad natural medida para cada una de las muestras tomadas en los apiques, a diferentes profundidades; en términos generales, las muestras presentaron humedad natural entre el 21 y el 34%, con un valor promedio de 26%.

ID	Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Humedad natural (%)
APQ2	B2	M1	1	33.9
		M2	3	33.9
APQ4	B4	M1	1	23.1
		M2	3	24.1
APQ5	B5	M1	1	23.7
		M2	3	24.1
APQ6	B6	M1	1	21.6
		M2	3	27.2
APQ10	B10	M1	1	26.0
		M2	3	24.7

Tabla 15. Humedad natural para los apiques
Fuente: Este estudio.

Pruebas de compresión confinada

En los resultados de los sondeos en la Tabla, se aprecia que los valores de los mismos varían entre 20 a 30% con un valor promedio de 24.5%.

ID	Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Humedad natural (%)
PM3	S3	M1	1	19.8
		M2	5	27.2
		M3	9	29.8
PM5	S5	M1	1	23.6
		M2	5	23.6
		M3	8	23.3

Tabla 16. Humedad natural para los sondeos
Fuente: Este estudio.

Peso unitario seco y húmedo: A continuación en la Tabla se presentan los valores encontrados de peso unitario seco y húmedo de las muestras tomadas para los sondeos y apiques. Para los sondeos, el peso unitario húmedo está entre 1.86 a 1.91 Ton/m³; así mismo, el peso unitario seco está entre 1.54 a 1.68 Ton/m³.

ID	Sondeo	Peso unitario húmedo (Ton/m ³)	Peso unitario seco (Ton/m ³)
PM3	S3	1.87	1.58
PM5	S5	1.90	1.54
APQ2	B2	1.90	1.58
APQ4	B4	1.86	1.68
APQ5	B4	1.91	1.67

Tabla 17 Peso unitario seco y húmedo para los sondeos y los apiques
Fuente: Este estudio.

Granulometrías: En la Tabla se encuentran los datos de las granulometrías obtenidas de las muestras de suelos tomadas en los apiques 2, 4, 5, 6 y 10 para profundidades de 1.0 y 3.0 m. De igual forma, en la Tabla 14 se presentan los datos de las granulometrías para los sondeos 3 y 5.

En la Tabla 13 se encuentran los datos de las granulometrías obtenidas de las muestras de suelos tomadas en los apiques 2, 4, 5, 6 y 10 para profundidades de 1.0 y 3.0 m. De igual forma, en la Tabla 14 se presentan los datos de las granulometrías para los sondeos 3 y 5.

c	Muestra	Prof. (m)	Análisis granulométrico - porcentaje que pasa en peso						
			Grava		Arena				M - C
			1/2	3/8	4	10	40	100	200
B2	M1	1	83.7	74.0	69.4	61.8	44.1	32.2	26.5
	M2	3	100.0	98.8	97.8	95.5	86.4	73.9	66.6
B4	M1	1		100.0	99.1	93.8	79.7	64.4	54.6
	M2	3		100.0	99.8	96.6	83.1	67.0	58.1
B5	M1	1		100.0	99.9	98.9	95.5	88.4	82.5
	M2	3			100.0	96.8	74.1	56.8	50.2
B6	M1	1		100.0	98.6	95.3	83.4	66.7	56.3
	M2	3			100.0	97.4	87.5	73.0	65.5
B10	M1	1		100.0	97.9	94.5	89.9	80.0	68.6
	M2	3			100.0	97.4	93.4	82.5	69.5

Tabla 18 . Datos granulométricos para los apiques
Fuente: Consorcio Mijitayo (2019)

Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Análisis granulométrico - porcentaje que pasa en peso									
			Grava					Arena				M - C
			1/2	1	3/4	1/2	3/8	4	10	40	100	200
S3	M1	1				96.1	95.1	91.8	84.0	63.0	47.4	39.9
	M2	5					100.0	99.8	96.7	81.1	64.3	55.3
	M3	9					100.0	98.6	89.7	69.3	49.3	41.4
S5	M1	1					100.0	93.9	83.9	57.5	42.7	37.0
	M2	5				100.0	92.4	86.3	76.2	49.8	35.1	29.4
M3	8	100	85.1	61.4	56.4	53.3	49.9	44.1	31.8	24.1	21.2	

Tabla 19 . Límites de Atterberg para los sondeos
Fuente: Consorcio Mijitayo (2019)

Ensayos de corte directo: Los resultados de los ensayos de corte directo para los apiques se presentan en la Tabla, principalmente de los apiques 2, 4, 5 y 6, que se encuentran en zonas donde la pendiente de la ladera es pronunciada, de forma que se puedan establecer el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo, necesarios para realizar un análisis de estabilidad del terreno.

Sondeo	Angulo de fricción interna (Grados)	Cohesión (Kg/cm ²)
APQ2	27.9	0.19
APQ4	23.2	0.21
APQ5	27.0	0.20
APQ6	27.0	0.18

Tabla 20. Resultados de los ensayos de corte directo
Fuente: Este estudio.

Pruebas de compresión inconfina: Para cada uno de los sondeos se extrajo una muestra con el tubo Shelby, las cuales se fallaron en laboratorio, obteniendo los resultados que se presentan a continuación en siguiente tabla

ID	Sondeo	qu (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	γw (Ton/m ³)	γd (Ton/m ³)
PM3	S3	1.62	0.81	1.87	1.58
PM5	S5	1.77	0.88	1.90	1.54
APQ2	B2	1.99	1.00	1.90	1.58
APQ4	B4	1.71	0.86	1.86	1.68
APQ5	B4	1.81	0.91	1.91	1.67

Tabla 21. Resultados de los ensayos de compresión inconfina
Fuente: Este estudio.

Los resultados muestran unos suelos que pasan de ser muy firmes a duros; las muestras extraídas no se encontraron fisuradas, siendo esto un indicativo de una muestra dura con características de suelos muy buenos desde el punto de vista geotécnico

Exploración y ensayos directos

Las muestras recuperadas de los sondeos, perforación por percusión y apiques realizadas en el transcurso de este estudio que actualmente se adelanta con el Plan Parcial Villa Dolores, se trasladaron al laboratorio de Ingeniería de suelos y cimentaciones S.A.S, con el objetivo de realizar la caracterización mecánica y clasificación de los materiales encontrados en campo. Esta exploración geotécnica se realizó en dos etapas la primera un estudio preliminar realizado en el mes de marzo del año en curso y la segunda etapa realizada durante el mes de septiembre.

En las siguientes tablas se encuentran la información de los ensayos realizados y la profundidad en las dos etapas de exploración geotécnica.

Exploraciones	Cantidad/ ID	Profundidad (m)
Apiques	7 / A-1 a A-7	3.5
Perforaciones a rotación	3 / P-1 a P-3	25.0
Perforaciones a percusión	6 / P-4 a P-9	9.0
Sondeos	5 / S-1 a S-5	5.4

Tabla . Exploraciones geotécnicas realizadas en primera etapa
Fuente: Este estudio

Exploraciones	Cantidad/ ID	Profundidad (m)
Apiques	5 / A-1 a A-5	3.5
Perforaciones a percusión	4 / SPT-1 a SPT-4	6.0

Tabla 22 . Perforaciones geotécnicas realizadas en segunda etapa.
Fuente: Este estudio

Las pruebas de laboratorio se elaboraron de acuerdo a los criterios y experiencia del consultor, a través de la Normatividad internacional USCS, ASTHO, ASTM y NTC y complementado con las normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente NSR-10, los ensayos que se realizaron fueron:

- Límites de Atterberg
- Humedad natural
- Peso unitario seco y húmedo
- Granulometrías
- Gravedad específica
- Ensayos de Corte directo
- Compresión Inconfinada

Cada una de estas pruebas y sus resultados para cada uno de los puntos realizados se encuentran en el documento anexo de ensayos y resultados de laboratorio, de las cuales se tomaron los datos para realizar los diferentes análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, incluyendo como se encuentra a profundidad el terreno y el diferente comportamiento de los materiales, como se observa en los perfiles estratigráficos.

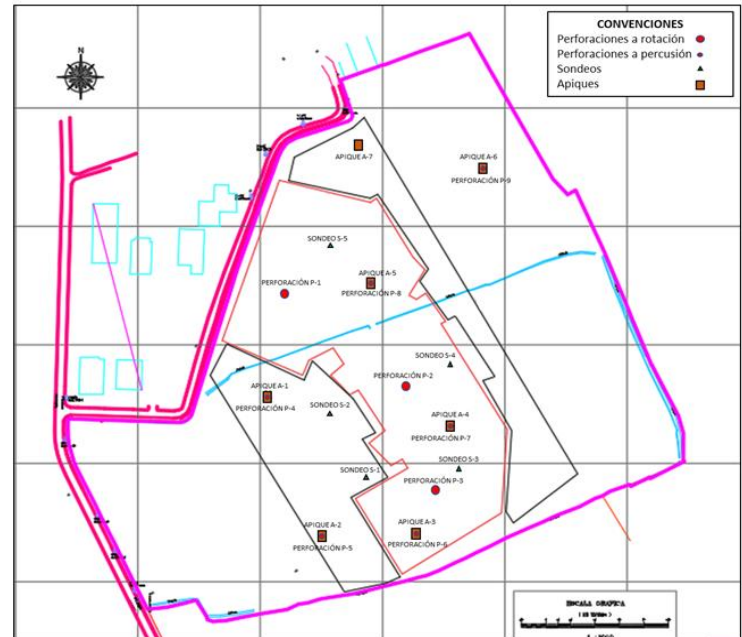


Figura 52. Localización de exploraciones de campo en la primera etapa
Fuente: Ingesuelos (2022)

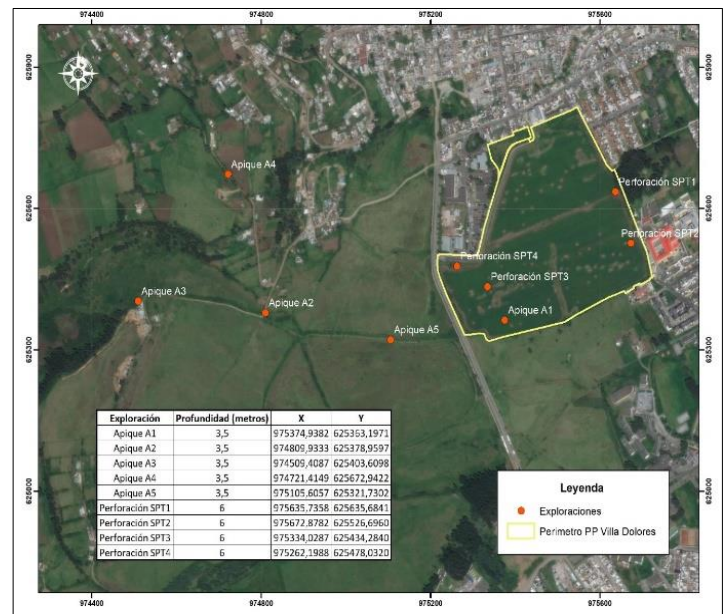


Figura 53. Localización de exploraciones de campo en la segunda etapa
Fuente: Este estudio

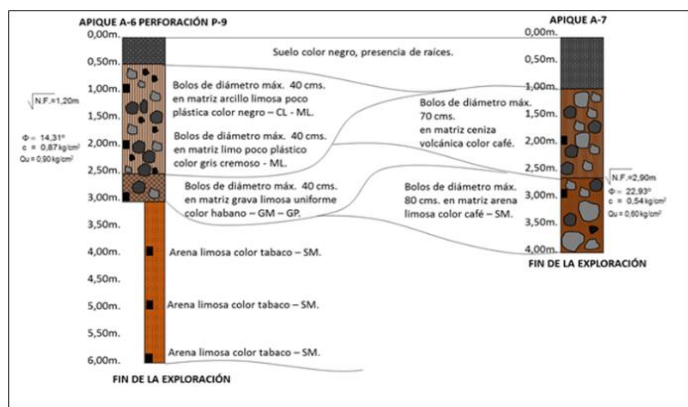


Figura 54. Ejecución de sondeos, apiques y perforaciones.
Fuente: Este estudio.

La ejecución de los sondeos, perforaciones y apiques se encamina a la descripción detallada de las diferentes unidades desde el punto de vista geotécnico y se complementó con lo hallado en la campaña de campo de geología (ver Figura). La profundidad de exploración de cada uno de los sondeos y perforaciones SPT depende del interés particular de cada sitio y también la existencia de material rocoso, el cual no permitió continuar con las perforaciones.

Cabe resaltar que en la exploración realizada donde no se encontró nivel freático a la profundidad determinada, en los análisis se considera como condición crítica y dicho nivel coincide con el de la profundidad de la superficie de falla, debido a que el nivel freático se encuentra a una gran profundidad por lo cual no se logró medir.



Figura 55 Ejecución de sondeos, apiques y perforaciones.
Fuente: Este estudio.

2.1.9. Evaluación de la amenaza

Para la evaluación de amenaza por movimientos en masa se estimaron aquellos elementos que intervienen en las modelaciones numéricas con el fin de determinar la probabilidad de falla, el factor de seguridad crítico y la caracterización de la amenaza, mediante los métodos y criterios sugeridos en la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa (SGC,2015). En el modelo utilizado para el análisis de la ruptura del talud o mecanismo de falla se tuvo consideraciones como posición de nivel freático, tipo de material, pendiente del terreno y superficie de falla.

El cálculo del factor de seguridad y probabilidad de falla se realizó para seis secciones que se consideraron las de mayor interés por su forma geométrica y por factores condicionantes como lo es geología, geomorfología la cobertura del suelo, esta evaluación se realizó mediante el modelamiento geotécnico e implementación de software para la solución de elementos finitos. Los datos utilizados para alimentar los modelos fueron obtenidos de la exploración en campo realizada.

Es de aclarar que la evaluación de amenaza por movimiento en masa, se realizó sobre los taludes que se encuentran ubicados en el área de influencia de la cuenca Rosales y que tal vez puedan ejercer algún efecto en la zona de interés del proyecto, esto sumado que dentro del área limitada como Plan Parcial Villa Dolores no se evidencia taludes.

2.1.9.1 Factores detonantes

Los factores lluvia y sismo, como determinantes de la localización de la superficie libre del agua subsuperficial y de las cargas externas debidas a un sismo respectivamente, tienen clara incidencia en la inestabilidad de las laderas, como factores que pueden desencadenar o detonar movimientos en masa, toda vez que imponen cambios en los estados de esfuerzos de las masas de suelo y roca que pueden alcanzar estados críticos y la falla de los taludes.

Los métodos que tienen como base el cálculo de la probabilidad anual de falla, como es el caso que nos ocupa, requieren considerar la temporalidad de estos factores, la cual puede expresarse en términos del período de retorno Tr. Los escenarios de factores detonantes, hacen referencia a posibles combinaciones de estos. A continuación, se describe la evaluación de cada uno de estos factores.

2.1.9.2 Lluvia

Los deslizamientos profundos se generan en la mayoría de los casos por incrementos en las presiones de poros del suelo a causa del incremento de la altura del nivel freático. Este tipo de deslizamientos ocurren generalmente con periodos de lluvia de gran duración, contrario a los deslizamientos superficiales. Por lo tanto, es necesario relacionar la variación del nivel freático con la variabilidad de la lluvia acumulada para largos periodos.

En el factor detonante lluvia, la curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) representa la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los de una misma curva, a un idéntico periodo de retorno (Chow et al, 1994). En este sentido, la Figura muestra el comportamiento de la curva IDF de la estación Obonuco para diferentes periodos de retorno en la ciudad de Pasto, que es la información considerada para el área de estudio.

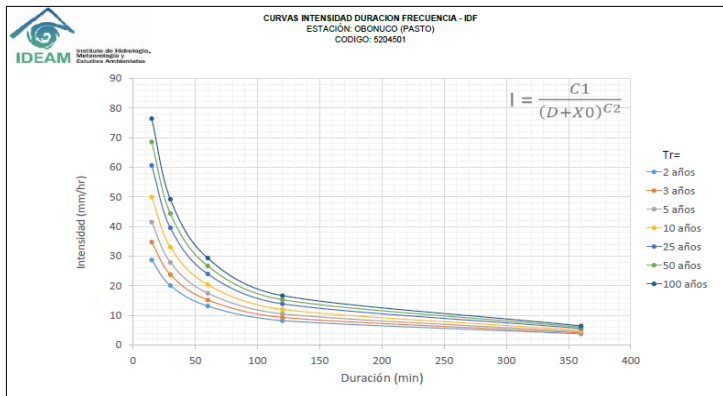


Figura 56 Curvas intensidad duración frecuencia IDF. Fuente: IDEAM, 2017

2.1.9.3 Sismo

Los sismos, como generadores de fuerzas y aceleraciones en zonas de la corteza terrestre, producen en muy corto tiempo, cambios en los estados de esfuerzos iniciales de las masas de suelo y roca, los cuales, según su magnitud, pueden detonar movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caídas, volcamiento, entre otros), que en muchos casos derivan en procesos de inestabilidad subsecuentes. Colombia, localizada en una zona de interacción entre las placas de Nazca, Cocos y Sur América, asociada con una continua actividad tectónica, que induce fracturamiento intenso a las formaciones rocosas, se caracteriza por presentar una actividad sísmica importante

El análisis de estabilidad de taludes sigue un enfoque determinístico, para lo cual es necesario incluir el efecto de la carga sísmica como una fuerza inercial horizontal mediante un análisis en condición pseudoestático, a partir del coeficiente de aceleración horizontal. Entonces, a partir de la curva de amenaza sísmica para la ciudad de Pasto que se encuentra en el Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia (SGC,2020), se puede determinar la aceleración horizontal para periodos de retorno de 31, 225 y 475 años

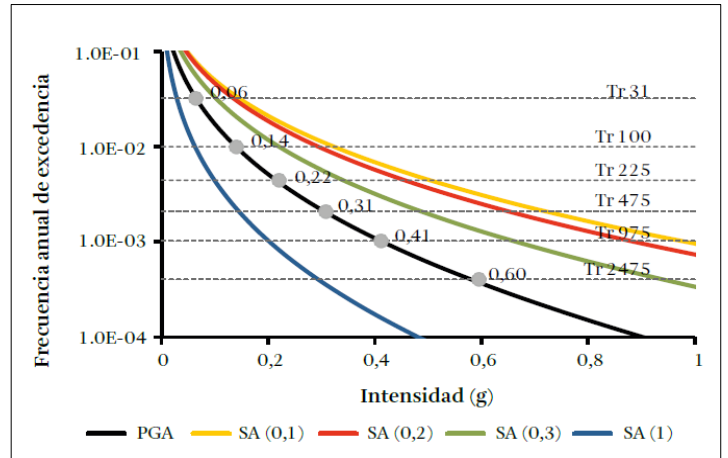


Figura . Curvas de amenaza uniforme sísmica para Pasto. Fuente: SGC, 2020

Con el objetivo de establecer los efectos que han tenido los sismos históricos registrados sobre la población, se realizó la consulta en el sistema de información de sismicidad histórica de Colombia – SISHC, para el área de interés se encontraron los siguientes registros de sismos históricos

Intensidades registradas en San Juan de Pasto, Nariño

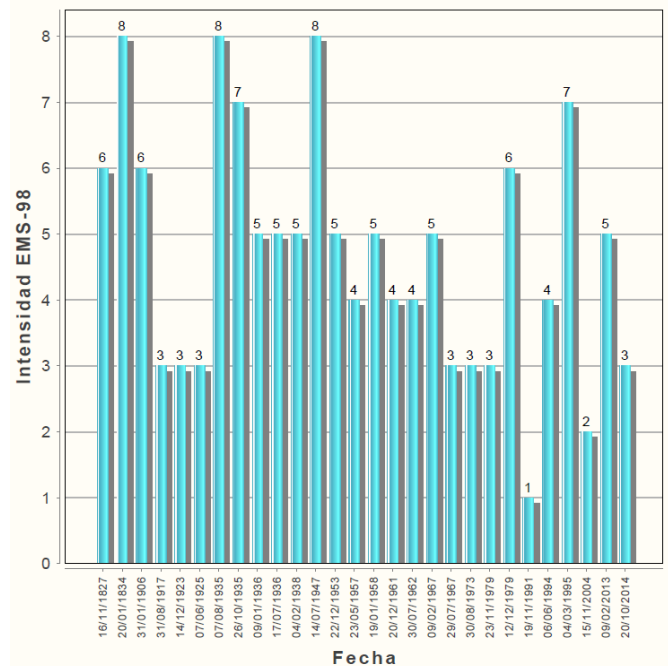


Figura 57. Registro histórico de sismos - Pasto. Fuente: SISHC-SGC

2.1.10. Zonificación de la amenaza

Los análisis para la zonificación de la amenaza están basados en la teoría de equilibrio límite, tomando como punto de partida, la caracterización de los diferentes estratos encontrados en los estudios de exploración y consideradas críticas ante la presencia de procesos de remoción en masa.

Con la definición del modelo geológico-geotécnico se incluye la consideración de los factores condicionantes de inestabilidad prevalentes en el área de estudio, estos configuran la predisposición del terreno a la inestabilidad y están directamente relacionados con las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de las laderas, considerándose inherentes al área de estudio. Para determinar algunas condiciones intrínsecas en la estabilidad del terreno resulta conveniente identificar unidades geotécnicamente homogéneas, con el fin de plantear un modelo que involucre las características geológicas, geomorfológicas y los parámetros geotécnicos

En la determinación de la amenaza es necesario incluir un análisis de estabilidad considerando los efectos debido a la sobrecarga actuante en la zona de estudio determinando cabeza de presión para cada escenario, la aceleración, la probabilidad de falla para cada escenario y la probabilidad de falla total.

Estos análisis de probabilidad de falla se realizaron con la aplicación del software Slide versión 6.0 de Rocscience, el cual utiliza la teoría de equilibrio límite para obtener factores de seguridad en condiciones estáticas y en condiciones pseudoestáticas. En este caso del Plan Parcial Villa Dolores se utilizó un análisis estadístico de Monte-Carlo y el método de equilibrio límite de Morgenstern-Price, el cual en condición pseudoestática se adapta a cualquier superficie de falla, basándose en el método de dovelas abordando el problema de forma bidimensional, así mismo, el sistema de parámetros de resistencia de Mohr-Coulomb para los datos obtenidos en los ensayos de Corte Directo para suelos.

En general, el método de dovelas considera que el factor de seguridad asociado a un determinado talud, es constante para toda la superficie de falla, la resistencia al corte del suelo estudiado satisface el criterio de Mohr-Coulomb y al momento de la falla la resistencia al corte del suelo se desarrolla con una magnitud constante en toda la superficie de rotura.

Para las condiciones pseudoestática, el efecto de la fuerza inercial sísmica en los análisis se incluye como una aceleración horizontal para diferentes periodos de retorno (31 años, 225 años y 475 años) estos periodos de retorno con base en la probabilidad de excedencia y teniendo en cuenta una vida útil de diseño de 50 años; la determinación de esta aceleración en diferentes periodos de retornos se realiza a partir de las curvas de amenaza sísmica realizadas para la ciudad de Pasto.

En el análisis de roca se utilizó el software Dips versión 6.0 de Rocscience con el fin de determinar la probabilidad de falla por diferentes mecanismos ya sea falla tipo planar, falla en cuña o por vuelco. Este análisis se realizó con los datos estructurales levantados en campo principalmente de las familias de

Con el objetivo de establecer los efectos que han tenido los sismos históricos registrados sobre la población, se realizó la consulta en el sistema de información de sismicidad histórica de Colombia – SISHC, para el área de interés se encontraron los siguientes registros de sismos históricos

2.1.10.1. Análisis de estabilidad

De acuerdo a lo explicado en el aparte anterior, los criterios geotécnicos adoptados para el análisis usado en el programa de modelamiento geotécnico fue el método de Morgenstern-Price para calcular el equilibrio límite de fuerzas y el de Mohr-Coulomb como modelo de resistencia para la ruptura del suelo, tomando como punto de partida el modelo geológico geotécnico de algunos sectores del área de interés, diferenciando en cada perfil los estratos hallados en los estudios y que se pueden considerar como críticos ante la presencia de movimientos en masa.

Conviene especificar que, el análisis se realizó en toda el área de influencia de la cuenca Rosales que incluye el área oficial del Plan Parcial Villa Dolores, si bien es cierto que dentro del perímetro del Plan Parcial como tal no se evidencia taludes o laderas con las características que puedan generar movimientos en masa, cerca de la zona se evidencia un relieve abrupto el cual se consideró necesario estudiar a detalle para evitar posibles inconvenientes.

Para cada uno de los modelos geológico geotécnico se usó los parámetros de resistencia de cada estrato hallados en laboratorio, se realizó en condiciones estáticas y pseudoestáticas estableciendo diferentes escenarios en los cuales se puede producir falla. En la Figura 42 y Figura 43 se indica cada uno de estos escenarios para cada perfil; en las siguientes Figuras se muestra el análisis de estabilidad de roca por diferentes mecanismos para los taludes hallados.

Estos modelos se encuentran en los documentos Anexo 1: Análisis de estabilidad y Anexo 2: Análisis cinemático de roca de este informe, donde se puede observar los resultados obtenidos de cada modelo realizado.

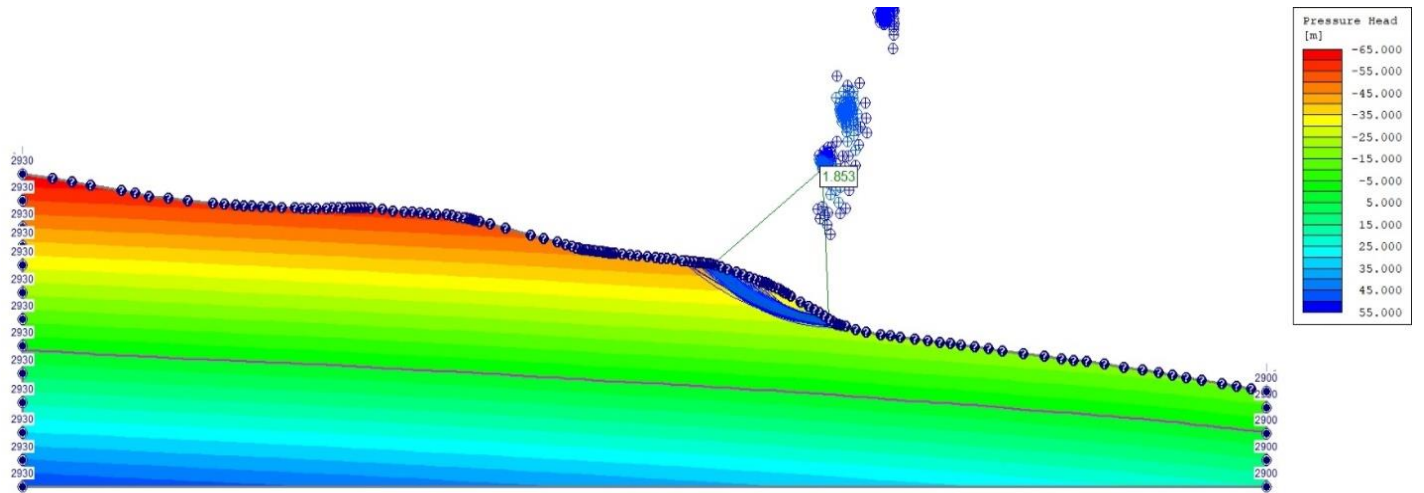


Figura 58. Análisis estático para el perfil CC.
Fuente: Este estudio

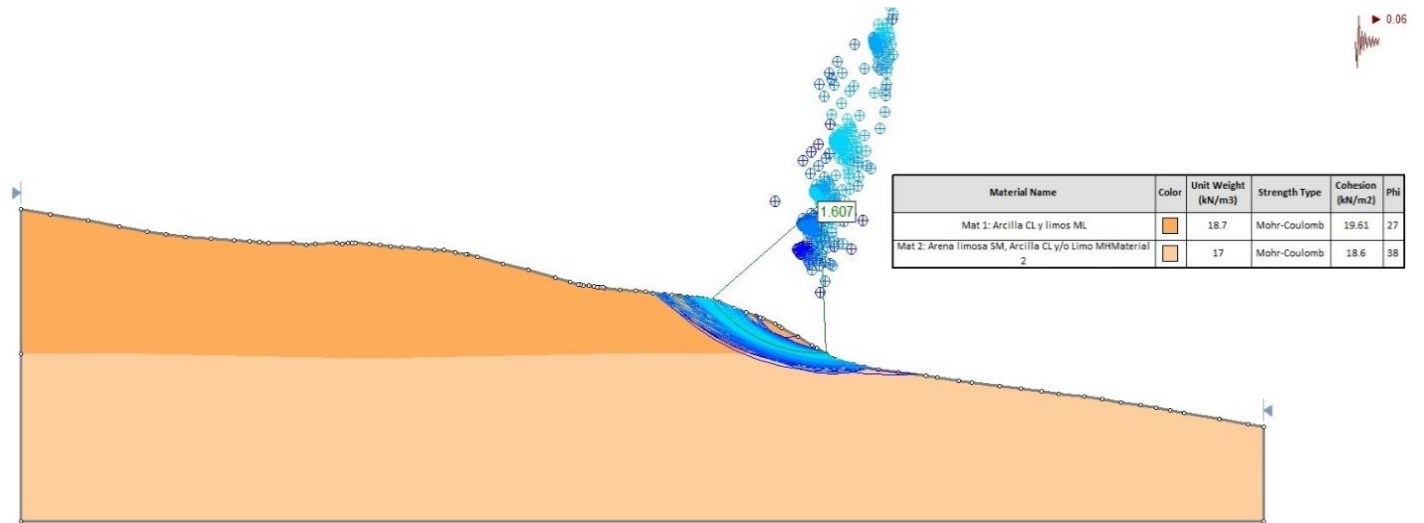
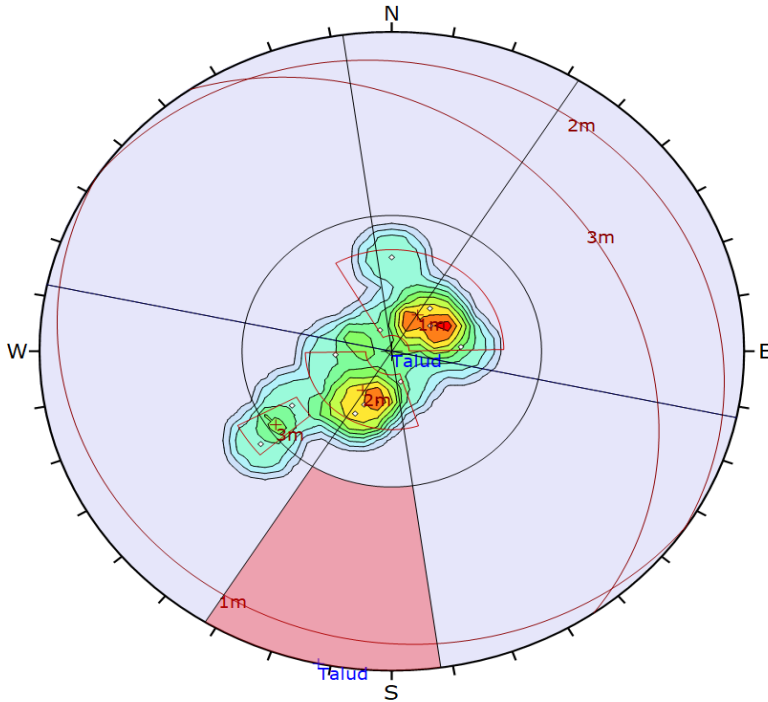


Figura 59; Análisis pseudoestático para el perfil CC con un Tr de 31 años ($a_c = 0.06 \text{ m/s}^2$).
Fuente: Este estudio

En cada uno de los modelos anteriores es posible evidenciar factores de seguridad de categoría baja para la amenaza, en el análisis estático se observa un $FS = 1.85$ con un nivel freático profundo por lo tanto no se tiene probabilidad de movimiento en masa. Lo mismo se puede concluir en el análisis pseudoestático donde se tiene un $FS = 1.6$ con una aceleración horizontal de 0.06 m/s^2 en un periodo de retorno de 31 años, este factor de seguridad indica una probabilidad baja de movimiento en masa con estos parámetros



Symbol	Feature
◊	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
Light Blue	0.00 - 2.40
Light Green	2.40 - 4.80
Green	4.80 - 7.20
Yellow-Green	7.20 - 9.60
Yellow	9.60 - 12.00
Orange	12.00 - 14.40
Red-Orange	14.40 - 16.80
Red	16.80 - 19.20
Dark Red	19.20 - 21.60
Black	21.60 - 24.00

Maximum Density	23.13%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	90
Slope Dip Direction	12
Friction Angle	35°
Lateral Limits	20°

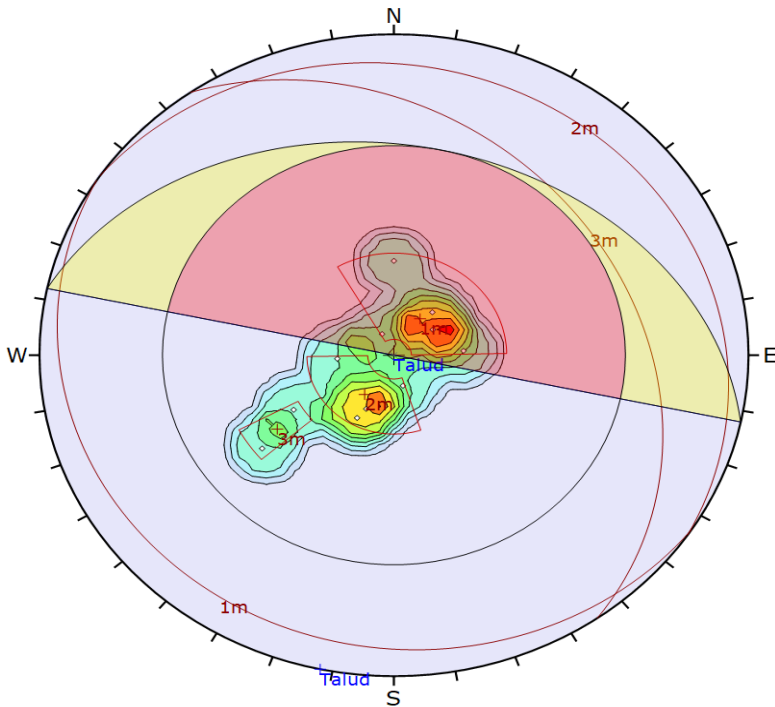
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	11	0.00%

Color	Dip	Dip Direction	Label
Blue	90	12	Talud

Mean Set Planes			
Color	Dip	Dip Direction	Label
Light Blue	11	213	
Light Green	12	34	
Green	33	55	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	11 (11 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Figura 60. Análisis cinemático de roca para falla planar, probabilidad 0%.
Fuente: Este estudio



Symbol	Feature
◊	Pole Vectors
■	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
Light Blue	0.00 - 2.40
Light Green	2.40 - 4.80
Green	4.80 - 7.20
Yellow-Green	7.20 - 9.60
Yellow	9.60 - 12.00
Orange	12.00 - 14.40
Red-Orange	14.40 - 16.80
Red	16.80 - 19.20
Dark Red	19.20 - 21.60
Black	21.60 - 24.00

Maximum Density	23.13%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	90
Slope Dip Direction	12
Friction Angle	35°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	0	55	0.00%

Color	Dip	Dip Direction	Label
Blue	90	12	Talud

Mean Set Planes			
Color	Dip	Dip Direction	Label
Light Blue	11	213	
Light Green	12	34	
Green	33	55	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	11 (11 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	55
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Figura 61. Análisis cinemático de roca de falla en cuña, probabilidad 0%.
Fuente: Este estudio

2.1.11. Análisis de vulnerabilidad

La clasificación de la amenaza por movimientos en masa se define para suelos a partir del factor de seguridad, estableciendo tres niveles de amenaza clasificados como alto, medio y bajo como se describe en la Tabla, dicha clasificación es la utilizada en el mapa de amenaza que se definió para el caso del Plan parcial Villa Dolores .

Las áreas objeto del análisis de vulnerabilidad se evaluarán de forma cuantitativa por la escala de trabajo y corresponden a las áreas ocupadas que se identificaron en la categoría de amenaza media y alta en la evaluación de amenaza detallada a escala 1:2000, de acuerdo con el procedimiento general para análisis de vulnerabilidad por movimientos en masa SGC-UNAL (2015); para cada zona de estudio, en ellas se definieron los escenarios de amenaza y exposición de los elementos (bienes físicos y personas), con su respectiva caracterización que incluye su grado de fragilidad ante el evento amenazante.

La zonificación de vulnerabilidad se realiza a partir de las categorías de vulnerabilidad física con base en los niveles de daño de las edificaciones, sin embargo esta metodología es aplicable en las zonas sin ocupar o proyectados para expansión planteando los escenarios futuros de ocupación o de cambio de uso como se propone en el Plan Parcial Villa Dolores

De acuerdo con el procedimiento general, a continuación, se relacionan las etapas que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad:

- Identificación y localización de los elementos expuestos.
- Caracterización de los elementos expuestos: tipología, exposición y resistencia.
- Tipos de daño o efectos esperados como resultado de los escenarios de vulnerabilidad.
- Zonificación de la vulnerabilidad.

La vulnerabilidad para esta escala de trabajo se calcula de forma cuantitativa, definiendo los posibles escenarios por movimiento en masa esperados, estos escenarios incluyen exposición de elementos y grado de fragilidad.

Aun cuando no se determinó amenaza media o alta por movimientos en masa en el área del Plan Parcial Villa Dolores, se realiza una evaluación de vulnerabilidad planteando los futuros escenarios de ocupación que se efectuarán con el proyecto. Vale decir que dentro del estudio preliminar realizado en el mes de marzo del año en curso por Ingeniería de suelos y cimentaciones S.A.S, se concluyó que el suelo se caracteriza por tener una compacidad relativa de compacta a muy compacta que permite soportar las cargas.

2.1.11.1 Identificación y localización de elementos expuestos

Los elementos expuestos incluyen bienes físicos y personas, los cuales pueden ser afectados al materializarse una amenaza según su localización, con base en la Tabla se realiza la identificación de los elementos expuestos.

Clasificación		Identificación	Uso - Componentes	
Bienes físicos	Edificaciones	Indispensables- Grupo IV (Norma NSR-10)	Salud (Pública/Privada)	
		Atención a la comunidad- Grupo III (Norma NSR-10)	Seguridad Emergencia Educación	
		Ocupación especial – Grupo II (Norma NSR-10)	Institucionales Gubernamentales Centros comerciales Industria	
		Ocupación normal- Grupo I (Norma NSR-10)	Residencial	
	Líneas Vitales	Red vial	Vías Puentes vehiculares Puentes peatonales	
			Servicios públicos	Líneas de acueducto alcantarillado y gas (Tuberías) Redes eléctricas y comunicaciones
Personas		Población		

Tabla 23. Elementos expuestos
Fuente: SGC,2015

En el Plan Parcial Villa Dolores se propone el proyecto de la siguiente manera:

- Lote Residencial: El número de viviendas proyectadas aproximadas es de 360 unidades, localizadas en 5 torres de 12 pisos. Para los estacionamientos se manejará la relación 1 estacionamiento x 1 vivienda
- Lote Comercial: Se proyectan 32.000 m² de área vendible, con 850 cupos de estacionamientos y 1.500m² para patio de maniobras de carga y descargue.

Las tipologías de las edificaciones, definidas a partir de los trabajos de Heinimann (1999) y Jam (2007), se identifican como Ocupación Normal (Grupo I) y Ocupación Especial (Grupo II) y se establecen como edificaciones reforzadas (B) que son edificaciones con estructura en concreto y acero de los grupos de importancia I y II construidas con pórticos en concreto reforzado, sistema combinado en concreto reforzado, pórticos resistentes a momentos en acero, pórticos arriostrados en acero, etc.

Clasificación de la vulnerabilidad	Valor de la vulnerabilidad	Nivel de daño	Edificaciones	Red vial
Alta	0.5 - 1	Total - colapso	Colapso parcial o total de la estructura. Rotura de muros. Destrucción total de acabados y accesorios.	Bloqueo total de la vía. Se afecta totalmente el tránsito de vehículos.
Media	0.1 - 0.5	Grave	Grietas anchas y profundas. Plastificación local de los elementos estructurales. Posible colapso de elementos no estructurales. Daños en los muros. Daño grave de acabados.	Parte del volumen deslizado reposa sobre la vía. Los vehículos pasan con dificultad.
Baja	0.02 - 0.1	Moderado	Grietas grandes y profundas. Daños graves en elementos no estructurales. Quiebre de ventanas. Entrada de material a la edificación. Daños en pisos.	No existe material sobre la vía o el material que alcanzó la vía es fácilmente evadible por los vehículos
	0.00 - 0.02	Leve	Grietas pequeñas. Despegues de pequeños pedazos de pañete, despegue de algunos ladrillos.	

Tabla 24 . Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y líneas vitales
Fuente: SGC,2015

Clasificación	Rango vulnerabilidad	Descripción
Alta	0.5 - 1	Alta posibilidad de muerte o lesiones serias.
Media	0.2 - 0.5	Alta posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes.
Baja	0 - 0.2	Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes.

Tabla 25 . Clasificación de la vulnerabilidad para personas
Fuente: SGC,2015

La categorización de la vulnerabilidad para el Plan Parcial Villa Dolores a partir de la identificación y localización de elementos expuestos se puede clasificar como baja con un valor de 0.0, por consiguiente no se espera algún nivel de daño en las edificaciones y las probabilidades de lesiones o muertes en personas es nula. En la Figura 48 se presenta el mapa de vulnerabilidad generado a partir del análisis realizado.

2.1.12 Evaluación del Riesgo

La evaluación de riesgo por movimientos en masa implica un análisis en función de la probabilidad de la amenaza ($P(H)$), la vulnerabilidad (V) y el costo de los elementos expuestos (E).

Los criterios fijados para la aceptabilidad del riesgo en bienes físicos y personas se basan en estimaciones de pérdidas anuales o en probabilidad de personas afectadas anualmente. Las pérdidas en bienes se pueden calcular como el costo aproximado de daños, definido como el porcentaje de daño del valor comercial del elemento (SGC, 2015).

2.1.12.1 Categorización del riesgo

La categorización del riesgo se separa para bienes físicos y para personas, posteriormente estos resultados se integran en un resultado final ya sea alto, medio o bajo. A cada categoría se puede plantear algunas medidas de intervención o reducción según el caso; en el caso de una categoría de riesgo alto es necesario plantear medidas de intervención o estrategias de gestión que definan la viabilidad técnica, financiera y urbanística.

En la siguiente Tabla se propone la categorización a usar en bienes físicos, y en la Tabla 25 se muestra la combinación para establecer el riesgo total a partir de riesgo en bienes físicos y riesgo en personas.

Costo aproximado de daño	Categoría	Descripción
60 - 200%	Alto	Riesgo inaceptable. Es necesaria la ejecución de investigaciones detalladas, planeación e implementación de medidas para reducir el riesgo. Las medidas de intervención estructural pueden ser dispendiosas y poco prácticas; además pueden ser más costosas que el valor mismo de la propiedad
20 - 60%	Medio	Pueden tolerarse en ciertas circunstancias (de acuerdo con la regulación estatal) pero requiere investigación y planeación detallada para evitar que aumente. Las medidas para reducir el riesgo son viablemente económicas
0 - 20%	Bajo	Usualmente aceptable para los tomadores de decisiones. Se requiere mantenimiento normal de taludes y laderas

Tabla 26 . Categorización del riesgo de bienes físicos Costo aproximado de daño
Categoría Descripción

Riesgo en bienes físicos	Riesgo en personas		
	Alto	Medio	Bajo
Alto	Alto	Alto	Alto
Medio	Alto	Medio	Medio
Bajo	Alto	Bajo	Bajo

Tabla. 27 Categorización del riesgo de bienes físicos y personas
Fuente: SGC,2015

Como ya se analizó para el Plan Parcial Villa Dolores una categorización baja en función de la amenaza y la vulnerabilidad, el riesgo también se define en una categoría baja, evaluando también el riesgo en bienes físicos y en personas, por esto la probabilidad de víctimas fatales prácticamente es nula. Es un riesgo aceptable y solo se requieren medidas de prevención. En la Figura 49 se presenta estos resultados mediante el mapa de zonificación de riesgo, donde se observa en color verde la categoría de riesgo bajo.



Vulnerabilidad por Movimientos en Masa PP Villa Dolores

ACOSTA RENGIFO
CONSTRUCTORA
S.A.S

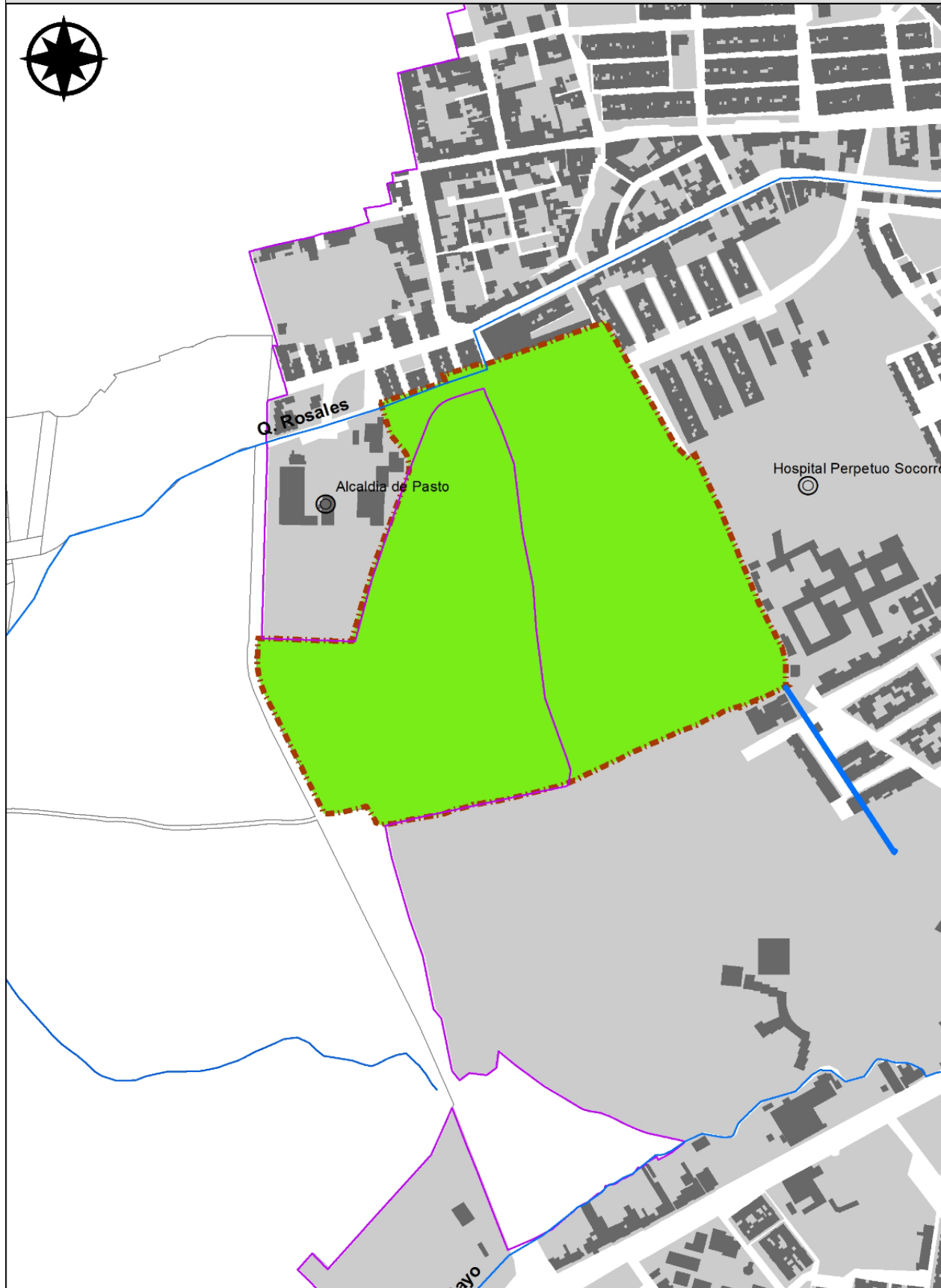
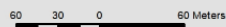
Leyenda



Vulnerabilidad
Baja

Convenciones

- Red hídrica
- Perimetro Urbano
- Perimetro PP Villadolores
- Construcciones urbanas
- Manzanas
- Base Predial



Fuente: POT Pasto 2015-2027 PP Villa Dolores
Levantamiento Topográfico
Límite del PP Villa Dolores

Figura. Clasificación de la vulnerabilidad por movimiento en masa.
Fuente: Este estudio

2.1.13 Conclusiones y recomendaciones.

El área de estudio se enmarca geológicamente dentro unidades de roca y suelos transportados de depósitos de flujos piroclásticos y lavas provenientes de eventos eruptivos recientes del Complejo Volcánico Galeras – CVG en los últimos 160 ka.

Los pocos procesos de inestabilidad observados en la zona de estudio del área de influencia de la cuenca Rosales corresponde a pequeños movimientos superficiales cuya escala no alcanza a ser cartografiable en la zonificación a detalle.

En el área de influencia de la cuenca Rosales no se evidencia nivel freático, por esta razón para los modelos usados en los análisis de amenaza por movimiento en masa se sigue lo recomendado en por el SGC (2015) donde se asume la posición del nivel freático medido en campo como correspondiente a su profundidad promedio, si se identifica una profundidad de este, de lo contrario se debe utilizar la misma profundidad de la superficie de falla o donde se dé el cambio de comportamiento del material; por esta razón el Nivel Freático de los modelos se ubica a una profundidad considerable sin mayor fluctuación.

Para el área del Plan Parcial Villa Dolores y zona de influencia de la cuenca Rosales se determinó una probabilidad baja por movimiento en masa a excepción de un área en la parte alta de la cuenca que se observa una probabilidad media probablemente también asociado a la pendiente alta de la ladera.

Se destaca que esta probabilidad media de amenaza no influye en el proyecto por factores como pendientes con rangos bajos en el área del plan parcial, la distancia que existe desde esta zona hasta donde se encuentra el perímetro del Plan Parcial y la cantidad de material que se genere por el movimiento sería de un volumen bajo que no alcanzaría a llegar hasta esta área.

A pesar de no determinarse amenaza media o alta por movimientos en masa en el área del Plan Parcial Villa Dolores, se realiza una evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo planteando los futuros escenarios de ocupación que se efectuaran con el proyecto.

La categorización de la vulnerabilidad para el Plan Parcial Villa Dolores a partir de la identificación y localización de elementos expuestos se puede clasificar como baja, por consiguiente no se espera algún nivel de daño en las edificaciones y las probabilidades de lesiones o muertes en personas es nula.

El riesgo también se define en una categoría baja, evaluándolo en bienes físicos y en personas, por esto la probabilidad de víctimas fatales prácticamente es nula, por lo tanto es un riesgo aceptable y solo se requieren medidas de prevención.

Se recomienda la evaluación algunas medidas de intervención con el objeto de contrarrestar la posibilidad de caída de material; con estas medidas de mitigación se buscaría minimizar por fenómeno de avenida torrencial que es la manera en que la caída de material puede afectar el área.

Para estudios más detallados en el área de influencia de la cuenca Rosales y determinar con exactitud el nivel freático, se recomienda realizar estudios donde se incluya monitoreos en diferentes épocas del año con perforaciones en diferentes puntos del área y medidas con instrumentación.

2.2 | RIESGO POR AMENAZA VOLCÁNICA

2.2.1. Riesgo por flujos de lodo o lahares

El volcán Galeras es catalogado como uno de los volcanes más activos de Colombia, corresponde al cono actual del Complejo Volcánico Galeras (CVG), definido por Cepeda (1985 y 1989) y redefinido por Calvache (1995, en Cortés & Calvache, 2002). Está localizado en el departamento de Nariño, en las coordenadas geográficas 1°13,31' Latitud N y 77°21,68' Longitud W, en el dominio geográfico de la depresión interandina Cauca-Patía entre las cordilleras Occidental y Central. Se encuentra a 9 km al occidente (W) de la ciudad de San Juan de Pasto, a 530 km al nororiente (NE) de la ciudad de Bogotá y a 60 km de la frontera entre Colombia y Ecuador. El volcán Galeras se encuentra ubicado dentro del Santuario de Flora y Fauna Galeras (SFFG), que hace parte del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia.

En la zona de influencia proximal del volcán se encuentran asentados los municipios de Pasto, con 440.000 habitantes (cabecera municipal a 9 km al este del cráter), Nariño con 4900 habitantes (cabecera municipal a 7,3 km al norte del cráter), La Florida con 9600 habitantes (cabecera municipal a 10 km al noroeste del cráter), Sandoná con 25.700 habitantes (cabecera municipal a 14 km al noroeste del cráter), Consacá con 9400 habitantes (cabecera municipal a 11,4 km al oeste del cráter), Yacuanquer con 11.000 habitantes (cabecera municipal a 12,3 km al sur del cráter) y Tangua con 9700 habitantes (cabecera municipal a 14,5 km al sur del cráter). Esta zona proximal al Galeras en total alberga cerca de 500.000 habitantes

Dentro de los diferentes fenómenos volcánicos que pueden constituir una amenaza para los asentamientos que se encuentran dentro del área de influencia del Volcán Galeras, entendiéndose la amenaza como: "El peligro latente de que un evento físico de origen natural (para el éste caso volcánico) que se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales." (Ley 1523 del 2012), se encuentran los denominados flujos de lodo o lahares los cuales y bajo el concepto dado por el SGC:

son una mezcla de agua, partículas sólidas y fragmentos de roca de diferentes tamaños, que pueden incorporar biomasa y que se desplazan por los cauces y valles de las quebradas y ríos. Según su contenido de materiales sólidos, en su orden de mayor a menor concentración, se denominan: flujos de escombros y flujos hiperconcentrados volcánicos (Vallance & Iverson, 2015), estos últimos son conocidos comúnmente como flujos de lodo volcánicos (Delgado, 2002). Los lahares varían en velocidad y tamaño, pueden fluir a varias decenas de metros por segundo, dependiendo de la pendiente del terreno pudiendo alcanzar grandes distancias a partir de su punto de origen

Estos fenómenos se pueden generar directa o indirectamente por actividad volcánica, durante (primarios) o después (secundarios) de las erupciones, por una variedad de mecanismos que permiten la interacción del agua con materiales volcánicos y no volcánicos. Las fuentes de agua para formar lahares pueden provenir de nieve, de hielo, de lagos cratéricos, de lluvias o de corrientes fluviales o reservorios de agua en el interior del volcán.

Se constituyen en la amenaza más común asociada a la actividad eruptiva de los volcanes (Blong, 1984) y pueden causar: arrasamiento y destrucción de vegetación, de cultivos y de las estructuras existentes a lo largo de su trayectoria; relleno de cauces naturales y artificiales; inundación, enterramiento y aislamiento de grandes extensiones de terreno. Hacia las partes distales, dando lugar a crecientes e inundaciones. Debido a su alta peligrosidad de este tipo de flujos, sólo se considera amenaza alta por este fenómeno.

- **Ubicación Plan Parcial Villa Dolores**

El perímetro del plan parcial Villa Dolores está ubicado al occidente del casco urbano de la ciudad de Pasto comprendido por tres predios identificados con números prediales: 010410810096000, 010405010009000, 000100140694000. De los cuales el predio número 000100140694000 se encuentra por fuera del perímetro urbano, siendo parte de las áreas identificadas en el POT vigente del municipio de Pasto como polígono de planes parciales de expansión y su área total corresponde a 14.950158 Ha.

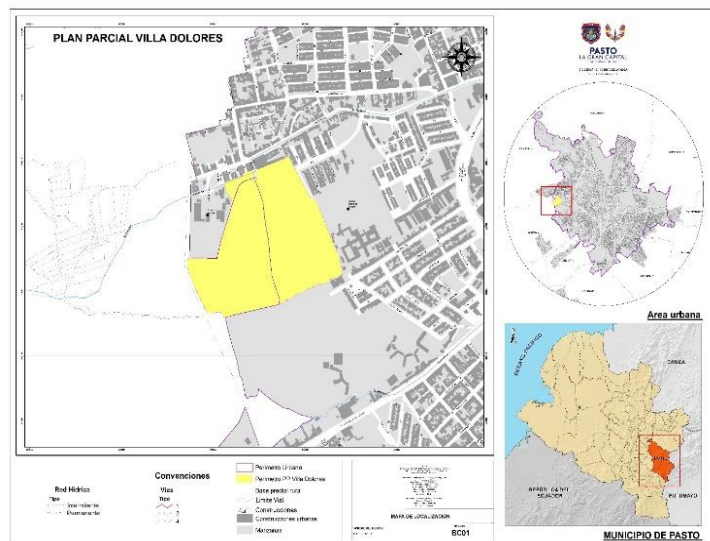


Figura 64: Localización General
Fuente: IGAC

Por su ubicación cercana a la quebrada Mijitayo, se hace necesario realizar un análisis sobre el nivel de exposición a la amenaza, vulnerabilidad y riesgo, frente al fenómeno amenazante de origen volcánica denominado Flujo de Lodo o Lahares, para esto se hará un barrido de la normativa y disposiciones contenidas en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pasto para la zona, la actualización del Plano de Amenaza Volcánica del Servicio Geológico Colombiano producto de la Sentencia T-269 del 2015 y el Estudio Detallado de Riesgo por Lahares en la Quebrada De La Microcuenca Mijitayo realizado por el Consorcio Mijitayo, contratado por la Gobernación de Nariño y entregado de manera oficial al municipio de Pasto, en el mes de octubre del año 2020.

2.2.2. Caracterización de la amenaza por lahar

• Plan de ordenamiento Territorial “Pasto Territorio Con – Sentido 2015-2027”

El Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pasto “Pasto Territorio Con-Sentido 2015-2027”, adoptado a través del Acuerdo No. 004 del 14 de abril de 2015, identifica en su capítulo II “Gestión del Riesgo”, áreas en condición de riesgo por erupción volcánica teniendo en cuenta variables como: áreas expuestas a los fenómenos amenazantes de flujos piroclásticos, proyectiles balísticos, onda de choche y flujos de lodo o lahares, la población expuesta y los elementos expuestos como líneas vitales de bocatomas, líneas de energía y vías de primer, segundo y tercer orden; en este sentido y para el fenómeno amenazante de flujos de lodo o lahares el POT, bajo el principio de precaución contenido en la Ley 1523 del 2012 y a través del “Estudio de vulnerabilidad física y funcional a fenómenos volcánicos en el área de influencia del Volcán Galeras 2009”, elaborado por la corporación OSSO y el mapa

de amenaza volcánico Galeras tercera versión 1997, elaborado por el Servicio Geológico Colombiano, pudo determinar unos niveles de condición de riesgo alto, medio o bajo a partir de la intensidad del fenómeno y los posibles efectos que puede causar, en el casco urbano del municipio de Pasto, donde:

las áreas definidas en condición de riesgo por flujos de lodos se localizan a lo largo de las quebradas Mijitayo, Midoro, El Salto y el río Pasto, en estos sectores el grado de exposición ante el fenómeno es medio y bajo. Los flujos de lodo en el área urbana del municipio de Pasto afectarían alrededor de 1.519 predios y 3.629 edificaciones contenidas en 122 manzanas, en donde predomina el uso de suelo residencial y en menor proporción el Institucional, comercial y áreas por desarrollar. Las áreas definidas en condición de riesgo por flujos de lodo medio y bajo, se encuentran asociadas a zonas con predominio de topografía de baja pendiente entre el 0 y 12%, donde se encuentran la mayor parte de las construcciones involucradas. Se tiene en cuenta la configuración urbana que modifica el cauce original de la quebrada Mijitayo que hoy es un área de articulación de la trama urbana, resultado de la construcción de la ciudad en sus diferentes periodos. La Avenida Panamericana trazada hacia los años setenta es un borde urbano que se constituye en espacio libre, disipador de energía ante eventuales flujos de materiales (Lahares), pues su amplio perfil de 40 Mts entre paramentos marca la diferenciación de tramos en el recorrido del área del fenómeno amenazante.

La zonificación de las áreas expuestas a condición de riesgo por flujos de lodo o lahares, dispuesta en el POT, identifica la zona de ubicación del Plan Parcial Villa Dolores por fuera de las áreas expuestas al fenómeno amenazante, tal y como se puede observar en imagen siguiente:

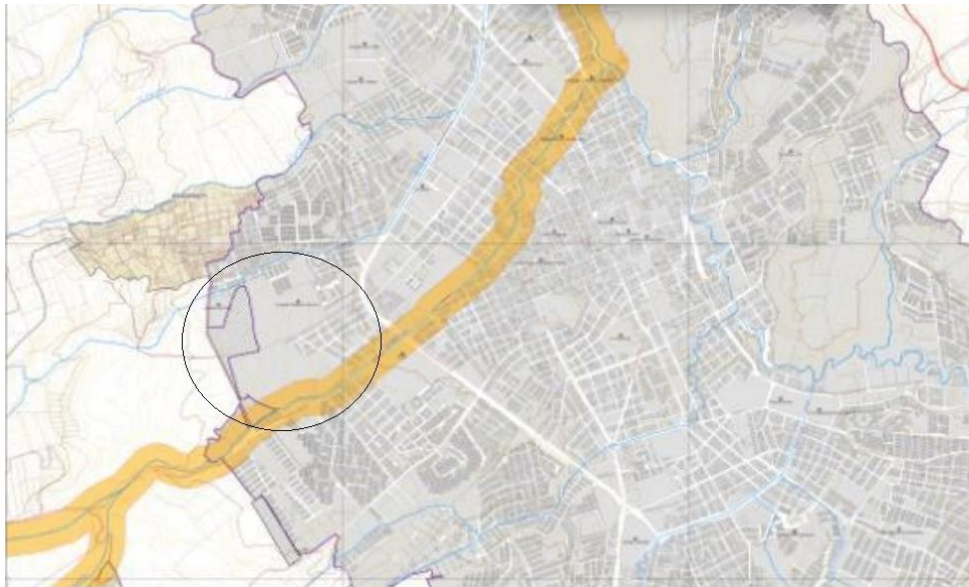


Figura 65: Áreas expuestas a Flujos de Lodo
Fuente: POT municipio de Pasto 2015-2027

Concluyendo que según la normativa del POT, la zona de Plan Parcial Villa Dolores cuenta con una condición apta para su desarrollo.

- **Plano actualización mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Galeras en cumplimiento de la Sentencia T-269 del 2015**

El Servicio Geológico Colombiano (SGC) en el año 2016, presentó el documento y plano denominado "Actualización del Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Galeras – Colombia; Memorias", elaborado en cumplimiento de la Sentencia de la Corte Constitucional T-269 de 2015, el cual identifica dentro de la zona de amenaza del Volcán Galeras, parte de la cuenca de la quebrada Mijitayo, localizada en el costado Oriental del volcán (Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2015).

El mapa de amenaza volcánica fue generado a partir de la superposición de áreas delimitadas en los resultados de las simulaciones de los diferentes fenómenos volcánicos, (flujos de escoria, flujos de lava, caídas piroclásticas, proyectiles balísticos, lahares, flujos piroclásticos de bloques y ceniza, ondas de choque), teniendo en cuenta el grado de afectación al que se verían expuestas dichas áreas, (Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2015).

Para el caso de la amenaza por lahares, el SGC definió las zonas de amenaza alta empleando la herramienta LAHARZ, (Schilling, 2014), a partir de simulaciones de un volumen de hasta 3 millones de metros cúbicos, mostrando dentro de sus áreas afectadas, el cauce de la quebrada Mijitayo y su afluente la quebrada Midoro.

Con respecto a la ocurrencia de eventos de origen volcánico en la cuenca de la quebrada Mijitayo, el SGC ha establecido que, durante los últimos 500 años, la mayoría de las erupciones han sido catalogadas como Vulcanianas, con columnas inferidas de baja altura (menores a 10 Km), que han producido emisiones de gases y cenizas, pequeños flujos de lava y erupciones explosivas con la generación de flujos piroclásticos, cuyos depósitos han alcanzado distancias de hasta 9.5 Km desde el cráter, los lahares descenderían por la quebrada Mijitayo y la quebrada Midoro, alcanzando el área urbana de la ciudad de San Juan de Pasto, áreas que, basados en trabajos de campo, fueron incorporadas y delimitadas en la tercera versión del mapa de amenaza, principalmente en aquellas zonas donde el río Mijitayo se encuentra canalizado, (INGEOMINAS, 1997).

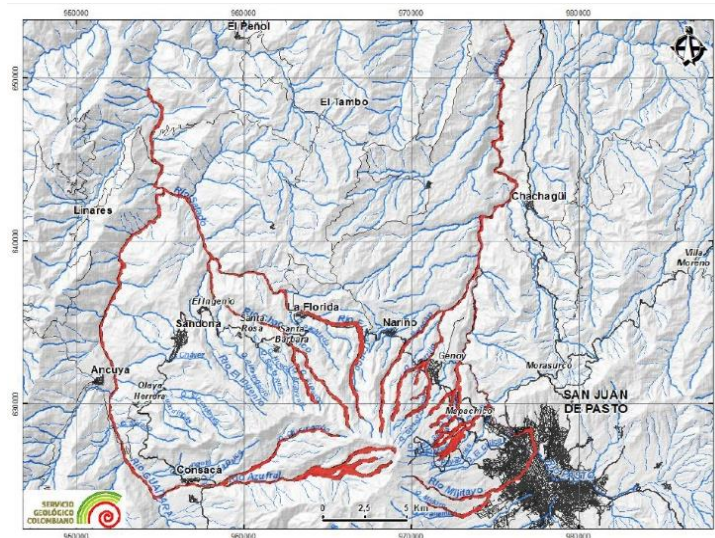


Figura 66: Zonificación (amenaza alta) por lahares, Fuente: (Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2015)

Teniendo en cuenta las modelaciones y nivel de amenaza determinado por el SGC para el perímetro urbano del municipio de Pasto, la zona donde se pretende desarrollar del Plan Parcial Villa Dolores, se encuentra por fuera de las áreas expuestas a amenaza alta por lahares, condición que se puede observar en imagen adjunta:



Figura 67: Áreas expuestas a la amenaza alta por Lahares Fuente: (Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2015) - IGAC

Condición que, si bien corrobora la posibilidad de desarrollo establecida en el POT, por estar fundamentada en estudios de amenaza que según el SGC no indican los parámetros físicos que caracterizarían dichos flujos, como son altura de inundación y velocidad del flujo particularmente, para la ciudad de San Juan de Pasto, debido al desarrollo urbanístico, se hizo necesario realizar estudios más detallados sobre el comportamiento de los lahares y el grado de afectación, que permitan contar con una información técnica a detalle apta para garantizar un desarrollo urbanístico sostenible y seguro

Es por esto que, en cumplimiento al Decreto 1807 del 2014 por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial, compilado en el Decreto 1077 del 2015, la Sentencia de la Corte Constitucional T-269 de 2015, la Gobernación de Nariño contrata el Estudio Detallado de Riesgo por Lahar en la Cuenca de la Quebrada Mijitayo a cargo del Consorcio Mijitayo como ejecutor.

- **Estudio detallado de riesgo por lahar en la microcuenca de la Quebrada Mijitayo**

El estudio detallado de riesgo por lahar en la cuenca de la quebrada Mijitayo, ejecutados a través del Consorcio Mijitayo y entregado al municipio de Pasto de manera oficial por el Departamento de Nariño, en el mes de octubre del año 2020, permite identificar tres etapas: 1) Estudio de la Amenaza, que tiene como alcance la zonificación la amenaza por lahares, a escala 1:10.000 para la zona rural y 1:2.000 para la zona urbana; 2) Estudio de Vulnerabilidad Física y Base de Datos de Elementos Expuestos, en la que se evalúa la vulnerabilidad física y se levanta en campo la base de datos de los elementos expuestos para edificaciones indispensables, instituciones, de uso colectivo y viviendas del área afectada por la amenaza de lahar del microcuenca de la quebrada Mijitayo y 3) Zonificación del Riesgo por Lahar, en la que se determina el riesgo a partir de los resultados de la evaluación de la amenaza y vulnerabilidad física de los elementos expuestos al fenómeno de Lahar de origen volcánico.

La zona de estudio correspondió a la microcuenca de la quebrada Mijitayo, que tiene un área total igual a 20.27 km², de los cuales 3.75 km² están totalmente urbanizados, encontrando las comunas uno, seis, siete, y nueve; estimando para el área afectada del Municipio una población máxima de 16,528 habitantes, su altura media es igual a 2980 m.s.n.m; la temperatura media en la zona de estudio es igual a 13°C, la precipitación media anual igual a 889 mm, humedad relativa media mensual multianual de 83.54%. La microcuenca de la quebrada Mijitayo presenta clima muy seco, y tres pisos térmicos: Frío (2001-3000 m.s.n.m.), Páramo Bajo (3001 – 3700 m.s.n.m.), y Páramo Alto (3701 – 4200 m.s.n.m.).

Los análisis desarrollados en el estudio, partieron de la información primaria levantada en campo como, la topografía, batimetría del cauce, geología, geomorfología y caracterización

del subsuelo, el análisis del comportamiento hidráulico de los cauces de la microcuenca quebrada Mijitayo, tuvo en cuenta los eventos extremos por fenómeno lahar del Volcán Galeras de acuerdo con los escenarios de volúmenes establecidos por el Servicio Geológico Colombiano, junto con los aportes líquidos que se puedan presentar en la cuenca, la modelación numérica del flujo se realizó empleando un modelo matemático hidráulico bidimensional, cuyas características permitieron incorporar las características reológicas de un posible flujo de lahar, y así determinar los parámetros de intensidad del fenómeno como, presión estática, presión dinámica, energía específica, presión de impacto, momentum, velocidad y/o altura del flujo.

Para realizar el modelamiento de elevaciones del terreno en el área urbana, el mencionado estudio, tomo como base la información predial suministrada, ortofotomosaico levantado por EMPOPASTO, datos históricos de máximos y mínimos de la Quebrada, planes ambientales y socioambientales, levantamiento e información colector Mijitayo (Box Culvert), información hidrometeorológica suministrada por el IDEAM y la información base del plano de amenaza volcánica suministrada por el Servicio Geológico Colombiano.

El modelo digital de elevaciones del terreno tomado como información base del estudio realizado por el Consorcio Mijitayo, comprende el sector de Mijitayo Alto y Medio, abarcando la zona donde se ubica el plan parcial Villa Dolores y su área de influencia.

Así mismo, el estudio realizó trabajos de topografía (levantamiento planimétrico y altimétrico), a lo largo del corredor de la quebrada Mijitayo zona urbana, identificando he inspeccionando los pozos del colector con el fin de identificar su recorrido hasta su desembocadura al río Pasto.

En cuanto a las simulaciones de flujo, el estudio detallado de riesgo por lahar en la cuenca de la quebrada Mijitayo, desarrollo un modelo digital de elevaciones del terreno, que integro la información de la topografía, con la información de EMPOPASTO, teniendo en cuenta las diferentes cuadras que componen el área de influencia de la quebrada Mijitayo, las cuales son los canales que transportarán el flujo.

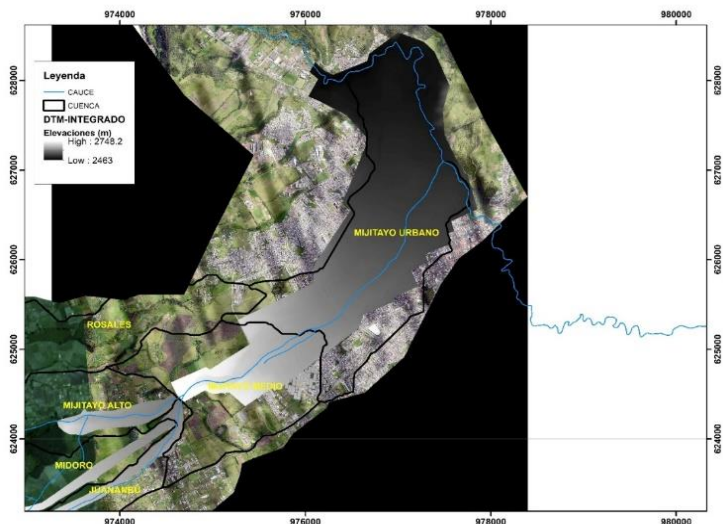


Figura 68: DTM integrado entre la topografía y el DTM de EMPOPASTO.

Fuente: Estudios detallados de riesgo por Lahar, Quebrada Mijitayo

En cuanto a la Geología y Geomorfología de la cuenca de la Quebrada Mijitayo, la metodología utilizada se dividió en dos (2) fases: fase de aprestamiento y fase de diagnóstico, en la fase de aprestamiento incluye la consulta y análisis de información pertinente al área de estudio y sus alcances, abarcando información consultada de distintas fuentes institucionales y en la fase de diagnóstico el estudio realizó una visita de campo, con el propósito de corroborar la información obtenida en la fase anterior, así como también, la recopilación de información primaria y la adquisición de muestras de suelo o roca, cuyo análisis de laboratorio (granulometría, límites en los suelos y ensayo puntual en las rocas) de las muestras adquiridas para la posterior caracterización de Unidades Geológicas Superficiales (UGS) permitió que el estudio obtenga como resultados mapas de: Unidades Geológicas Superficiales, Geología Estructural Local, Geomorfología, entre otros.

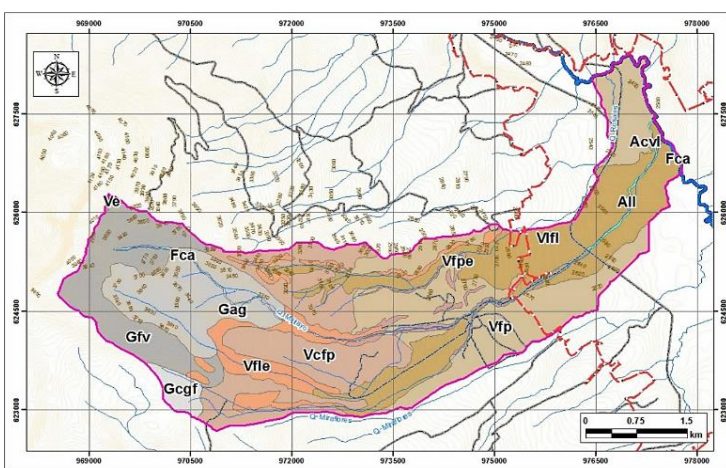


Figura 69: Mapa de subunidades geomorfológicas de cuenca de la Quebrada Mijitayo

Fuente: Estudios detallados de riesgo por Lahar, Quebrada Mijitayo

Con el procesamiento de la información primaria y secundaria obtenida por fuentes oficiales y trabajo de campo, los desarrolladores pasaron a la etapa de modelamiento para realizar las simulaciones del comportamiento de los Lahares lo que les permitió analizar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por lahar de la quebrada Mijitayo en el perímetro urbano del Municipio.

Precisando la información resultante del estudio a la zona de desarrollo del Plan Parcial Villa Dolores, se identifican las siguientes condiciones:

- **Análisis de la amenaza por Lahar**

El análisis de la amenaza del estudio estableció tres etapas generales para poder determinar las zonas de amenaza por lahar: La primera corresponde al procesamiento de la información inicial, la segunda a la implementación del modelo matemático, en la cual se determinan las características de intensidad y frecuencia del evento y la tercera corresponde a la definición de las zonas de amenaza por lahar, cuyo modelo digital de elevaciones del terreno para la zona urbana correspondió a una escala 1:2000, se plantearon cuatro escenarios, los cuales, representaron diferentes condiciones de caudal, para periodos de retorno de 10 y 100 años, diferentes condiciones de lluvia antecedente, (duración y periodo de retorno), con un tipo de flujo que incluye la mezcla de agua y material sólido, dando como resultado una zonificación de la amenaza en las categorías alta, media y baja.

Los resultados del estudio para la zona urbana del Municipio determinan que el flujo al ingresar por la quebrada Mijitayo, en el sector de la planta de EMPOPASTO ingresa con profundidades entre 3 y 4 m, siguiendo la trayectoria de la carrera 26 o avenida Mijitayo, que es la vía por donde se trazó el colector Mijitayo y por donde antiguamente discurría el cauce de dicha quebrada, al llegar a la vía al CAM o calle 10 Sur, el flujo principal se expande hacia los barrios Jerusalén y Santa Isabel, por donde el flujo ingresa al Colegio INEM. Por la margen izquierda de la avenida Mijitayo, este abarca varios asentamientos y los colegios Filipense y Felipe Neri. Por las carreras 31 y 32 se desplaza hacia la avenida Panamericana. En el sector entre la vía al CAM y la avenida Panamericana, las profundidades del flujo están en un rango entre 2 y 3 m, pasando la vía Panamericana, el área de afectación se expande entre la carrera 23 y la carrera 34, manteniéndose las más altas profundidades por la avenida Mijitayo o carrera 27, el abanico del flujo se extiende hacia el norte buscando el río Pasto, en una franja central con profundidades del flujo entre 1 y 2 m de altura.

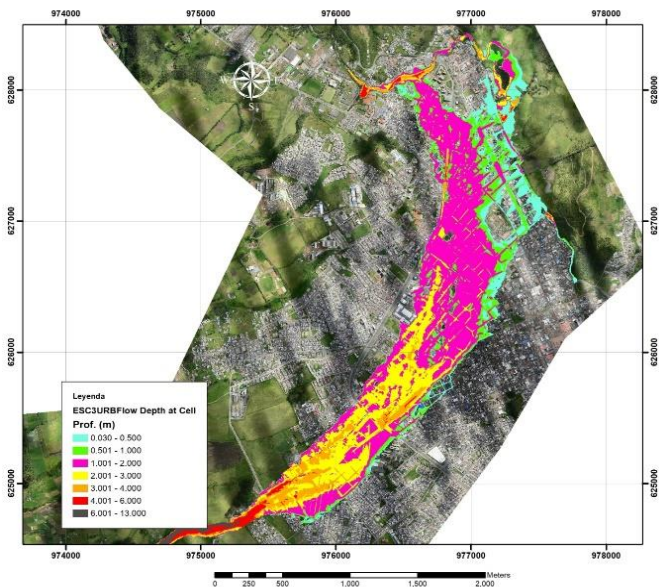


Figura 70: Profundidades del flujo en zona urbana
Fuente: Estudios detallados de riesgo por Lahar, Quebrada Mijitayo

Detallando la información suministrada por el estudio, se observa que, la zona del plan parcial se encuentra por fuera del área afectada por el paso del flujo de lahar en el casco urbano, tal y como se puede observar en la siguiente imagen:

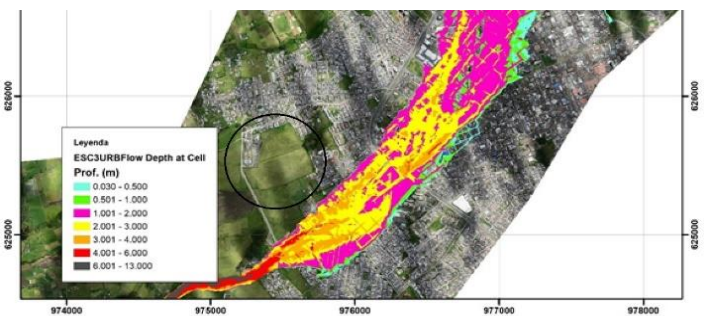


Figura 71: Identificación zona plan parcial frente a la amenaza por lahares
Fuente: Estudios detallados de riesgo por Lahar, Quebrada Mijitayo

Cuya zonificación de la amenaza corrobora lo antes mencionado, quedando el perímetro del plan parcial libre de afectación, tal y como se puede observar a continuación:

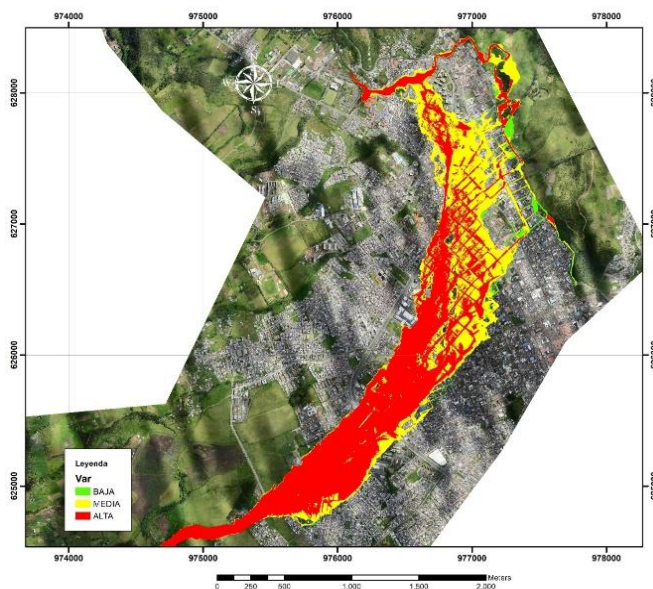


Figura 72: Zonificación de la amenaza por lahar en la zona urbana de la cuenca de la quebrada Mijitayo
Fuente: Estudios detallados de riesgo por Lahar, Quebrada Mijitayo

Es por esto que observando a detalle la zona de delimitación del plan parcial, se puede establecer que existe una distancia al punto más cercano de paso del flujo de lahar de 380 mts. aproximadamente.

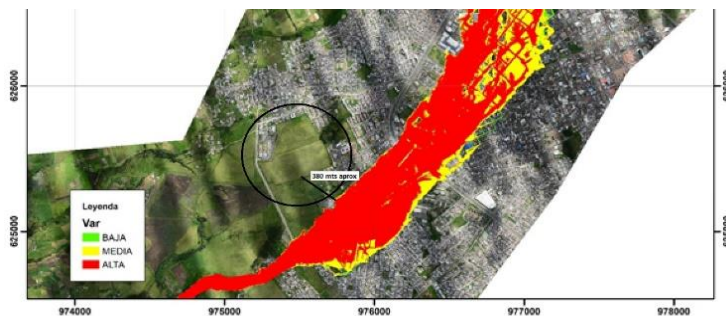


Figura 73: Identificación zona plan parcial frente a la zonificación de amenaza por lahares.
Fuente: Estudios detallados de riesgo por Lahar, Quebrada Mijitayo

De lo anterior, se concluye que la zona objeto de desarrollo del plan parcial, se encuentra por fuera de las áreas de exposición a la amenaza por lahares, condición que es congruente con lo dispuesto en el POT y el plano de actualización de amenaza volcánica del Volcán Galeras 2015. Dicha situación permite que se continúe con las opciones de desarrollo urbanístico sin restricciones ni limitantes frente a este fenómeno, tal y como se encuentra estipulado en la normativa urbanística del Municipio.

2.2.4 Análisis de vulnerabilidad y riesgo

De acuerdo con el Artículo 4 de la Ley 1523 de 2012, el análisis y evaluación del riesgo implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es este el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales estimando el valor de los daños y las pérdidas potenciales, comparando con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo al que estos elementos se encuentran expuestos.

Por tanto, el análisis del riesgo es el subproceso que permite cuantificar el riesgo a través de métricas apropiadas cuyo objetivo es estimar los niveles de daños y pérdidas económicas que pueden presentarse por la ocurrencia de diferentes fenómenos de origen natural y socio-natural, y la probabilidad de que dichos efectos se presenten. Para ello, es necesario contar con información asociada a tres componentes: amenaza, exposición y vulnerabilidad, donde:

- Amenaza: representa la distribución geográfica de un parámetro de intensidad que permite estimar los niveles de daños esperados en los elementos expuestos. El parámetro de intensidad a considerar varía según el tipo de fenómeno que se esté analizando.
- Exposición: corresponde a una base de datos georreferenciada que contiene el inventario de la infraestructura sobre la cual se va a realizar el análisis de riesgo. La base de datos debe contener información asociada a sistemas estructurales, fechas de construcción, número de pisos, tipo de cubierta, y otros parámetros que permitan caracterizar la vulnerabilidad física de los elementos.
- Vulnerabilidad: se representa mediante funciones que relacionan los niveles de daño esperados para diferentes niveles de intensidad, de acuerdo con el fenómeno amenazante que se esté analizando.

Es decir, que si uno de los anteriores elementos no hacen parte de la zona objeto del análisis de riesgo, se podría decir que éste indicador no existe o no es posible de identificación por cuanto no se evidencia probabilidad de daño; en este sentido y teniendo en cuenta que el área de delimitación del Plan Parcial Villa Dolores, se encuentra por fuera de las áreas expuestas a la amenaza por Lahares en el municipio de Pasto y más específicamente en la zona occidental del casco urbano del Municipio, no es posible realizar una categorización del riesgo por cuanto éste indicador es inexistente en la zona, permitiendo así un desarrollo urbanístico sin restricciones de uso, densidades, ocupación y edificabilidad.

2.2.5. Conclusiones

- Teniendo en cuenta que la zona de desarrollo del plan parcial Villa Dolores, pertenece a la Comuna 7, se hizo necesario realizar un análisis de los productos entregados de manera oficial al municipio de Pasto, correspondientes a los resultados del estudio detallado de riesgo por lahar en la cuenca de la quebrada Mijitayo, contratados por la Gobernación de Nariño y entregados de manera oficial al municipio de Pasto, en el mes de octubre de 2020, esto con el fin de ser incorporados al documento técnico de soporte del Plan Parcial en cumplimiento a la normativa prescrita en los Decretos 1807 del 2014 y 1077 del 2015.
- Como resultado del análisis del estudio detallado de riesgo por lahar en la microcuenca de la Quebrada Mijitayo para la zona de estudio se pudo concluir lo siguiente:
 - Según los resultados del análisis y modelamiento de la amenaza por lahares, el área de delimitación del Plan Parcial se encuentra por fuera de la zona expuesta a este fenómeno, por lo tanto, no cuenta con condiciones amenazantes en su área de desarrollo.
 - Acorde a lo anterior se determina que no existe probabilidad de daño en la zona de desarrollo, por lo que su propuesta urbanística puede desarrollarse sin restricciones, ni limitantes frente al fenómeno de flujos de lodo o lahares, tal y como bien se encuentra determinado el Pla de Ordenamiento Territorial vigente para el municipio de Pasto.

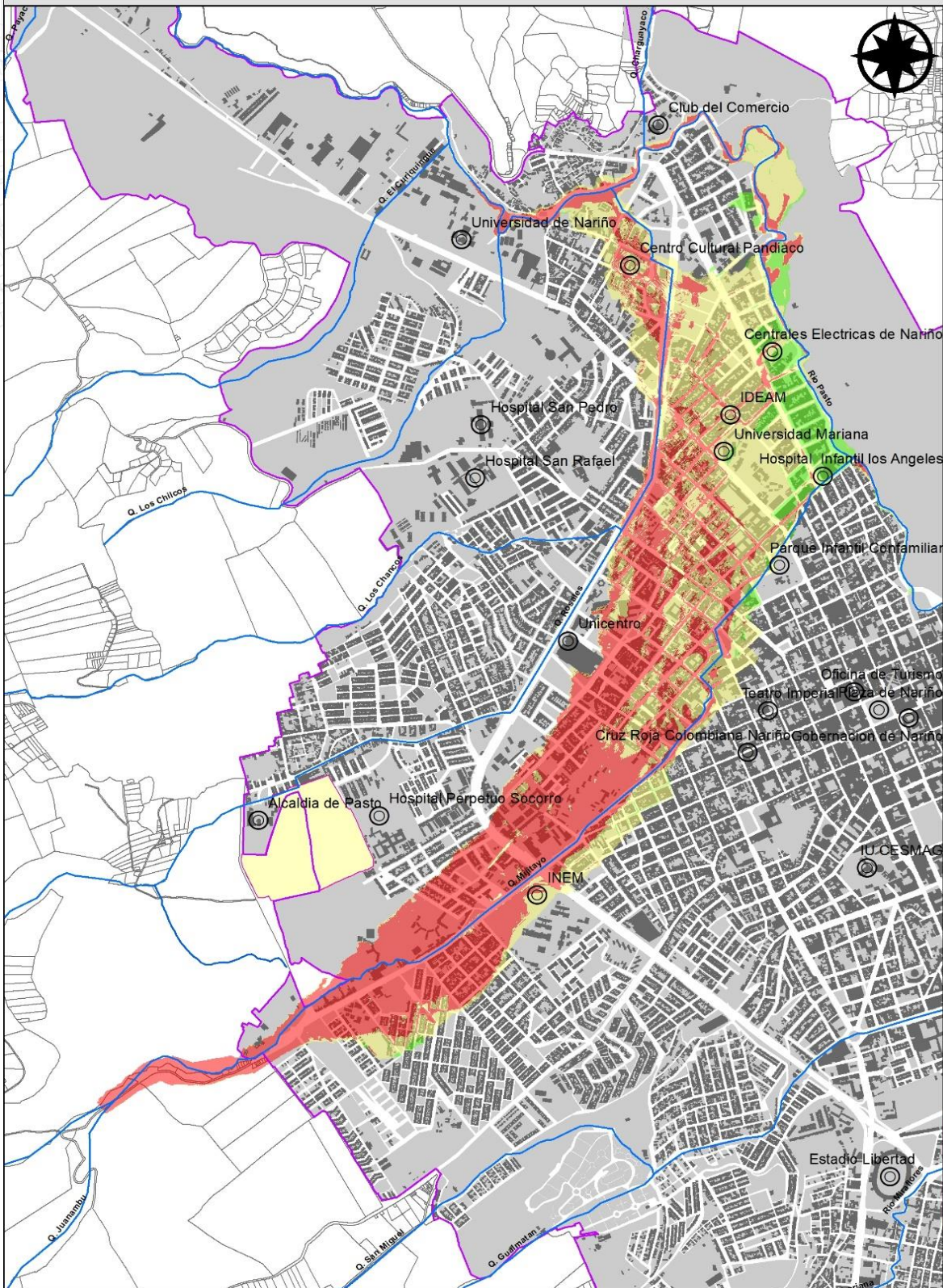


Amenaza por Lahares Mijitayo

ACOSTA RENGIFO
CONSTRUCTORA
S.A.S

Leyenda

- Bajo
- Medio
- Alto



- ### Convenciones
- Red hídrica
 - Perímetro Urbano
 - Perímetro PP Villadores
 - Construcciones urbanas
 - Manzanas
 - Base Predial



Fuente: POT Pasto 2015-2027
Levantamiento Topográfico
Límite del PP Villa Dolores

Elaboración estudio detallado de riesgo por lahar
en la cuenca de la quebrada Mijitayo,
en el municipio de Pasto - Gobernación de Nariño - 2019

250 125 0 250 Meters

Figura 74: Plano Amenaza por Lahar Mijitayo
Fuente: Elaboración propia

2.3 | RIESGO

INUNDACIONES

2.3.1 Amenaza

Para el análisis de cada uno de los fenómenos naturales a desarrollar en el presente estudio se realizará inicialmente una descripción metodológica de cada una de las fases de análisis del fenómeno para posteriormente presentar los principales resultados fruto de la aplicación de dicha metodológica al caso en estudio.

- **Metodología**

Caracterización Fisiográfica de la Cuenca de Aporte

Área y perímetro

La delimitación de la o las cuencas de aporte se utiliza la información cartográfica del Plan de ordenamiento territorial del municipio de Pasto, Empopasto y de la información generada para el desarrollo del Plan Parcial Villa Dolores, la cual, incluye topografía del área de influencia del proyecto, los detalles se presentan en el estudio de caracterización física y ambiental del proyecto.

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

$$t_c = 0.02Lc^{0.77} * \frac{DH^{-0.385}}{Lc} + \frac{2 \beta Lo^{0.467}}{S^{0.5^{0.467}}}$$

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)

β: Parámetro = 0.04

Lo: Longitud del flujo escorrentía en m

S: Pendiente media del cauce

- Método Racional Generalizado

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

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)

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

Donde:

tc: tiempo de concentración (minutos)

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

M: MOPU (0.5)

L: longitud cauce principal (m)

➤ Carter

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

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

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

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 (Km²).

- **Susceptibilidad por inundaciones**

La amenaza por inundaciones metodológicamente es abordada inicialmente con el análisis de susceptibilidad basado en la presencia o ausencia de subunidades geomorfológicas de origen aluvial en el área de estudio, para posteriormente, en caso de que dichas subunidades estén presentes utilizar en el análisis un modelo hidráulico que defina las variables de profundidad y velocidad para posteriormente ser traducidos en niveles de amenaza y riesgo en el área de estudio.

La metodología para construir el mapa de subunidades geomorfológicas se presentan en el estudio de riesgo por movimientos en masa del proyecto en cuestión.

- **Amenaza por inundaciones**

Recopilación de la Información hidro-climatológica

Metodológicamente, el paso inicial para el análisis de inundaciones para de la recopilación y disponibilidad de información hidro-climatológica en el área de estudio. El tipo de información encontrada marca el enfoque del análisis hidro-climatológico de la zona, el cual generalmente se enmarca dentro de transformación lluvia de caudal debido a la escasa información hidrológica en el país de pequeñas fuentes hídricas serranas.

Bajo este escenario, la presencia de estaciones meteorológicas en el área de estudio se vuelva vital, puesto que de ello depende que el análisis, en este caso, de riesgo por inundaciones tenga los elementos mínimos para la confiabilidad del estudio.

Operativamente, el paso inicial corresponde a la búsqueda, localización y análisis de la información disponible de precipitaciones de la zona, para ello se hará una revisión de la base de Datos de la información hidro-climatológica del IDEAM, para posteriormente hacer una selección de la información y análisis de consistencia de las series seleccionadas para ser usadas en la determinación de caudales de diseño para el proyecto en cuestión.

Análisis de Lluvias Máximas

- **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.

➤ 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 δ 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 "H0 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 relacionado con la distribución estadística de la población. Supongamos que se dispone de un estadístico $T(X)$ cuya distribución con respecto a θ , $F_\theta(T)$ se conoce. Supongamos, también, que las hipótesis nula y alternativa tienen la siguiente formulación:

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

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 Ω 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 Ω .

Se escoge Ω 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 coincide o no con la que en realidad es cierta. Se pueden dar los cuatro casos que se exponen a continuación.

Se escogió H_0	No hay Error	Error de Tipo II	No hay Error
Se escogió H_1	Error de Tipo I	No hay Error	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 H1, cuando en realidad es válida H0, se comete un error al cual se denomina error de Tipo I (cuadro inferior izquierdo). Por último, al elegir como cierta H1 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 α , y en las mismas condiciones, se denota por β la probabilidad de cometer el error de tipo II, esto es:

$$P(\text{escoger H1} \mid \text{H0 es cierta}) = \alpha$$

$$P(\text{escoger H0} \mid \text{H1 es cierta}) = \beta$$

El valor α 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 H1 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, α , conduce a incrementar la probabilidad del error de tipo II, β .

Usualmente, se diseñan los contrastes de tal manera que la probabilidad α 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 β , 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 (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005), ver Figura 1.

➤ Prueba Estadística De Datos Dudosos De Chow (OUTLIERS)

Los outlier 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 1), 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).

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

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

Donde:

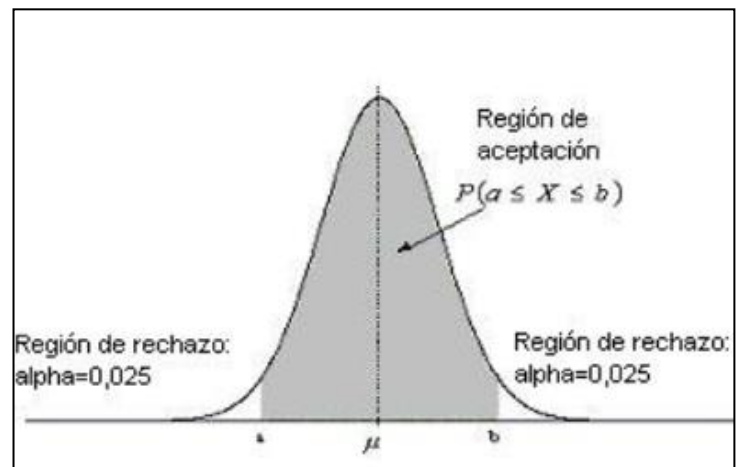
y_L Umbral inferior para datos dudosos en unidades logarítmicas.

μ_y Media de los logaritmos de los caudales.

σ_y Desviación estándar de los logaritmos de los caudales.

K_n Valor tabulado para una muestra de tamaño n

Figura 1. Región de rechazo y aceptación en la distribución normal.



Fuente: (Tucci, 1993).

Tabla 1. K_n para prueba de datos atípicos de Chow.

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		

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

➤ 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 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.

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j-k} (Q_i^j - \bar{Q}^j) * (Q_{i+k}^j - \bar{Q}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j-k} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2}$$

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 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 $v = n_1 + n_2 - 2$ 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 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).

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 $\overline{Q^j}$ del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos $\overline{Q_{60}^j}$ y $\overline{Q_{30}^j}$. 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).

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

Para una sola muestra analizada $j = 1$.

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

$$\overline{Q_{60}^j} = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{Q_k^j}{n_{60}}$$

$$\overline{Q_{30}^j} = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{Q_k^j}{n_{30}}$$

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

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

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

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.

τ_{60}^j , τ_{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 α . 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.

➤ Análisis de frecuencia puntual

El análisis de frecuencia de las precipitaciones diarias máximas anuales de una muestra $Q_{i,T}$, 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 β ,

Exponencial de parámetros x_0 y β ,

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 (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2005), entre los que se cuentan:

Momentos.

Máxima Verosimilitud.

Máxima Entropía.

Momentos L.

Momentos de Probabilidad Pesada, y Mínimos Cuadrados.

➤ 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 Chi² Cuadrado para $k-1-n$ grados de libertad y un nivel de significancia α , 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_α " 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).

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

$\hat{F}_n(x_i)$: 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_α se elige de tal manera que: P (Rechazar H_0/H_0 es cierta) = P ($D > D_\alpha$ / Los datos siguen la distribución probada) = α , siendo α 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).

Construcción Curva Intensidad-duración-Frecuencia IDF

Dependiendo de la información de lluvias disponible se procederá a utilizar la curva IDF de una estación presente en el área de estudio o se procederá a construir las curvas de intensidad-Duración-Frecuencia para las recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años basada en información pluviográfica o en su defecto pluviométrica por medio de desagregación de datos diarios y ajuste no lineal de la información utilizando la función `nlnfit` de Matlab.

➤ Construcción de hietograma de Proyecto

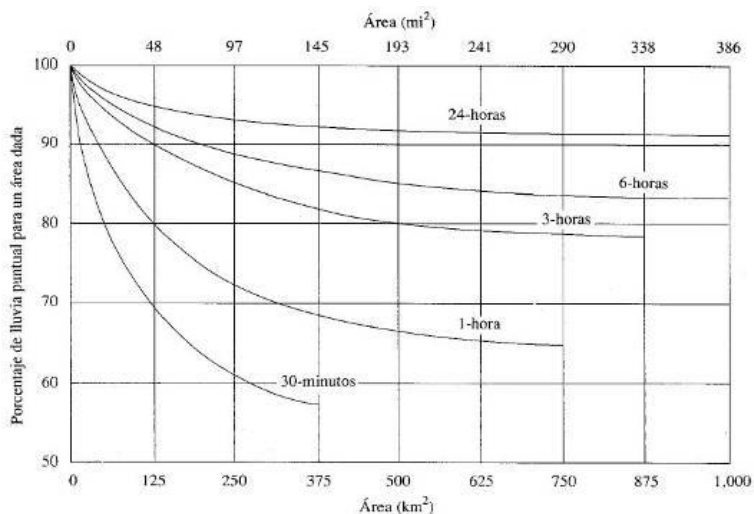
Una vez se encuentre disponible la curvas IDF del área de estudio se construirá el hietograma de proyecto, para ello se debe definir principalmente:

–La intensidad de la lluvia que será estimada con base en la curva IDF, la duración crítica de la lluvia y la recurrencia del fenómeno.

–La duración crítica de la lluvia, la cual estará asociada al tiempo de concentración de la cuenca.

–La discretización temporal de la lluvia se realizará mediante la metodología de bloque alterno, la cual será comparada con patrones temporales definidos en estudios realizados sobre la zona.

–Atenuación áreal basada en el área de la cuenca y duración de la tormenta la cual fue de 3 % de acuerdo con la curva de atenuación área presentada en la figura 2.

Figura 2. Atenuación areal.

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

Análisis de Caudales Máximos

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, 5, 10, 25, 50 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 cuenca. En todos los casos, los algoritmos a emplear estarán en función de la transformación, las pérdidas hidrológicas y el flujo base.

➤ 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 (PO) 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 considerará que los suelos de la zona de estudio pertenecen al grupo hidrológico B de acuerdo con el 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 2, la cual, es un promedio ponderado de los valores iniciales propuestos para Estados Unidos adaptada para el resto del mundo.

Posteriormente, se adecuarán los campos de atributos de cada capa para realizar una intersección a través de código común ponderando de los valores. Se calculará 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 (Agua y SIG, 2017)

Tabla 3.

Tabla 2. Reclasificación uso hidrológico del suelo.

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		

Fuente: (Agua y SIG, 2017)

Tabla 3. Valores de CN según uso de suelo.

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

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Pérdidas iniciales

La abstracción inicial define la cantidad de precipitación que debe caer antes de que se produzca un exceso de superficie. Sin embargo, no es lo mismo que una interceptación inicial o una pérdida inicial, ya que cambiar la abstracción inicial cambia la respuesta de infiltración más adelante en la tormenta. Si este valor se deja en blanco, se calculará automáticamente como 0.2 veces la retención potencial, que se calcula a partir del número de curva. Para este caso, se considerará un escenario crítico donde no existen pérdidas iniciales debido a la saturación del suelo y la superficie.

Transformación: Hidrograma Unitario del SCS.

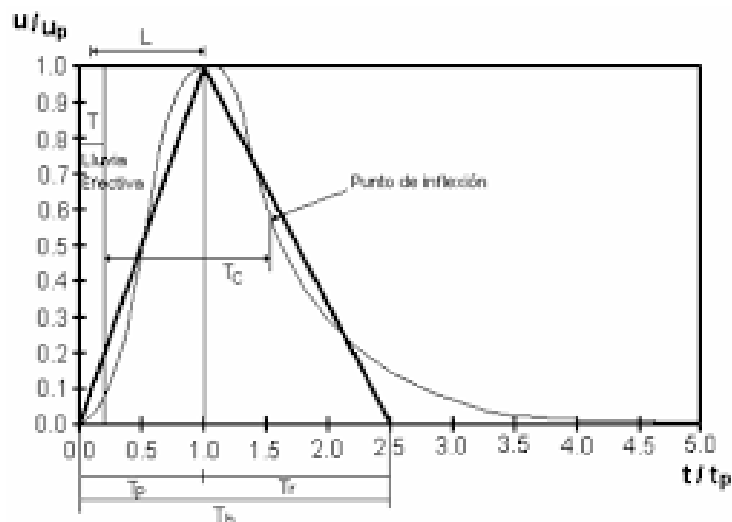
El método de transformación del SCS fue desarrollado para estimar el volumen de salida a través de una precipitación en un área determinada. Este principalmente se utiliza para evaluar las inundaciones en cuencas pequeñas y medianas que cuentan con poca información meteorológica e hidrológica, y son 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 qp y el tiempo por la relación del tiempo t con respecto al tiempo de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario Tp . Dado el qp 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 3, y que ha sido preparado utilizando los hidrogramas unitarios de gran variedad de cuencas. Los valores de qp y Tp pueden estimarse utilizando un modelo simplificado de un hidrograma unitario triangular tal como se observa en la Figura 3.

Impermeabilidad

Basada en el porcentaje de área intervenida y/o urbanizada con respecto al área total de cada cuenca, para ello se utilizó el mapa de coberturas.

Figura 3. Hidrogramas unitarios triangulares del SCS.



Modelo hidráulico para definición de amenaza

Para las simulaciones hidráulicas, se empleará 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 4.

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:

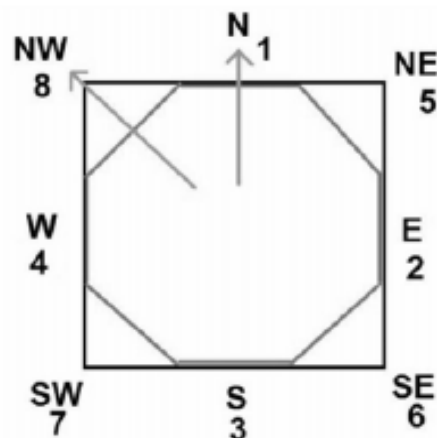
$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$$

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

Donde X, Y, y t, son independientes espacial y temporalmente variables, respectivamente, h corresponde a la profundidad de flujo (variable dependiente); por otro lado, Vx y Vy 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 Sfx y Sfy están escritos en las ecuaciones anteriores en función de la pendiente del lecho Sox y Soy, gradiente de presión y términos de aceleración convectiva y local.

Figura 4. Esquema de rutas de trabajo para cada celda.



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 4.

Tabla 4. Coeficiente de rugosidad n de Manning en superficie.

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, prairie	0.15
Dense	0.24
Bermuda grass	0.41
Light underbrush	0.40
Dense underbrush	0.80

Fuente: Extraído del Manual de Epa SWMM.

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 Δt de 0.05 horas.

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 delineación 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 (alta, media y baja) 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 5 (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 6.

Los colores de los mapas se traducen en áreas con características específicas de amenaza potencial por avenidas torrenciales descritas en la Tabla 7.

Resultados Metodología

Caracterización de la cuenca de aporte

En la Figura 5, se presenta de manera esquemática la delimitación de la cuenca de aporte y las características fisiográficas de mayor importancia de esta, ver Tabla 8.

➤ Tiempo de Concentración

En la Tabla 9 se presentan los valores de los tiempos de concentración de la cuenca en estudio obtenidos por diferentes métodos. En función de las condiciones fisiográficas de las cuencas en estado natural se considera, según la información suministrada por los moradores de estas y la bibliografía consultada (Bertoni, Chevallier, Bouvier, & Desbordes, 2000), (Ven Te Chow, 1994) que la ecuación que mejor representa las mismas, es la ecuación de Dooge, pues este último se ha desarrollado para cuencas montañosas y pequeñas, el cual, para la cuenca Villa Dolores es de 29 minutos.

Por su parte el lago a ser utilizado en la transformación lluvia caudal para la cuenca Villa Dolores y Los Chancos tiene un valor de 17 minutos, 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.

Susceptibilidad ante inundaciones

El análisis de susceptibilidad ante inundaciones basado en la identificación de subunidades geomorfológicas muestra que existen depósitos coluviales (Dco) y lóbulo de flujos de escombros (Vlfe) en el área de estudio, por tanto, se entiende que los fenómenos de inundación y avenidas torrenciales tiene la posibilidad de presentarse, razón por la cual se procede a realizar la identificación de la amenaza ante inundaciones en el predio.

Tabla 5. 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 ² /s)
Alta	$h > 1.5 \text{ m}$	o	$v h > 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$
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 6. Nivel de amenaza por Inundaciones.

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

Tabla 7. Definición de las categorías de Amenaza por Inundaciones.

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

Fuente: (FLO-2D Software, Inc., 2018).

Tabla 8. Características fisiográficas de las cuencas en estudio.

Nombre de Cuenca	Área (Km ²)	Longitud escurrimient o principal (m)	Desnivel (m)	Pendiente Cauce Principal (m/m)
Rosales	3.7	4690	1028	0.193
Escurrimient o difuso	0.33	-	223	-

Tabla 9. Cálculo del tiempo de concentración para la cuenca de aporte.

No	ID, Unidad Hidrológica	Kirpich	California Culverts Practice	Rams er - Kerby	Método Racional Generalizado	FAA	Carter	Dooge
1	Rosales	25 min	23 min	43 min	44 min	50 min	23 min	29 min

Tabla 10. Coordenadas geográficas, sistema de referencia Magna Colombia Oeste, 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

Amenaza ante Inundaciones

➤ Información hidro-climatológica disponible

La estimación de la lluvia de proyecto parte del análisis de la precipitación máxima 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 la serie completa de datos, es decir, desde el año de su instalación. En la Tabla 10, se puede observar las coordenadas geográficas de las estaciones analizadas en este estudio y en la Figura 8, se puede observar la localización geográfica de las mismas.

Las series seleccionadas de las estaciones del IDEAM Wilquipamba (1991-2019) y Universidad de Nariño (2005-2019), con códigos 52045070 y 52045080 respectivamente, y un total de 29 y 15 años, los valores de las series se presentan en la Tabla 11.

Fuente: Extraído del Manual de Epa SWMM.

Tabla 11. Serie de Precipitaciones Máximas Diarias Estación Wilquipamba y Universidad de Nariño.

Año	Pp max diaria anual Wilquipamba	Pp 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.

Fuente: Extraído del Manual de Epa SWMM.

Análisis de lluvias máximas

- 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 que los mínimos y los máximos de las series se encuentra en el rango de aceptación de la distribución normal para un nivel de significancia del 5%, tal como se muestra en la Tabla 12 para la estación Wilquipamba y Tabla 13 para la estación Universidad de Nariño.

Tabla 12. Resultados pruebas de Datos Dudosos o Outliers serie Wilquipamba.

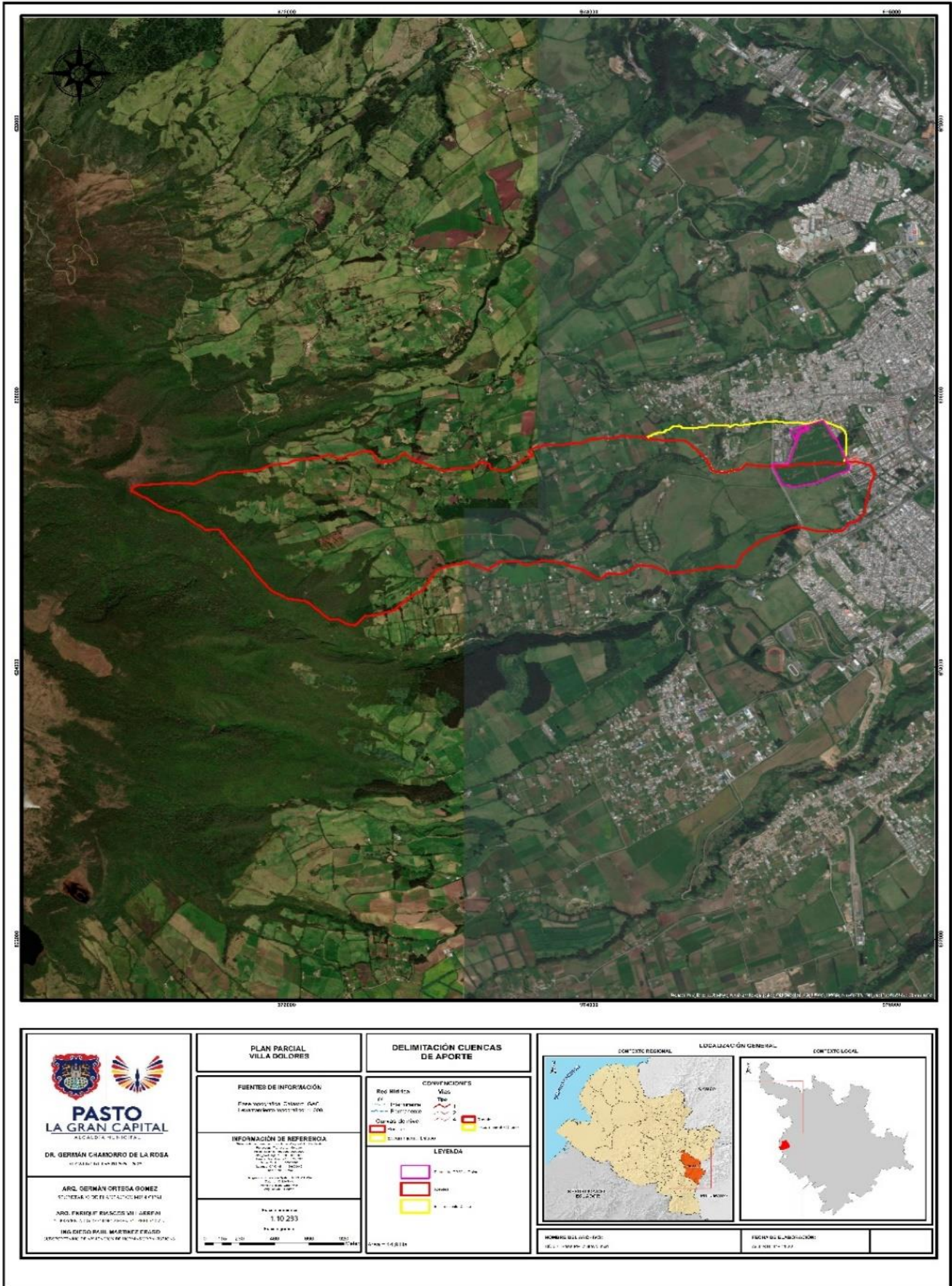
Valor	Máximo	Minimo
Serie	67	28.4
Rango de Aceptación	73.84	22.16

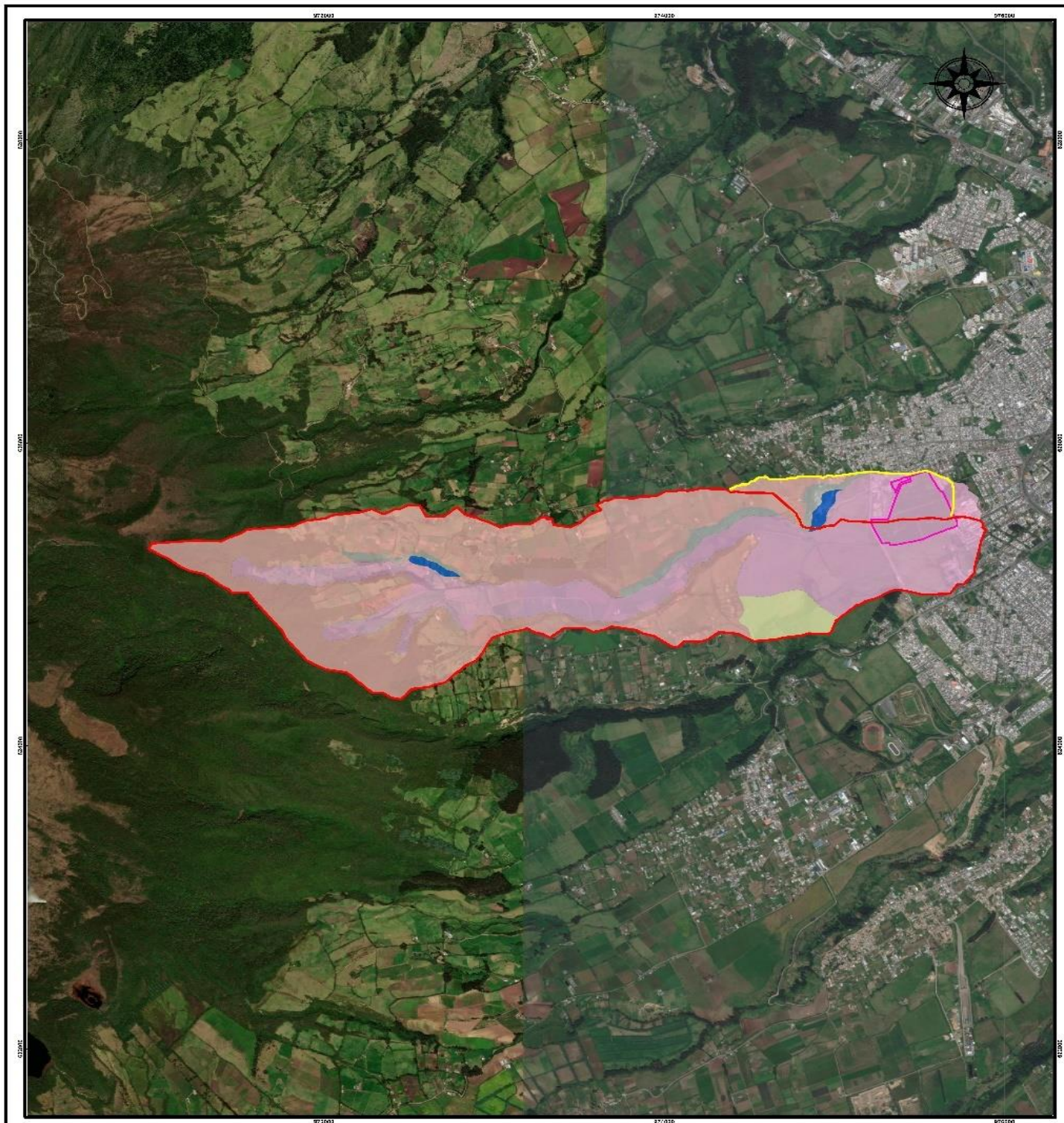
Tabla 13. Resultados pruebas de Datos Dudosos o Outliers serie Universidad de Nariño.

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 9 y Figura 10, se puede apreciar que los coeficientes de autocorrelación se encuentran por lo menos en un 95 % dentro del límite de confianza establecido.

Figura 5. Delimitación cuenca de aporte al predio de estudio







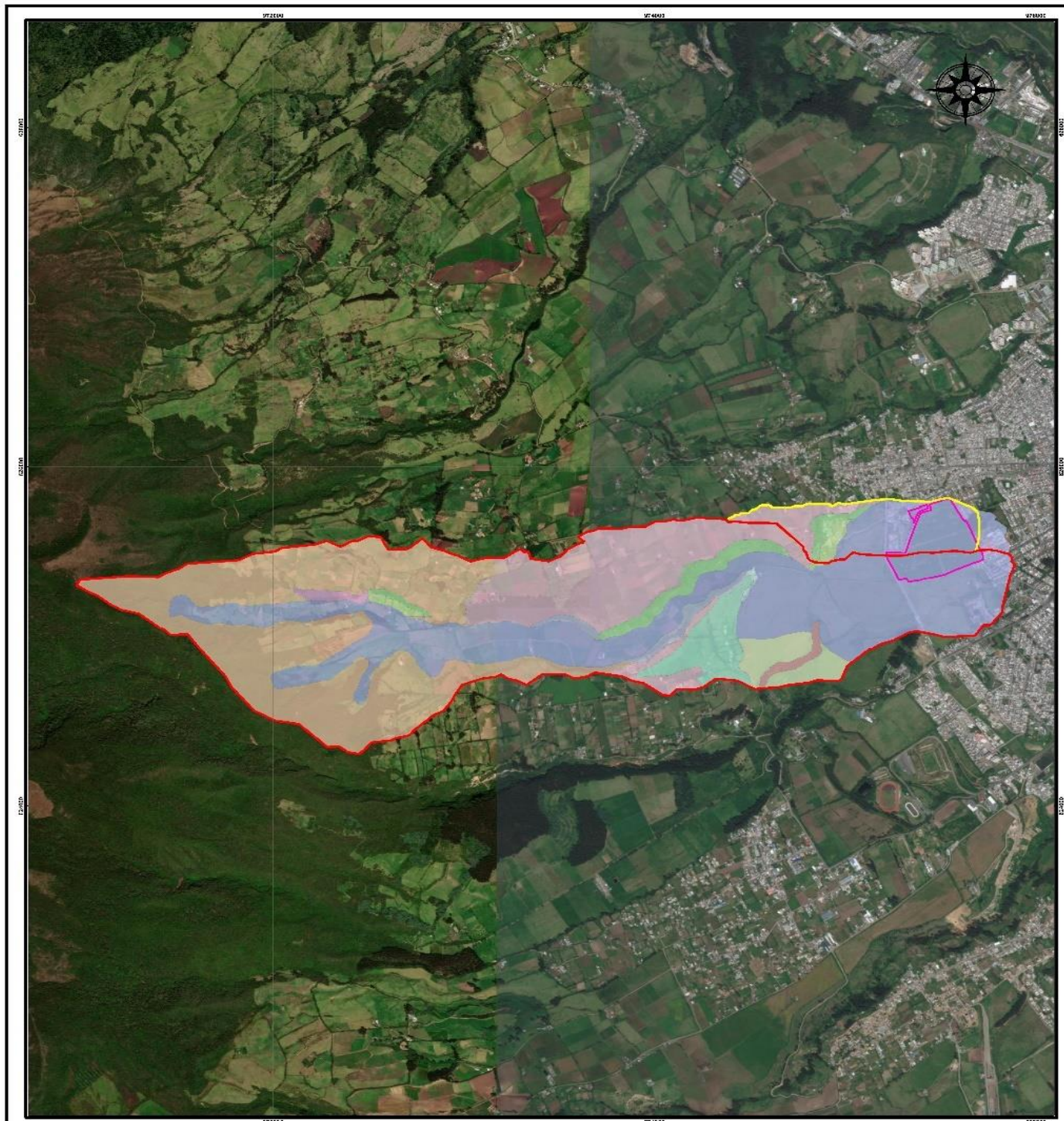
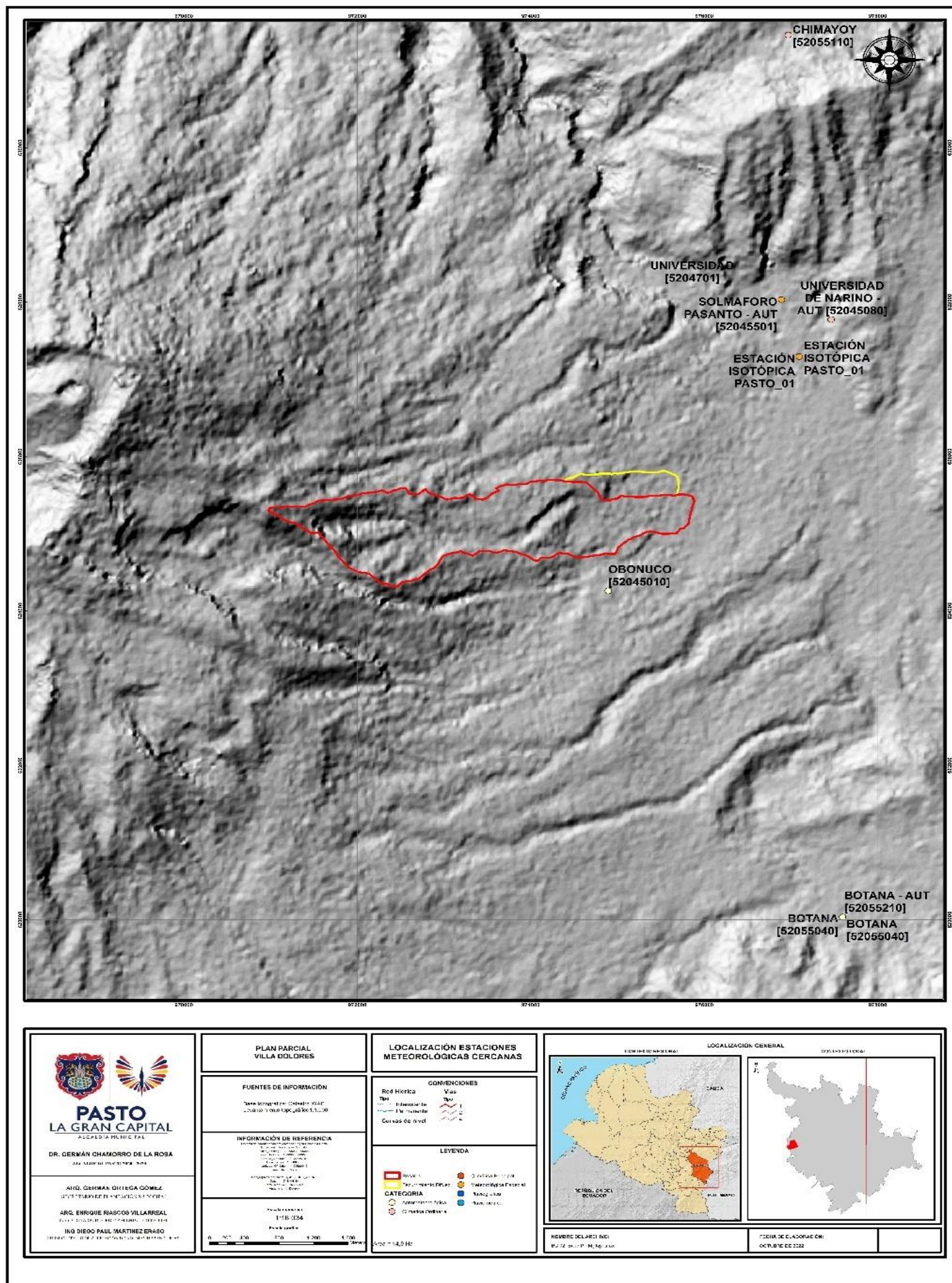
 <p>PASTO LA GRAN CAPITAL ALCALDÍA MUNICIPAL</p> <p>DR. GERMAN CHAMORRO DE LA ROSA ALCALDE MUNICIPAL</p> <p>ING. GERMAN ORTIGA GOMEZ INGENIERO DE INGENIERIA CIVIL</p> <p>ING. ENRIQUE RIASCOS VILLARREAL INGENIERO DE INGENIERIA CIVIL</p> <p>ING. DIEGO PAUL MARTINEZ ERASO INGENIERO DE INGENIERIA CIVIL</p>	<p>PLAN PARCIAL VILLA DOLORES</p>	<p>UNIDADES GEOLÓGICAS DE SUELO</p>	<p>LOCALIZACIÓN GENERAL</p> 
	<p>FUENTES DE INFORMACIÓN</p> <p>Sección Topografía del INEGI - 2020 2020107 1 0100 1000_00 000 3.1.1.00</p>	<p>CONVENIONES</p> <p>Red Hórica</p> <p>Tipo: Estación de Curvas de nivel</p> <p>Vías</p> <p>Asfalto Tierra Camión</p>	<p>LEYENDA</p> <p>Unidad</p> <p>Unidad de tipo I Unidad de tipo II Unidad de tipo III Unidad de tipo IV</p>

Figura 7. Geomorfología del área de estudio.



 PASTO LA GRAN CAPITAL ALCALDÍA MUNICIPAL DR. GERMÁN CHAMORRO DE LA ROSA ALCALDE MUNICIPAL ING. GERMÁN GUTIÉRREZ GÓMEZ DISTRIBUIDOR TÉCNICO Y COMERCIAL ING. ENRIQUE RIBASO VILLAREAL DISTRIBUIDOR TÉCNICO Y COMERCIAL ING. DIEGO PAUL MARTÍNEZ ERASO DISTRIBUIDOR TÉCNICO Y COMERCIAL	<p>PLAN PARCIAL VILLA DOLORES</p>	<p>MAPA GEOMORFOLÓGICO PPVD</p>	<p>COORDENADAS UTM ZONA 18Q EJE X EJE Y</p>																	
	<p>FUENTES DE INFORMACIÓN</p> <p>Se utilizó información de la cartografía oficial del INEGI, 2010 y de la cartografía de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente de la Gobernación de Cauca, 2010.</p>	<p>CONVENIONES</p> <p>Rod Hórica Vías Influencia de El agua Corvas de nivel</p>	<p>LOCALIZACIÓN GENERAL</p>	<p>LEYENDA</p> <table border="1"><tr><td>[Red outline]</td><td>Limite del Plan</td></tr><tr><td>[Yellow]</td><td>Planicie de inundación</td></tr><tr><td>[Blue]</td><td>Fan aluvial</td></tr><tr><td>[Green]</td><td>Montaña</td></tr><tr><td>[Light Green]</td><td>Montaña Baja</td></tr><tr><td>[Light Blue]</td><td>Montaña Media</td></tr><tr><td>[Light Purple]</td><td>Montaña Alta</td></tr><tr><td>[Pink]</td><td>Planicie de inundación</td></tr></table>	[Red outline]	Limite del Plan	[Yellow]	Planicie de inundación	[Blue]	Fan aluvial	[Green]	Montaña	[Light Green]	Montaña Baja	[Light Blue]	Montaña Media	[Light Purple]	Montaña Alta	[Pink]	Planicie de inundación
	[Red outline]	Limite del Plan																		
	[Yellow]	Planicie de inundación																		
[Blue]	Fan aluvial																			
[Green]	Montaña																			
[Light Green]	Montaña Baja																			
[Light Blue]	Montaña Media																			
[Light Purple]	Montaña Alta																			
[Pink]	Planicie de inundación																			
<p>INFORMACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>El presente Plan Parcial se elaboró de acuerdo con el artículo 70 del Decreto 1712 de 2014, expedido por el Gobierno Nacional, que modifica el artículo 70 del Decreto 2686 de 1991, expedido por el Gobierno Nacional, y el artículo 70 del Decreto 1712 de 2014, expedido por el Gobierno Nacional, que modifica el artículo 70 del Decreto 2686 de 1991, expedido por el Gobierno Nacional.</p> <p>Escala: 1:50,000 Proy. UTM Datum: WGS 84</p>	<p>LEYENDA</p> <table border="1"><tr><td>[Blue]</td><td>Vías</td></tr><tr><td>[Light Blue]</td><td>Vías</td></tr><tr><td>[Light Green]</td><td>Vías</td></tr><tr><td>[Light Purple]</td><td>Vías</td></tr><tr><td>[Light Blue]</td><td>Vías</td></tr><tr><td>[Light Purple]</td><td>Vías</td></tr></table>	[Blue]	Vías	[Light Blue]	Vías	[Light Green]	Vías	[Light Purple]	Vías	[Light Blue]	Vías	[Light Purple]	Vías	<p>REVERE DEL AREA INE RUE DE CALDAS DE 2022</p>	<p>FECHA DE ELABORACIÓN: OCTUBRE DE 2022</p>					
[Blue]	Vías																			
[Light Blue]	Vías																			
[Light Green]	Vías																			
[Light Purple]	Vías																			
[Light Blue]	Vías																			
[Light Purple]	Vías																			
<p>0 100 200 400 600</p>	<p>0 100 200 400 600</p>																			

Figura 8. Localización geográfica estaciones IDEAM cercanas al área de estudio.



<p>PASTO LA GRAN CAPITAL ALCALDÍA MUNICIPAL DR. GERMÁN CHAMORRO DE LA ROSA ALCALDE MUNICIPAL</p> <p>ING. GERMAN ORTEGA GÓMEZ INGENIERO EN INGENIERÍA AMBIENTAL</p> <p>ING. ENRIQUE RASCO VILLARREAL INGENIERO EN INGENIERÍA AMBIENTAL</p> <p>ING. DIEGO PAUL MARTÍNEZ ERASO INGENIERO EN INGENIERÍA AMBIENTAL</p>	<p>PLAN PARCIAL VILLA DOLORES</p>	<p>LOCALIZACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS CERCANAS</p>	<p>LOCALIZACIÓN GENERAL</p>	
	<p>FUENTES DE INFORMACIÓN</p> <p>Mapa topográfico de Colombia (IGAC) Código: 1:500,000, Ed. 2003, 1:100,000</p>	<p>CONVENIONES</p> <p>Rod. Nacional: Vías Tercer Orden: Vías Carrizales: Vías Carrizales de nivel: Vías</p>	<p>LEYENDA</p> <p>Estación Meteorológica: Símbolo de estación Estación Isotópica: Símbolo de estación isotópica Estación de Nivel: Símbolo de estación de nivel</p>	<p>REVERE DEL ARCHIVO: 10/12/2011 10:40:11 AM</p>
	<p>INFORMACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>Proyecto: 118-034 Fecha: 2011</p>	<p>CATEGORÍA</p> <p>Estación Meteorológica: Símbolo de estación Estación Isotópica: Símbolo de estación isotópica Estación de Nivel: Símbolo de estación de nivel</p>	<p>REVERE DEL ARCHIVO: 10/12/2011 10:40:11 AM</p>	<p>FECHA DE ELABORACIÓN: OCTUBRE DE 2011</p>
	<p>0 100 200 300 400 500</p>	<p>0 100 200 300 400 500</p>	<p>0 100 200 300 400 500</p>	<p>0 100 200 300 400 500</p>

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 14.

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 15.

}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 ajusto mejor con la distribución de probabilidades de Exponencial X_0 y β , ajustada por el método de Momentos (utilizando conjuntamente criterios estadísticos y gráficos), los resultados se presentan en la Figura 11 y Tabla 16.

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 12 y Tabla 17.

Figura 9. Resultado de prueba de independencia Correlograma de Anderson serie Wilquipamba.

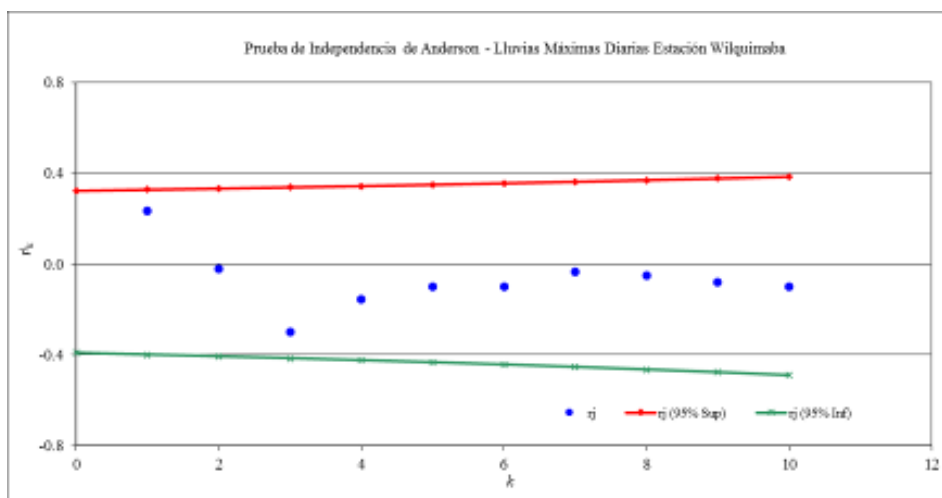


Figura 10. Resultado de prueba de independencia Correlograma de Anderson serie Universidad de Nariño.

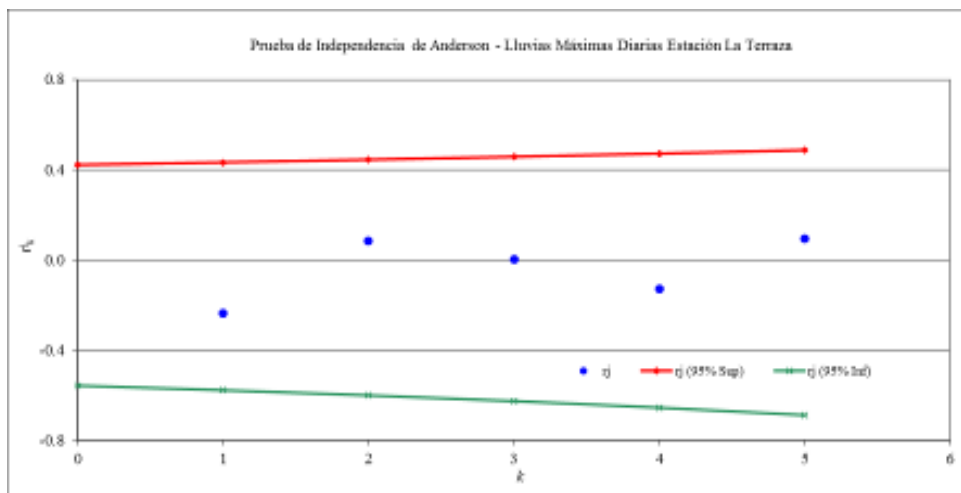


Tabla 14. Resultados de las pruebas de homogeneidad serie Wilquipamba.

Serie de Precipitaciones Máximas Diarias Estación Wilquipamba								
Prueba de Homogeneidad de Helmer			Prueba t de Student		Prueba de Cramer			
Nº de S	Nº de C	S - C	Estadístico t:	-0.36	τ_{60}	-0.00911		
15	13	2	Grados de Libertad	27	τ_{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 15. Resultados de las pruebas de homogeneidad serie Universidad de Nariño.

Serie de Precipitaciones Máximas Diarias Estación La Terraza Udenar								
Prueba de Homogeneidad de Helmer			Prueba t de Student		Prueba de Cramer			
Nº de S	Nº de C	S - C	Estadístico t:	0.33	τ_{60}	-0.14733		
2	12	-10	Grados de Libertad	13	τ_{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								

□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 β , ajustada por el método de Momentos (utilizando conjuntamente criterios estadísticos y gráficos), los resultados se presentan en la Figura 11 y Tabla 16.

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 12 y Tabla 17.

Las precipitaciones máximas diarias anuales para los diferentes tiempos de retorno de la estación Wilquipamba se presentan en la Tabla 18, y para la estación Universidad de Nariño se presentan en la Tabla 19.

Construcción Curva Intensidad-Duración-Frecuencia

La recurrencia de la lluvia analizada, en función de lo requerido será de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Se contruyeron la curva IDF de la estación Wilquipamba, universidad de Nariño y se tomó la curva IDF oficial del IDEAM de la estación Obonuco. El objetivo de su estimación fue la verificación del comportamiento local de las lluvias, siendo esta última la adoptada para la estimación de los hietogramas de proyecto, por ser la curva oficial de la estación y estar más cerca al área de estudio.

Tabla 16. Valores de Error Estándar de Ajuste de las distribuciones que mejor representan a los datos de la estación Wilquipamba.

Distribución	Método de Ajuste	E.E.A. [m]
Uniforme	Momentos	3.4297
Uniforme	Máxima Verosimilitud	7.1067
Exponencial β	Momentos y M. Verosimilitud	20.4075
Exponencial x_0 y β	Momentos	1.6868
Exponencial x_0 y β	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

Tabla 17. 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 β	Momentos y M. Verosimilitud	20.0739
Exponencial x_0 y β	Momentos	2.7479
Exponencial x_0 y β	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

Figura 11. Ajuste gráfico de la distribución Exponencial X_0 y β ajustada por Momentos.

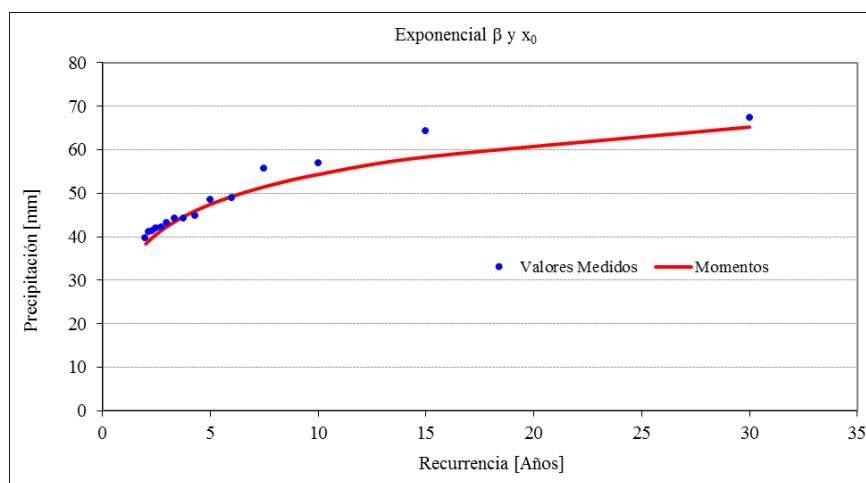


Figura 12. Ajuste gráfico de la distribución Gumbel ajustada por el método de Momentos.

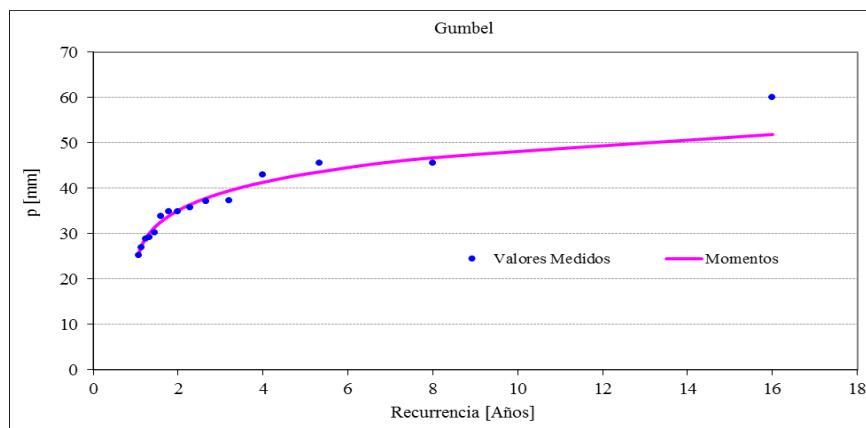


Tabla 18. Precipitación [mm] asociados a distintos tiempos de retorno. Estación Wilquipamba. Distribución: Exponencial
Xo y β ajustada por Momentos.

Recurrencia: T	Valor de Caudal: X _T
	Momentos
2	38
5	47
10	54
20	61
25	63
50	70
100	77

Tabla 19. 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

- Curva Ajustada de Forma No Lineal, estación Wilquipamba

$$i = \frac{347.22 \cdot T_R^{0.1653}}{(D + 9.43)^{0.719}}$$

- 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 20 se observa los coeficientes para diferentes tiempos de retorno.

$$i = \frac{C1}{(D + X0)^{C2}}$$

Tabla 20. Coeficientes para diferentes tiempos de retorno, estación Obonuco.

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

Fuente: IDEAM.

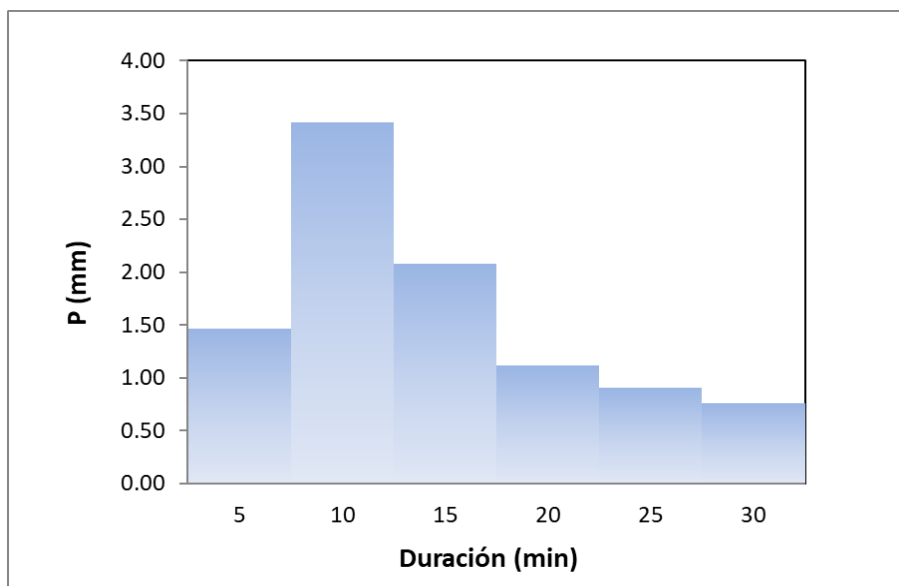
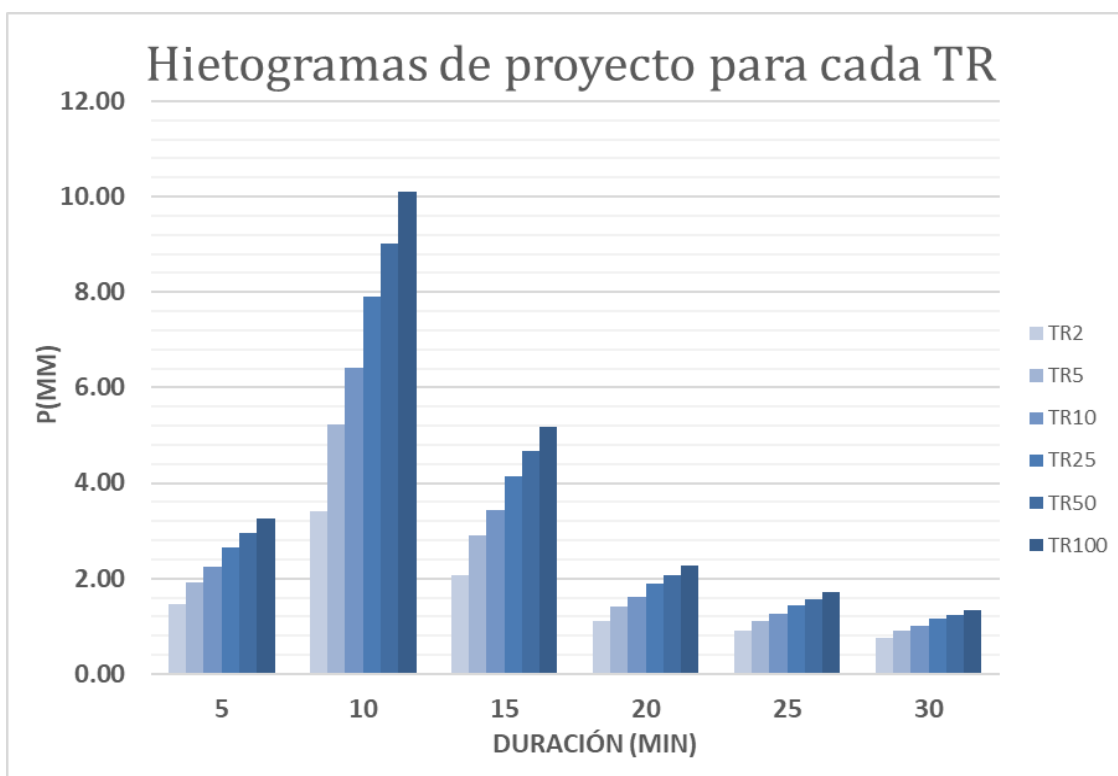
➤ Hietograma de Proyecto

Considerando, la discretización temporal interna de la lluvia analizada efectuada mediante la metodología de bloque alterno, la duración crítica de la lluvia 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 21 y Figura 13.

Siguiendo la metodología anteriormente descrita, se procedió a estimar los hietogramas restantes. Los resultados para los diferentes tiempos de retorno se presentan en la Figura 14.

Tabla 21. Hietograma de Proyecto cuenca Rosales, Tiempo Retorno 2 años

	1	2	3	4	5	6
Duración (min)	5	10	15	20	25	30
Intensidad(mm/h)	42.32	34	28.69	24.98	22.23	20.09
Precipitación (mm)	3.53	5.67	7.17	8.33	9.26	10.04
δP (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 13. Hietograma de Proyecto Cuenca Rosales, TR 2 años.**Figura 14.** Hietograma de Proyecto cuenca Rosales, TR 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

➤ Estimación de caudales Máximos

Estimación CN

Para la estimación del CN se tuvo en cuenta las coberturas de suelo en las cuencas obtenido a partir del procesamiento de imágenes satelitales disponibles en el área de estudio, el detalle de su construcción ver en el componente ambiental del proyecto. En la Figura 15 se presenta de manera esquemática el resultado de la clasificación de suelos por el método S.C.S., con predominancia de coberturas de pastos limpios y arbolados, el valor ponderado de CN fue de 75.3 para la condición de

humedad antecedente III. El hidrograma crítico al cierre de la cuenca en estudio correspondiente a un Tiempo de Retorno de 2 años se presenta en la Tabla 22 y Figura 16. El caudal máximo asociado a este tiempo es de 4 m³/s.

Tabla 22. Hidrograma de salida cuenca Rosales, TR de 2 años.

Fecha	Hora	Q (m ³ /s)	Fecha	Hora	Q (m ³ /s)
1-sep-22	0:00	0	1-sep-22	0:48	2.3
1-sep-22	0:02	0	1-sep-22	0:50	1.9
1-sep-22	0:04	0	1-sep-22	0:52	1.6
1-sep-22	0:06	0	1-sep-22	0:54	1.4
1-sep-22	0:08	0.1	1-sep-22	0:56	1.1
1-sep-22	0:10	0.2	1-sep-22	0:58	0.9
1-sep-22	0:12	0.3	1-sep-22	1:00	0.8
1-sep-22	0:14	0.6	1-sep-22	1:02	0.7
1-sep-22	0:16	1	1-sep-22	1:04	0.5
1-sep-22	0:18	1.4	1-sep-22	1:06	0.5
1-sep-22	0:20	1.9	1-sep-22	1:08	0.4
1-sep-22	0:22	2.4	1-sep-22	1:10	0.3
1-sep-22	0:24	2.9	1-sep-22	1:12	0.3
1-sep-22	0:26	3.3	1-sep-22	1:14	0.2
1-sep-22	0:28	3.6	1-sep-22	1:16	0.2
1-sep-22	0:30	3.8	1-sep-22	1:18	0.2
1-sep-22	0:32	3.9	1-sep-22	1:20	0.1
1-sep-22	0:34	4	1-sep-22	1:22	0.1
1-sep-22	0:36	3.9	1-sep-22	1:24	0.1
1-sep-22	0:38	3.8	1-sep-22	1:26	0.1
1-sep-22	0:40	3.5	1-sep-22	1:28	0.1
1-sep-22	0:42	3.2	1-sep-22	1:30	0.1
1-sep-22	0:44	2.9	1-sep-22	1:32	0
1-sep-22	0:46	2.6			

Figura 15. Coberturas de suelo cuencas de aporte Plan Parcial Villa Dolores.

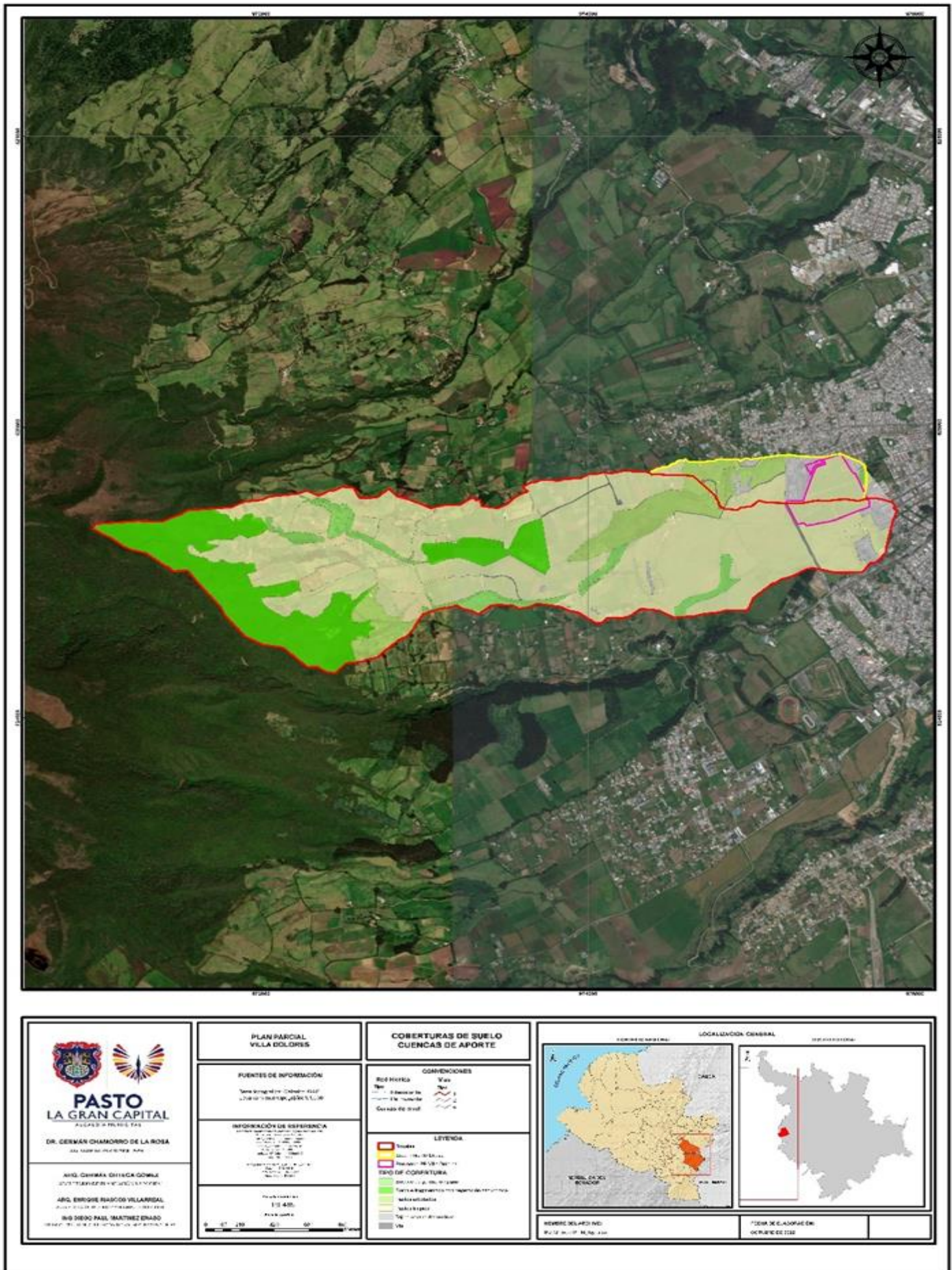
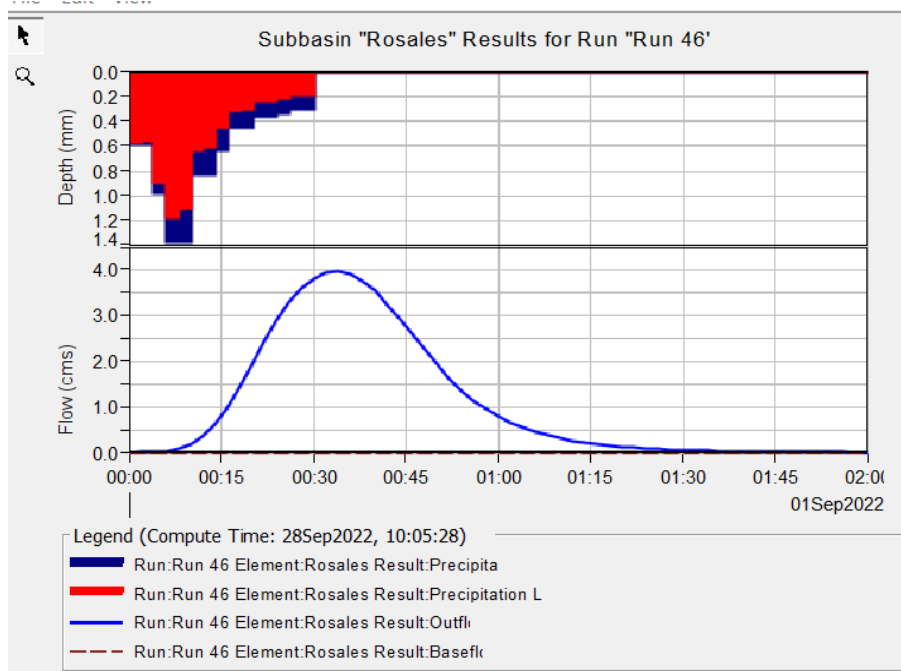
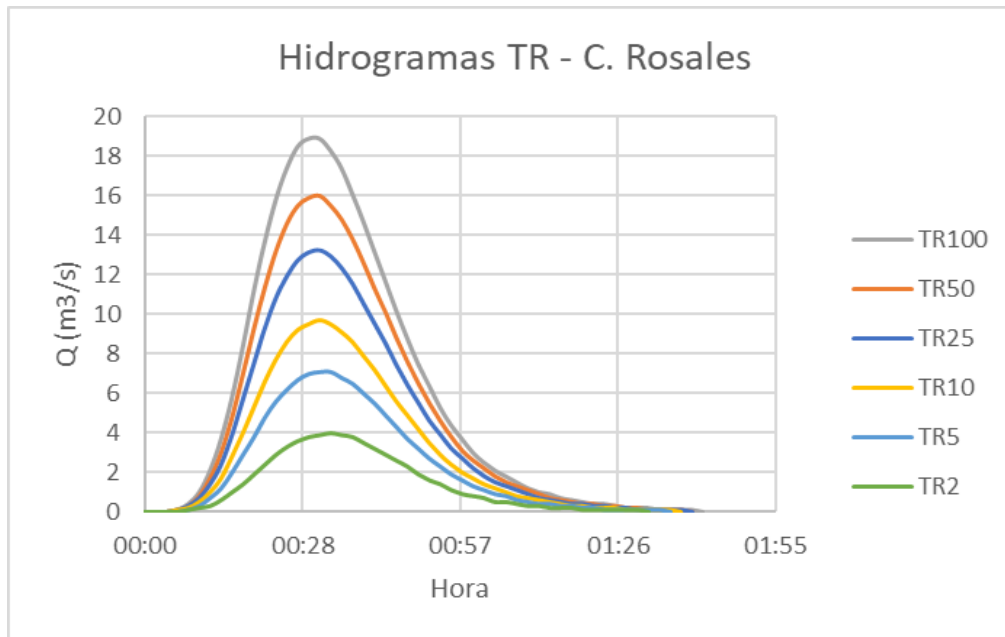


Figura 16. Caudal máximo cuenca Rosales, para una lluvia de TR 2 años.

Siguiendo la metodología anteriormente descrita, se procedió a estimar los hidrogramas restantes. Los resultados para los diferentes tiempos de retorno se presentan en la Figura 17.

Figura 17. Hidrogramas para diferentes tiempos de retorno – cuenca Rosales.

El resumen de los caudales líquidos obtenidos para la cuenca Rosales se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23. Caudal máximo cuenca Rosales, para una lluvia de TR 2 años.

Tiempo de Retorno (Años)	Villa Dolores (m ³ /s)
2	4
5	7.1
10	9.7
25	13.2
50	16
100	18.9

➤ Modelamiento hidráulico 2D

Los resultados de las máximas profundidades de flujo con respecto a las simulaciones planteadas para los TR 2, 5, 10, 25, 50 y 100 se presentan en la Figura 18 y Figura 19, presentando un valor máximo de 1.1 m. Por su parte, en la Figura 20 y Figura 21 se presenta el resultado de velocidades máximas de flujo, siendo 4.19 m/s el valor más elevado. Ambos valores críticos se presentaron en el TR 100.

Cabe destacar que, los valores de velocidades máximas, se presentaron en los tramos de mayor pendiente del cauce, lo cual, es coherente con la literatura del comportamiento de flujos en terrenos con altas pendientes. Por su parte, la zona que se presenta inundada aguas abajo, corresponde a una llanura de inundación de la quebrada y como se puede observar en las figuras y sus convenciones, las láminas de flujo son muy bajas con valores entre 14 - 33 cm aproximadamente, luego esta es disipada y por tanto, las velocidades en esta zona se encuentran en un rango de 0.4 a 0.5 m/s.

➤ Amenaza Por inundación

En la Figura 22, se presenta los niveles de amenaza por fenómeno de inundación obtenidos a través de la metodología propuesta y teniendo como insumo la simulación hidráulica anteriormente presentada.

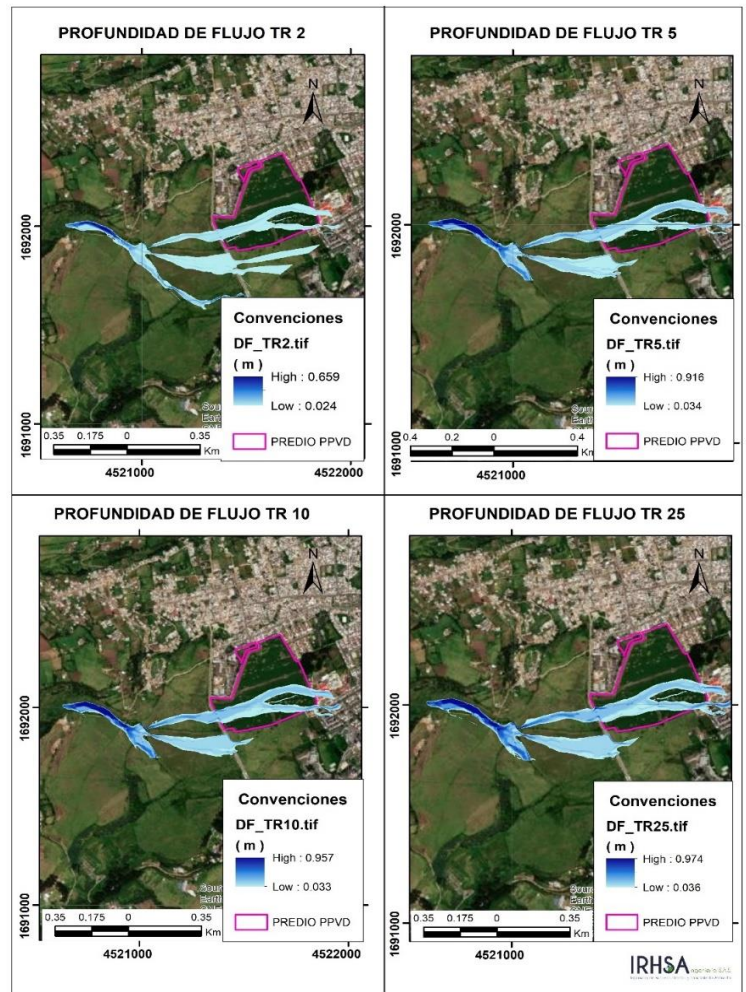
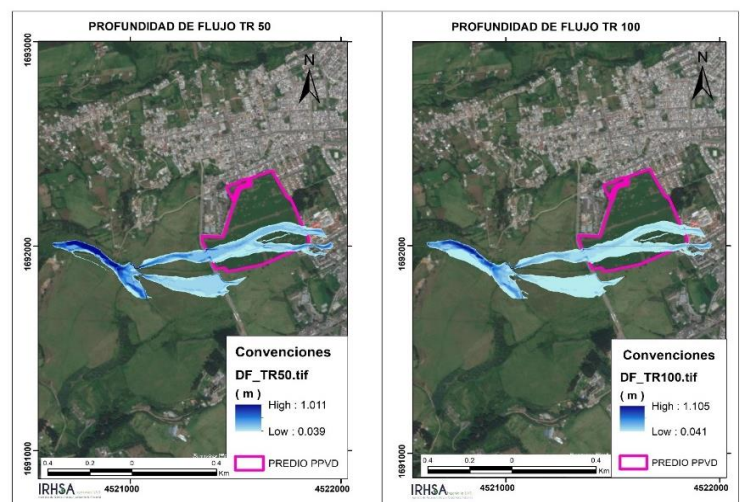
Figura 18. Profundidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años**Figura 19.** Resultados de profundidad de flujo para TR 50 y 100 años.

Figura 20. Resultados de velocidad de flujo para TR 2, 5, 10 y 25 años.

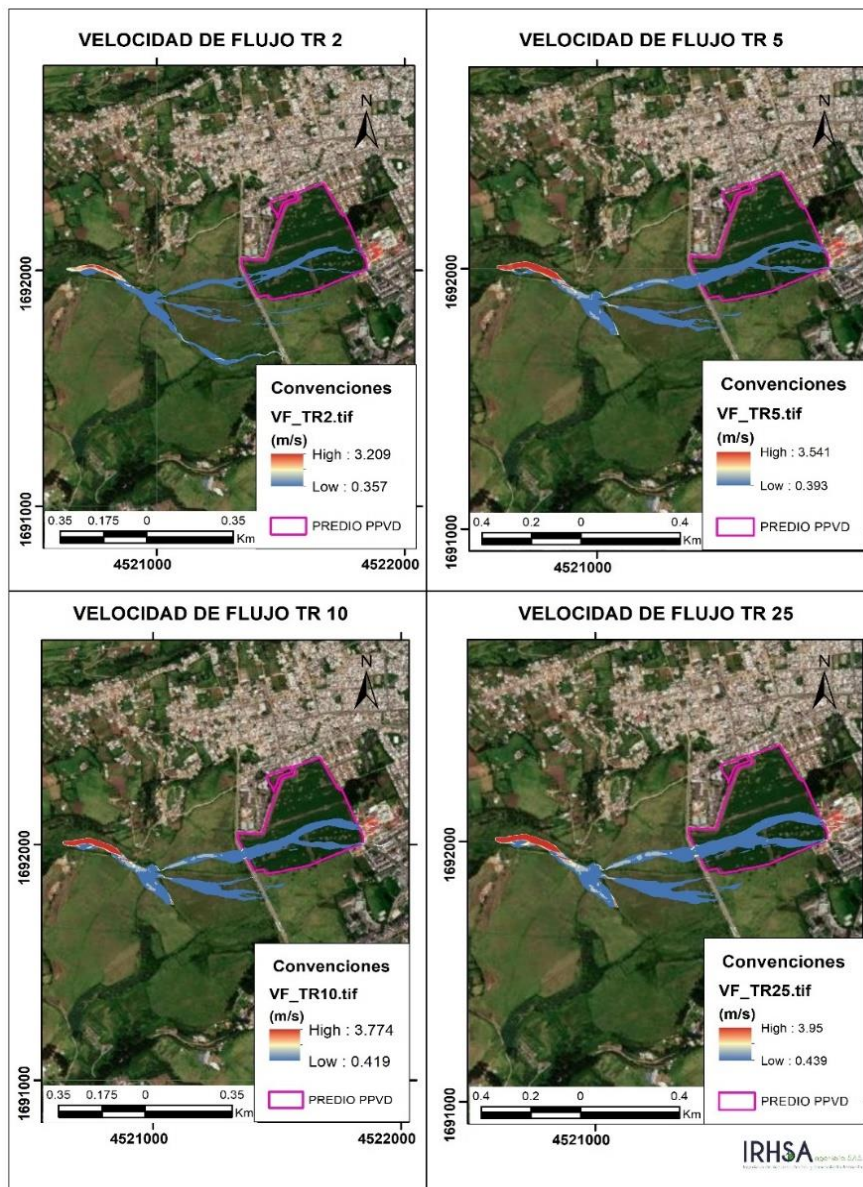


Figura 21. Resultados de velocidad de flujo para TR 50 y 100 años.

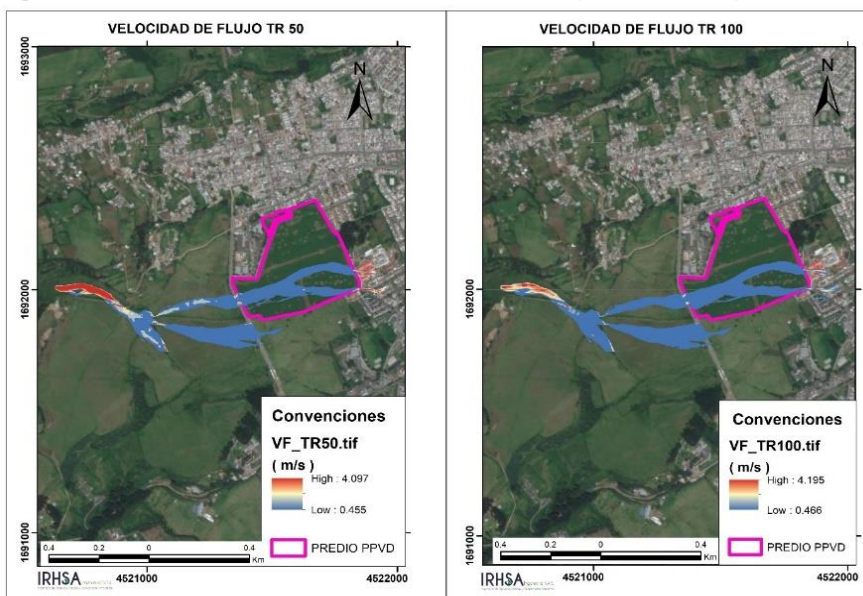



Figura 22. Amenaza por inundación PPVD.



 <p>PASTO LA GRAN CAPITAL ALCALDÍA MUNICIPAL</p> <p>DR. GERMÁN CHAMORRO DE LA ROSA ALCALDE MUNICIPAL 2021-2024</p> <p>ARQ. GERMÁN ORTEGA GÓMEZ SECRETARÍA DE PLANEACIÓN MUNICIPAL</p> <p>ARQ. ENRIQUE BASCOS VILLARREAL INGENIERO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO</p> <p>ING. DIEGO PAUL MARTÍNEZ ERASO INGENIERO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO</p>	<p>PLAN PARCIAL VILLA DOLORES</p>	<p>AMENAZA POR FENÓMENO DE INUNDACIÓN</p>	<p>LOCALIZACIÓN GENERAL</p> 	
	<p>FUENTES DE INFORMACIÓN</p> <p>Base topográfica: Catastral (CAD). Localización: topografía: 1:200</p>	<p>CONVENCIONES</p> <p>Red Hidráulica: Tipo: Línea (1) de Participante Curvas de nivel</p> <p>Walls Tipo: 1m 2m 3m</p>	<p>LEYENDA</p> <p>ZONIFICACIÓN DE AMENAZA</p> <p>PPVD (1:1,272) S43</p>	<p>LOCALIZACIÓN LOCAL</p> 
	<p>INFORMACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>PROYECTO DE PLAN PARCIAL DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENO DE INUNDACIÓN DE VILLA DOLORES</p> <p>Escala numérica: 1:1,272 Escala gráfica</p>	<p>0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Metros</p>	<p>NOMBRE DEL ARCHIVO: BO DE BOA PP Villa Dolores</p>	<p>FECHA DE ELABORACIÓN: NOVIEMBRE DE 2022</p>

2.3.2 Vulnerabilidad y Riesgo

La definición de la vulnerabilidad asociada a los elementos expuestos y su fragilidad y el riesgo como una condición definida entre la amenaza y la vulnerabilidad no será determinado debido a que los resultados del estudio detallado de la amenaza de este fenómeno categorizó al predio como baja, lo cual es respaldado por los estudios de básicos de riesgo del municipio (estudios que aún no han sido incorporados al ordenamiento territorial), los cuales catalogan al predio del Plan Parcial Villa Dolores como un área sin condición de amenaza ni condición de riesgo.

2.4 RIESGO

FLUJOS TORRENCIALES

2.4.1 Amenaza

- **Metodología**

Caracterización fisiográfica de la cuenca de aporte

La metodología utilizada para la caracterización fisiográfica de la cuenca de aporte esta descrita en el acápite de inundaciones.

Susceptibilidad

Metodológicamente la amenaza ante flujo torrencial tuvo desarrollo mediante un análisis de susceptibilidad basada en la guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2021), la cual contempla la revisión de inventarios históricos del fenómeno, análisis geomorfológico del área de estudio, basada en identificación y clasificación de las geoformas indicativas y la comprobación en campo. Para este análisis se consideran las geoformas que se relacionen con depósitos fluviotorrenciales o la inestabilidad del área de estudio, se caracteriza su relación con la generación de avenidas torrenciales y se determina su edad relativa, lo anterior para recolectar información y entender la morfodinámica de eventos anteriores.

Para la zonificación de susceptibilidad se clasifican las geoformas indicativas siguiendo las recomendaciones de Ramos et al., (2021) la cual se realiza con base en la caracterización de la edad relativa de la geoforma, el ambiente de formación, y la cercanía al cauce original además de la utilización de índices morfométricos de la cuenca de aporte tales como; índice de Melton, longitud, relieve, área, integral hipsométrica, relación de bifurcación y coeficiente de torrencialidad. Finalmente, si estos mostraran susceptibilidad ante el fenómeno, se procederá a la definición de la amenaza ante flujos torrencial

➤ Índice de Melton

Al descubrir que los abanicos dominados por flujos de detritos están asociados con cuencas pequeñas y de

relieve alto, Melton propuso un índice adimensional expresando la robustez de la cuenca, dirigido a clasificar abanicos de acuerdo con las características de la cuenca corriente arriba (Santangelo, y otros, 2012). Se define como el relieve de la cuenca dividido por la raíz cuadrada del área de la misma:

$$IM = (h_{max} - h_{min}) * S^{-0.5}$$

Donde:

IM: Índice de Melton

hmax: altura máxima de la cuenca en Km

hmin: altura mínima de la cuenca en Km

S: Superficie de la cuenca (Km²)

Según la literatura menciona que las cuencas que presente un IM > que 0.5 o 0.6, tienen predominancia de flujo de detritos, entre 0.3 y 0.6 predominan flujos hiperconcentrados y menores que 0.3 predominan inundaciones o flujos de corriente. Según (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2021), menciona que, para Colombia el rango del IM, se encuentra entre 0.15 - 0.91 para cuencas con ocurrencia de flujo de lodos y detritos, y 0.06 - 0.50 para cuencas con predominancia de flujos hiperconcentrados. Este rango amplio adoptado para Colombia, depende del contexto geológico e hidroclimático de cada región, y se debe verificar los resultados mediante características como; geología, antecedentes de torrencialidad y condiciones hidroclimatológicas.

➤ Longitud de la cuenca

Está definido como la distancia planimétrica en línea recta entre la punta del abanico y el punto más alejado sobre los límites de la cuenca. Para Colombia los valores de este índice están entre 0 - 13 km en cuencas con predominancia de flujos de detritos (incluyendo flujos de lodos) y entre 0-21 km para cuencas con ocurrencia de flujos hiperconcentrados.

➤ Relación de relieve

Este índice se define como la relación entre la diferencia de la cota máxima y mínima (relieve) [km] y la longitud de la cuenca [km]. permite la comparación entre cuencas a pesar de las diferencias de escala topográfica; además, es un parámetro usado para describir la movilidad de material desde su punto de inicio hasta su frente de disposición (Chen & Yu, 2011). El rango de valores de la relación de relieve para cuencas que presentan flujos de detritos está entre 0,15 y 0,70, mientras que, para flujos hiperconcentrados se encuentra entre 0,21 y 0,22. Para Colombia, se encontraron valores entre 0,08 y 0,43 para cuencas con desarrollo de flujos de detritos, entre 0,08 y 0,27 para cuencas con flujos de lodos y entre 0,03 y 0,27 para cuencas con ocurrencia de flujos hiperconcentrados.

➤ Área

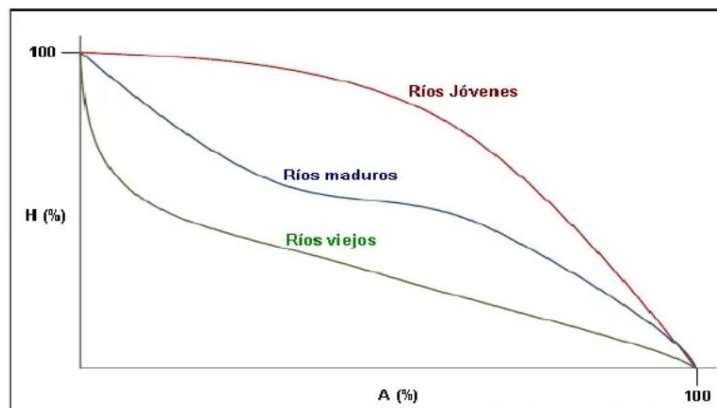
Corresponde al área plana en proyección horizontal de la cuenca y es ampliamente usado como índice morfométrico para identificar la torrencialidad. En la literatura se encuentran diversos rangos, igualmente, para Colombia estos valores varían ampliamente, pero en general cuencas menores a 20 km² suelen presentar flujos de detritos con mayor probabilidad.

➤ Integral hipsométrica

La integral hipsométrica es ampliamente usada para la caracterización de la actividad tectónica reciente (expresada mediante valores altos, $IH > 0.5$). Además, este índice es frecuentemente usado para evaluar de forma general la susceptibilidad por avenidas torrenciales, ya que permite determinar la interacción entre la erosión y la tectónica reciente.

Según (SGC, 2021), la IH puede caracterizarse para tres rangos: $IH < 0.4$ representa un paisaje senil donde predominan los procesos de degradación, $0.4 < IH < 0.5$ se trata de un paisaje en equilibrio (entre levantamiento tectónico y erosión), y $IH > 0.5$ dan cuenta de un paisaje juvenil con actividad tectónica reciente. En Colombia las cuencas donde ocurren avenidas torrenciales se encuentran en el rango de los paisajes en equilibrio y los paisajes juveniles, los diferentes tipos de curvas se presentan en la Figura 23

Figura 23. Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río.



Para la elaboración de la integral hipsométrica, se utilizó el DEM de Alos Palsar, disponible en la página de Vertex Alaska, con resolución de 12.5 m, y se procedió a cortar este para cada cuenca. Posteriormente, se utilizó la herramienta "reclasificar" de ArcToolbox, y se clasificó en 10 intervalos iguales, luego la tabla que se generó se la exportó y finalmente se procesó la información en excel.

➤ Coeficiente de torrencialidad

Este índice es un indicador de la erodabilidad lineal y la capacidad de descarga de una cuenca. Se determina a partir de la relación entre el número total de cursos de primer orden (Nc_1) y el área total de la cuenca (A) (Camino, y otros, 2018). A mayor número de cursos de primer orden y menor superficie, la torrencialidad de la cuenca será mayor (Camino et al., 2018; López Bermúdez y Romero Díaz, 1987). Debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva, altos valores indican elevada susceptibilidad a la erosión, menores tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad; en otras palabras, los cursos de orden 1 son los de mayor importancia en la generación de flujos torrenciales y de inundaciones aluvionales veloces (Busnelli & Horta, 2014).

Los rangos propios para las cuencas colombianas se presentan de acuerdo con el tipo de flujo: flujo de detritos 0.38 – 26.90, flujo de lodos: 1.01– 21.51 y flujos hiperconcentrados: 0.37 a 18.01.

$$Ct = \frac{N_{c1}}{A}$$

Donde:

N_{c1}: número total de cauces de primer orden

A: Área total de la cuenca

Ct: Coeficiente de Torrencialidad

Amenaza

Las 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. En general, son producto de 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).

Por su parte, la guía de avenidas torrenciales (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2021), no difiere en gran magnitud de lo anteriormente descrito. Lo define como un flujo rápido que transita por cauces permanentes o intermitentes con pendientes de cauce altas y son producidos generalmente por efecto de lluvias intensas. Involucra el transporte de agua y sedimentos en una cantidad significativa, pero de diferentes proporciones. Donde el aporte de sólidos puede provenir de las laderas adyacentes o del lecho del cauce.

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. (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 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.

➤ Estimación de volúmenes líquidos

Los volúmenes sólidos fueron extraídos de la simulación hidrológica indicada en detalle en el capítulo de inundaciones.

➤ Estimación de volúmenes sólidos

Generalmente las avenidas torrenciales son detonadas por eventos de inestabilidad geológica, climatológica e hidrológica, que al generar un cuerpo de material sólido llega a combinarse con procesos hidrológicos generándose flujos no newtonianos los cuales dependerán del aporte inicial de sedimentación. (Thouret et al., 2020).

A continuación, se presenta la metodología para la estimación del volumen sólido que podría generarse en la microcuenca. Este estudio sigue las recomendaciones de la Guía Metodológica para Avenidas Torrenciales. (Ramos et al., 2021).

Sólidos de erosión de ladera

Para el cálculo del volumen sólido aportado por la erosión pluvial que generan las lluvias torrenciales en un evento de tormenta, se siguió la metodología sugerida por la Guía Técnica la cual es adaptada de (Gabet y Dunne 2003). Esta metodología se basa en el cálculo de la cantidad de suelo que se desprende por la energía de las gotas de lluvia que impactan en un área determinada de la superficie, y que posteriormente son transportado por flujos superficiales.

El modelo considera variables como la cobertura del suelo la cual condiciona la energía del daño de la partícula de lluvia, la energía cinética del impacto en el suelo más desnudo, la lámina de agua en la superficie y la cohesividad del tipo de suelo. Las anteriores se calcularán considerando la intensidad de la precipitación, número de curva, el NDVI, y el diámetro de la gota de lluvia. Se sigue la metodología propuesta en SGC. Posteriormente se calculará la tasa de desprendimiento usando SIG para ello. La relación propuesta por Gabet y Dunne (2013) consiste en la ecuación:

$$\Psi = 1,9 \times 10^{-4} i^{1,6} [(1 - C_v) \cos \theta]^{1,4} A(\bar{h}, d)$$

Donde ψ es la tasa de desprendimiento en $g\ m^{-2}\ s^{-1}$, i es la intensidad en cm/h , C_v es el factor de Cobertura Vegetal, θ es la pendiente en grados y A la relación entre profundidad de flujo y el diámetro de la gota de lluvia.

Para el cálculo del diámetro de la gota de lluvia (D_{50}) se siguió la metodología de Yakubu et al., (2016) la cual mediante una relación empírica relaciona el diámetro con la intensidad de la lluvia en milímetros por hora, este estudio se realizó en la zona tropical.

$$D_{50} = 1.483 I^{0.176}$$

Para el cálculo de la intensidad se utilizó la curva IDF realizada por el IDEAM de la estación Obonuco, para varios periodos de retorno. Para el cálculo del desprendimiento de erosión se utiliza el periodo de retorno de TR100.

Para la estimación de la profundidad de flujos e calculo la descarga unitaria mediante la ecuación:

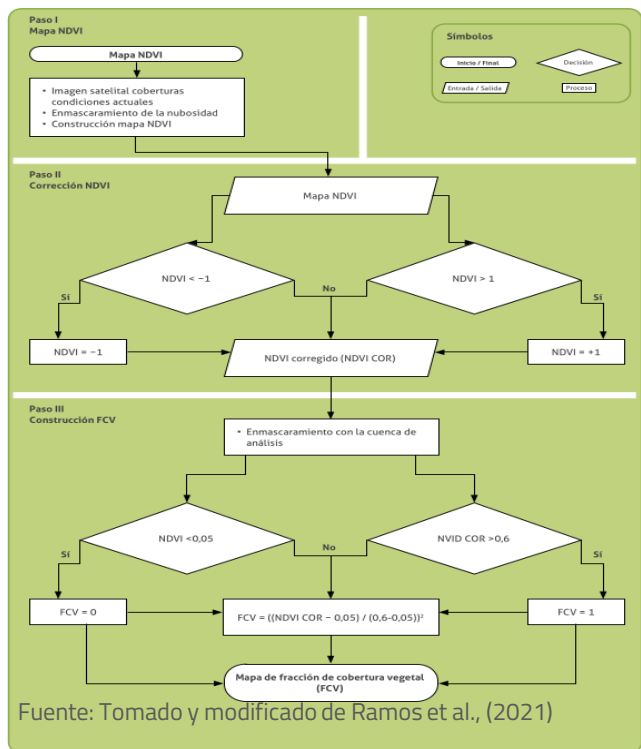
$$q = (i - f) * x$$

Siendo i la intensidad de lluvias, f la capacidad de infiltración y x la longitud de la ladera. Para este estudio se considera una capacidad de infiltración nula, y una distancia de 10 m con respecto al tamaño de pixel disponible de otros insumos. Siendo $f = 0$

Para la estimación de la fracción de Cobertura vegetal (FCV) se realizó la metodología propuesta por Ramos et al (2021) ver Figura 24, para ello se hizo uso de una imagen satelital Sentinel 2A sin nubosidad con fecha 03/2020, a esta imagen se le realizó el procesamiento y las respectivas correcciones mediante el algoritmo Sen2Cor, y se calculó con SIG el FCV.

Una vez determinada la fracción de cobertura vegetal se estimará os volúmenes aportados por la erosión de ladera, su metodología se presenta en la figura 25.

Figura 24. Estimación de Fracción de Cobertura Vegetal.



Sólidos provenientes de Movimientos en Masa

La ocurrencia de movimientos en masa es el detonante y la fuente de sedimentos más común para la generación de avenidas torrenciales. Entre los subtipos de movimientos en masa más comunes pueden ser deslizamientos, caídas de roca, caídas de suelo, o flujo de material.

Figura 26. Metodología para estimar volumen por movimientos en masa

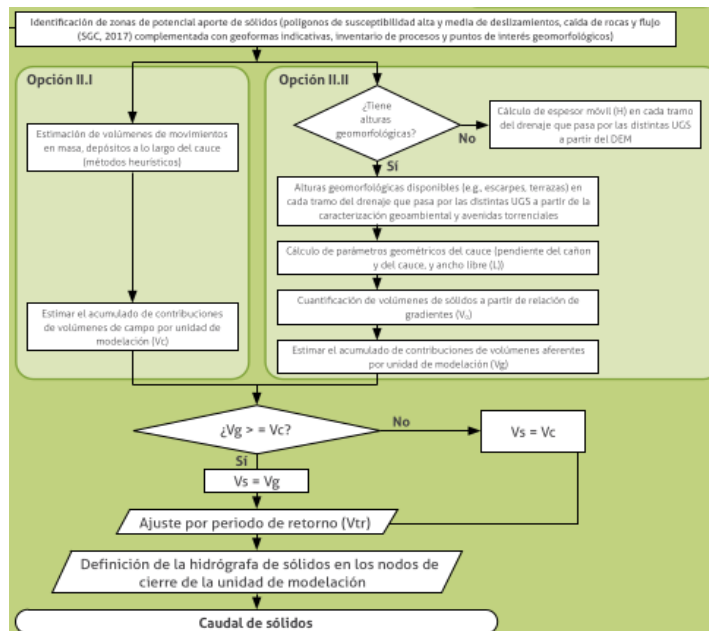
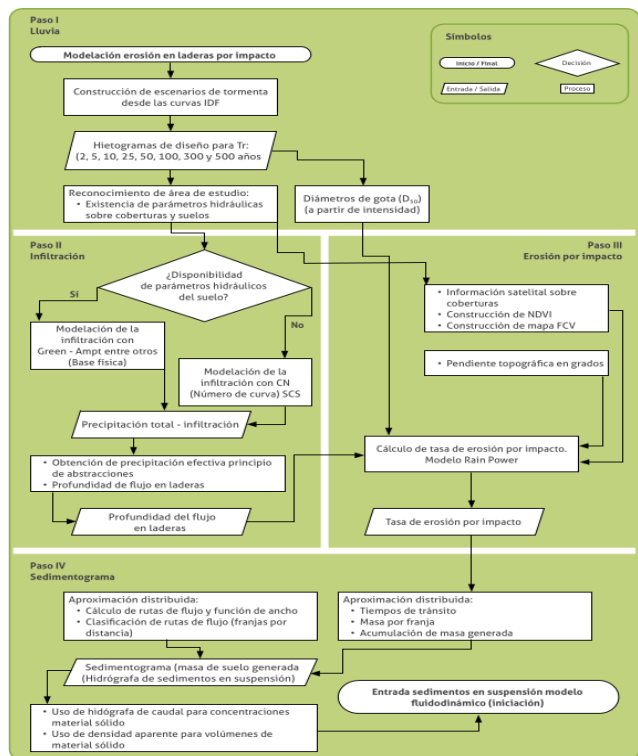


Figura 25. Metodología para la estimación de volumen sólidos por erosión de laderas.



Para este estudio se siguió las recomendaciones de la metodología propuesta por la Guía técnica de avenidas torrenciales, como insumo se tomó la información disponible para el área de estudio la cual consiste de Unidades geológicas Superficiales (UGS), las geomorfias indicativas de depósitos fluvio-torrenciales, y la zonificación de amenaza por movimientos en masa del POMCA del río Juanambú el cual se encuentra a una escala 1:25.000, el cual generó una condición más crítica que el estimado por el análisis del presente estudio a nivel de cuenca.

Esta opción se basa en el cálculo por método heurístico de los volúmenes asociados a las áreas en condición de amenaza alta por movimientos en masa que se localicen dentro de las áreas de aporte definidas, las áreas de aporte potencial son identificadas usando las áreas con geomorfología que

Fuente: Tomado y modificado de Ramos et al., (2021)

indican procesos erosivos y las áreas con amenaza media y alta por movimientos en masa, para la definición el área de aporte se cruzó el mapa resultante de áreas de aporte potencial con las áreas de amenaza alta por movimientos en masa y aquellas áreas donde se evidencia erosión activa.

La estimación del volumen se obtendrá mediante relaciones empíricas donde se utilizó la relación calculada por Larsen y Torres-Sanchez (1998), la cual fue estimada con una base de datos de deslizamientos someros y avenidas torrenciales en Puerto Rico, donde se relacionaron sus áreas y promedios de profundidad de los depósitos lo cual resulto en la ecuación:

$$V_L = 1.826xAL^{0.898}$$

Siendo VL el volumen y AL el área de movimientos en masa, utilizando el área de aporte calculada se obtiene el volumen aportante de la cuenca y sus zonas inestables.

➤ 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 cua, 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 desde la literatura corresponden al tipo de suelo encontrado en campo mediante estudios de suelo realizados para este Plan Parcial.

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 Qw para finalmente determinar el caudal total Qt de un flujo hiperconcentrado (Niño, 2015).

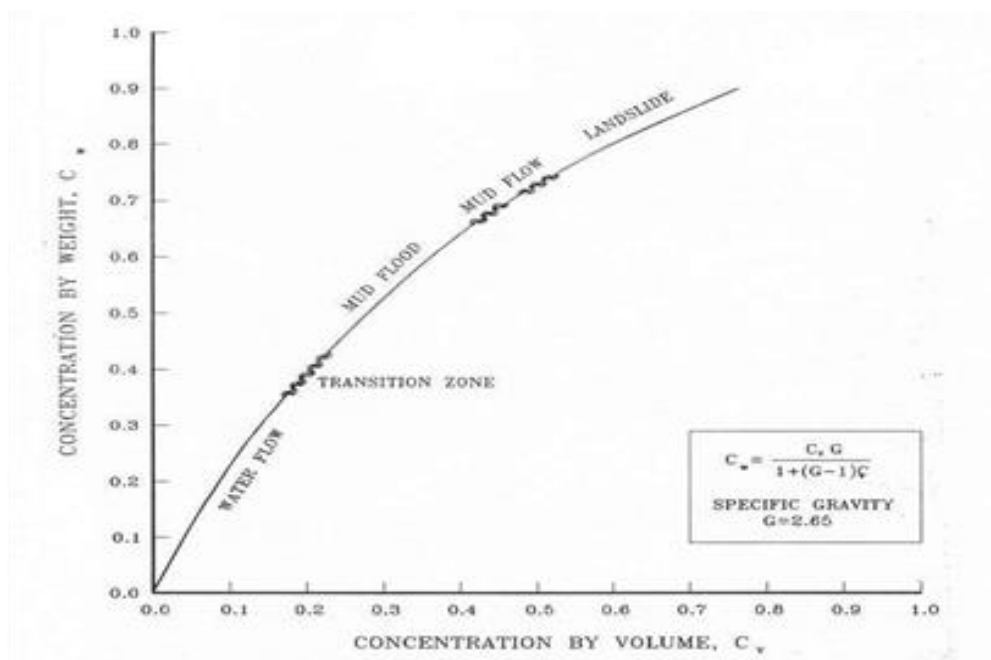
En este orden de ideas, se han plasmado diversas clasificación de flujos, según el manual de simulación de flujo de lodos del software (FLO-2D, 2014), el rango de concentraciones de sedimentos en inundaciones de lodo, varían entre el 20% al 40-45% en volumen. Las inundaciones de lodo pueden ser difíciles de distinguir de las inundaciones de agua, estas últimas, tienen un comportamiento de fluido muy similar como se observa en la Tabla 24 y Figura 27, 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 25, enumera los cuatro diferentes categorías de flujos de sedimentos hiperconcentrados y presentan sus características de flujo.

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).

Tabla 24. 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	Demunbe 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 27. Clasificación flujos torrenciales.



➤ Modelo y simulación hidráulica.

Modelo FLO-2D

Para la simulación hidráulica se utilizó el software FLO-2D, el cual es un modelo bidimensional de diferencias finitas (O'Brien, Julien, & 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 c corresponde a la tensión de fluencia cohesiva; mc es Mohr-Coulomb shear; v es la tensión de corte viscosa; t y 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 τ_o es el límite elástico y $\tau_o = c + mc$; η es viscosidad dinámica (equilibrio); el coeficiente turbulento-dispersivo C es:

$$C = \rho_m l^2 + \frac{\pi}{12} \left(\frac{6}{\pi} \right)^{1/3} \sin^2(\alpha_I) \rho_S (1 - e_n^2) C_v^{1/3}$$

Donde ρ_S es la densidad de los escombros; ρ_m es la densidad de la mezcla; π es el coeficiente de restitución de energía; α 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:

$$S_f = \frac{\tau_y}{\gamma_m H} + \frac{K \eta u}{8 \gamma_m H^2} + \frac{n_{td}^2 u^2}{H^{4/3}}$$

$$\begin{array}{ccc} \Downarrow & \Downarrow & \Downarrow \\ S_y & S_v & S_{td} \end{array}$$

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; η es tensión de fluencia, η es la viscosidad dinámica y n_{td} es resistencia al flujo turbulento, y puede ser expresado como (Wu, Liu, & Chen, 2013).

$$\begin{array}{l} \tau_y = \alpha_2 \exp(\beta_2 C_v), \\ \eta = \alpha_1 \exp(\beta_1 C_v), \\ n_{td} = n_t b \exp(m C_v) \end{array}$$

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).

Datos de entrada FLO2D

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, entre otros, se explican en el inciso de inundaciones y caracterización física y ambiental de la cuenca.

- En los parámetros hidrológicos como outflow e inflow, el primero se seleccionará con la herramienta "element by element" las grillas aguas abajo por donde sale el cauce natural, mientras que, para el inflow, se introducirá 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, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

- A través de las curvas granulométricas de la exploración geotécnica del suelo del PPVD y de estudios como el de Modelamiento de Lahares de la quebrada Mijitayo se procederá a establecer los parámetros reológicos del flujo.

- El valor de K, será un valor representativo de la zona de estudio con base en las coberturas predominantes del área a realizar la simulación hidráulica del flujo.

- Finalmente, en el CON.DAT, se establecerá 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 Δt de 0.01 horas.

➤ Categorización de la amenaza Escala 1:2000

Fuentes de información e insumos para la cuantificación de amenaza a escala 1:2.000

Para la aplicación de la metodología se utilizará los resultados de las simulaciones hidráulicas de avenidas torrenciales para los tiempos de retorno 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Es decir, en total se obtendrán 6 Índices de Intensidad de Flujo correspondientes a cada TR. El producto fue generado a través de la herramienta "Calculadora Raster" del software ArcGIS.

Categorización de la amenaza por avenidas torrenciales

El análisis de frecuencia de ocurrencia para la escala 1:2.000 está precedido por la construcción de las curvas de amenaza de cada punto del espacio, las curvas de amenaza relacionan la probabilidad de excedencia de una avenida torrencial particular, que puede expresarse en términos de su periodo de retorno, con la variable usada para caracterizar la intensidad de flujo, definido como IDF, siendo el producto de la profundidad máxima de flujo y la velocidad máxima de flujo al cuadrado

$$IDF, = h_{max} \parallel u^{\rightarrow} \parallel^2 \max$$

El procedimiento para la generación y evaluación de las curvas de amenaza se desarrollan en varias etapas, en estas se realiza, entre otras, el cálculo del índice de intensidad IDF, el ajuste estadístico de las curvas de amenaza, se evalúan las curvas de dos

formas diferentes y finalmente se asigna una categoría final de amenaza.

- Cálculo del índice de intensidad de avenidas torrenciales y ajuste estadístico

Las capas ráster de índice de intensidad de flujo fueron utilizados para generar las curvas de amenaza. Posteriormente con ayuda de la librería geopandas del software Python, se realizó un ajuste potencial ($IDF = \alpha [(TR)]^{\beta}$) para cada punto en el espacio, finalmente se determinó el error cuadrático medio para cada ajuste. Siguiendo la ecuación:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{est} - y_{obs})^2$$

Donde:

y_{est} : Son los valores estimados mediante la regresión.

y_{obs} : Son los valores 'observados', en este caso provenientes de la simulación.

n : Es el número de datos.

- Evaluación de las curvas entrando con una probabilidad de excedencia asociada a un índice de confiabilidad para un tiempo de exposición

Los criterios para la zonificación de amenaza se elaboraron con base en el inciso 6.3.2 de la guía del (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2021). Se comenzaron a elaborar como el nivel de daño de un evento particular (asociado a un índice de confiabilidad) puede utilizarse para establecer categorías, en este caso, de amenaza. La idea fue aplicada usando la información presentada por Jakob et al. (2012) que relaciona rangos del índice de intensidad de flujo con probabilidades de observar un cierto nivel de daño.

- La categorización propuesta se determinará con los siguientes criterios:

a) Si en un lugar determinado el IDF no alcanza los $1 \text{ m}^3/\text{s}^2$, implica que hay baja probabilidad de que se genere daño estructural, por lo que ese lugar se categoriza como amenaza baja.

b) Si en un lugar determinado el IDF es mayor o igual a $1 \text{ m}^3/\text{s}^2$ pero menor a $50 \text{ m}^3/\text{s}^2$, indicando que la probabilidad de que se genere daño estructural leve es considerable, pero la probabilidad de daño estructural leve es baja, entonces se clasificará dicho punto como amenaza media.

c) Si en un lugar determinado el IDF iguala o excede los $50 \text{ m}^3/\text{s}^2$ la probabilidad de colapso es significativa y dicho punto se categoriza como amenaza alta.

Para esta primera metodología, se evaluará la curva de amenaza entrando con un valor seleccionado de periodo de retorno para un evento extremo. Es importante resaltar que la zonificación de amenaza cuantitativa sea adecuada usando solamente el índice de intensidad de flujo para la caracterización de la amenaza, la capacidad e idoneidad de los modelos numéricos para representar adecuadamente los procesos físicos y la complejidad del proceso es fundamental, al igual que la calidad de los insumos con los cuales se alimentan dichos modelos, pues de otro modo las meras estimaciones de IDF serían una descripción incompleta y sesgada. Un resumen de la propuesta y la condición asociada a cada categorización en función del IDF se presenta a continuación, en la Tabla 25.

Tabla 25. Categorías propuestas de acuerdo con el valor de IDF obtenido de las curvas de amenaza.

Rango	Categoría	Identificación
$50 > I_{DF}$	Alta	
$1 \geq I_{DF} > 50$	Media	
$0 \geq I_{DF} > 1$	Baja	

Fuente: SGC, 2021

En la segunda metodología, evaluación de las curvas entrando con un valor de índice de intensidad actuando como umbral, la curva de amenaza se evaluará de forma contraria, entrando con un índice de intensidad que sea representativo de un umbral de daño. En este caso el valor seleccionado es de $2 \text{ m}^3/\text{s}^2$, que representa el paso de algún daño estructural a daño estructural considerable. La categorización de la amenaza se realiza siguiendo los criterios mencionados en el documento de metodología y modelos matemáticos, que se presenta en la Tabla 28.

Tabla 26. Categorías propuestas de acuerdo con valor de probabilidad obtenido de las curvas de amenaza

Rango	Categoría	Identificación
$0,43 = P > 0,033$ (2,33 años = $T < 30$ años)	Alta	
$0,033 = P > 0,01$ (30 años = $T < 100$ años)	Media	
$P \geq 0,01$ ($T \geq 100$ años)	Baja	

Los dos metodologías se desarrollaron bajo premisas diferentes, concibiéndose como dos maneras distintas de entender la zonificación de amenaza; sin embargo, se espera que los dos criterios de zonificación resulten en zonificaciones similares. En la práctica, la zonificación que utiliza el criterio propuesto en la primera zonificación resulta en una adecuada definición de las zonas en general, pero con alguna tendencia a clasificar zonas de cauce activo como amenaza media; por su parte, el criterio presentado en la segunda zonificación resulta en una definición general de las zonas adecuada, pero con alguna tendencia a subestimar las transiciones de amenaza media a amenaza alta.

Considerando las tendencias mencionadas, la zonificación debe realizarse utilizando ambos criterios y agregarse posteriormente, quedándose con la mayor categoría de amenaza obtenida en cada pixel, como se presenta en la Tabla 27.

La agregación de los dos criterios resulta en una zonificación consistente, obtenida de criterios cuantitativos y con una interpretación clara de cada categoría de amenaza.

Tabla 27. Agregación de resultados

Clasificación 1	Clasificación 2	Clasificación 3	Identificación
Alta	Alta	Alta	
Alta	Media	Alta	
Alta	Baja	Alta	
Media	Alta	Alta	
Media	Media	Media	
Media	Baja	Media	
Baja	Alta	Alta	
Baja	Media	Media	
Baja	Baja	Baja	

- **Resultados**

Susceptibilidad ante flujos torrenciales

Con base en la información histórica de eventos consignados en las diferentes bases de datos como desinventar, la zona de estudio no tiene reporte de eventos asociados a este tipo de fenómenos, igualmente en la secretaria de gestión del Riesgo no reporta eventos en el área de estudio.

De acuerdo con la geomorfología indicativa de la quebrada Rosales está conformada por un gran lóbulo de flujos de escombros Vife, ver Figura 28 que puede corresponder a eventos lahâricos subrecientes, esto debido al grado de disección que tiene la geoforma. Según Flantua et al., (2014) el último máximo glacial ocurrió en el área de estudio hace 21000 mil años antes del presente, donde las nieves perpetuas podrían haber estado sobre la cota de 3000 msnm, por lo cual es posible la existencia de grande glaciares y consecuentemente la ocurrencia recurrente de lahares en esas condiciones hidroclimáticas.

Figura 28. Geomorfología indicativa de flujos lahâricos subrecientes (Vife).



Además, se evidencia una predominancia denudativa de laderas que eventos recientes en el área de estudio, esto correspondiendo a la presencia de evidencia litológica coluvial sobre la fluviotorrencia, sin embargo, esto podría denotar una evolución morfodinámica de la microcuenca caracterizándola como una microcuenca madura. Cerca al Plan Parcial Villa Dolores se evidencia una geoforma antropogénica que corresponde a un montículo (Am), la cual modifica la topografía del estudio y podría incidir en un eventual flujo torrencial. Ver Figura 29.

Figura 29. Montículo antropogénico que delimita un predio.



Para la zonificación de susceptibilidad se clasifican las geoformas indicativas siguiendo las recomendaciones de Ramos et al., (2021) la cual se realiza con base en la caracterización de la edad relativa de la geoforma, el ambiente de formación, y la cercanía al cauce original.

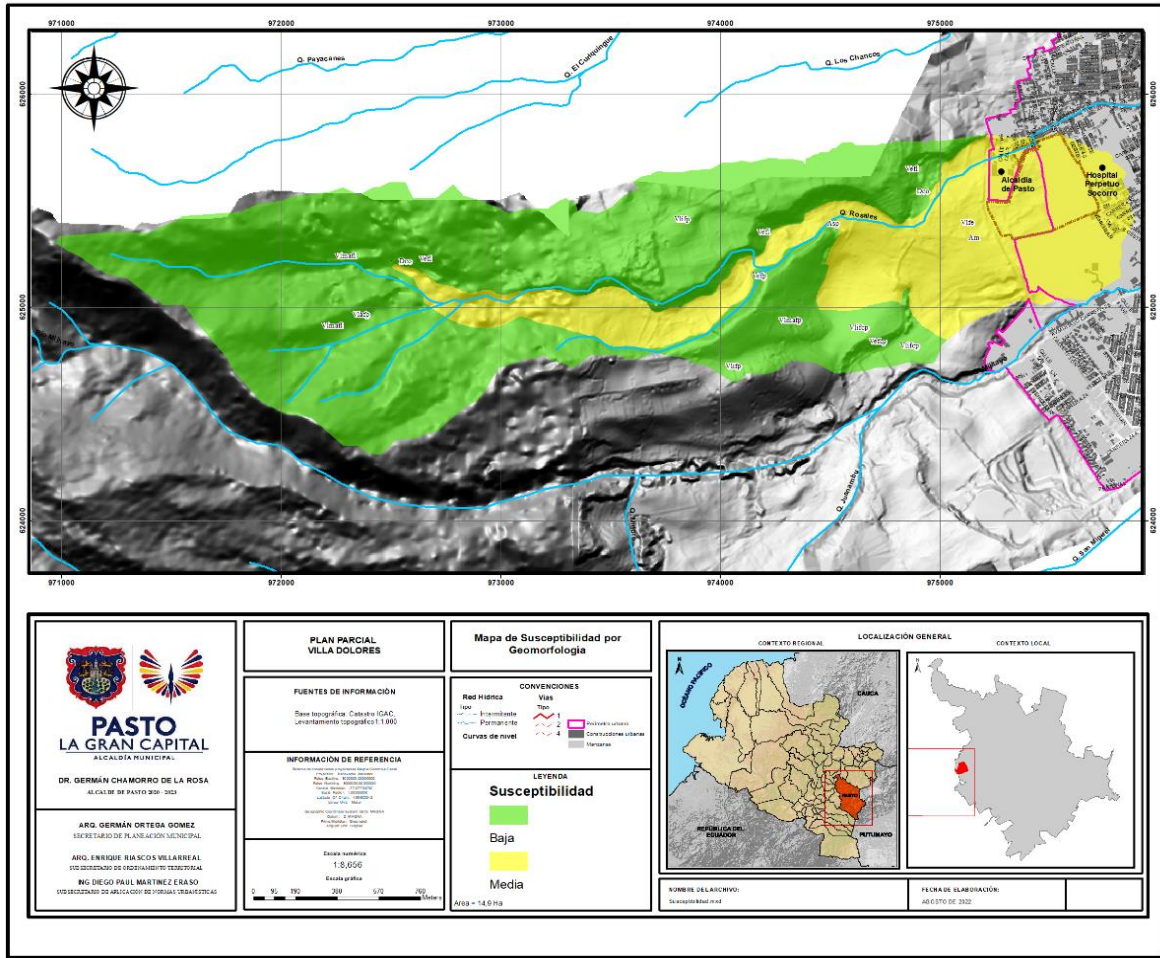
En el área de estudio se identificó una única unidad que representa una geomorfología fluviotorrencia la cual tiene una edad subreciente, que probablemente fue formada por los eventos lahâricos primarios detonados por explosiones volcánicas y deshielos.

A continuación, se procederá a estimar los diferentes indicadores morfométricos como proceso complementario a la susceptibilidad geomorfológica 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.

➤ Índices de Melton (IM)

Para la cuenca Rosales se obtuvo que la altura máxima fue de 3.7 Km, mientras que, la altura mínima se tuvo en cuenta la cota inferior al terminar el predio en estudio, obteniendo un valor de 2.63 Km. Es así como resultado del IM fue de 0.56, indicando en los valores típicos en Colombia un posible escenario de flujo de detritos.

Figura 30. Susceptibilidad geomorfológica a Avenidas Torrenciales.



➤ Relación de relieve

Utilizando los valores de altura máxima y mínima mencionadas en el ítem anterior, se procedió a estimar la relación de relieve para la cuenca, obteniendo longitud de cuenca de 4.9 Km para la cuenca Rosales, los valores de la relación fueron 0.22, lo cual, indica que para la cuenca en mención pueden presentar flujo de detritos, lodos e hiperconcentrados, según los rangos para Colombia.

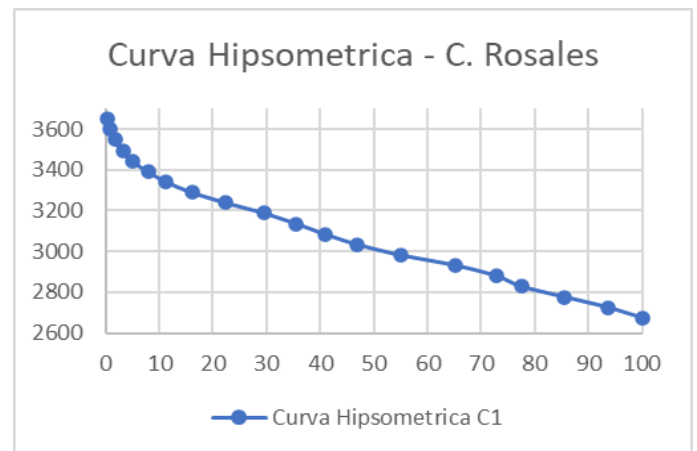
➤ Integral o curva hipsométrica

Luego de realizar la respectiva reclasificación, se elaboró la curva hipsométrica obteniendo una altura media de 3,161 m para la cuenca Rosales, obteniendo un valor de IH de 0.499. Esto quiere decir, que la cuenca se encuentra en equilibrio (levantamiento tectónico y erosión) y en Colombia se consideran que estas cuencas son susceptibles a presentar torrencialidad, debido a que son cuencas maduras, es

decir, la cuenca está experimentando una compensación de la actividad tectónica reciente mediante procesos denudacionales. En la Figura 25, se presentan la curva hipsométrica de la cuenca.

n : Es el número de datos.

Figura 31. Curva hipsométrica cuenca Rosales



A continuación, en la Tabla 28 se presenta los resultados de los cálculos correspondientes a diversos índices que incluyen la morfometría de cuencas, para establecer que, tipo de flujo puede generarse en la zona de estudio, según los rangos dados por la guía del SGC, 2021, para cuencas colombianas.

Tabla 28. Resumen de índices de torrencialidad y tipo de flujo para Colombia

Variable	Cuenca Rosales	Tipo de flujo (Colombia)
Índice de Melton	0.56	F .de detritos y lodos
Longitud (Km)	4.9	F. detritos, lodos e hiperconcentrados
Relieve	0.22	F. detritos, lodos e hiperconcentrados
Área (Km ²)	3.7	> probabilidad de F. de detritos
Integral hipsométrica	0.499	Avenida torrencial
Coefficiente de torrencialidad	1.62	F. detritos, lodos e hiperconcentrado

Amenaza por flujo torrencial

La amenaza por flujo torrencial será definida principalmente con la definición de los volúmenes líquidos, volúmenes sólidos, reología y parámetros hidráulicos de simulación tal como se detalló en la metodología, a continuación se presentan los resultados de cada uno de ellos.

➤ Estimación de Volumen Líquido

Los detalles de la obtención de los volúmenes líquidos se presenta en el acápite de inundaciones, en la Tabla 29 se presenta los valores para cada tiempo de retorno.

Tabla 29. Volúmenes líquidos para cada tiempo de retorno

TR (años)	Volumen (m ³)
2	7600
5	13500
10	18100
25	24600
50	29700
100	35000

➤ Estimación de volúmenes sólidos

Volumen de sólidos de Ladera

Para la estimación de volumen de ladera de acuerdo con la metodología presentada se estima el diámetro de la gota de lluvia que genera el posible volumen de desprendimiento, ver Tabla 30.

Por su parte la unidad de descarga calculada para este estudio es:

$$q = \left(0.00046 \frac{cm}{s}\right) \times 1000 \text{ cm}$$

$$q = 0.46 \frac{cm^2}{s}$$

La profundidad de flujo se da por la ecuación (Gabet y Dunne 2003):

$$h = 0.8q + 2.9 \quad (4)$$

$$h = 0.8(0.46) + 2.9$$

$$h = 3.27 \text{ cm} \sim 32.7 \text{ mm}$$

Para la estimación de la función de velocidad A (h, d) se utiliza la expresión de (Gabet y Dunne, 2003).

$$A(\bar{h}, d) = \sum_{h=0}^{3d} \frac{\bar{h}^h e^{-h}}{h!} e^{-1.8h/d} \quad (5)$$

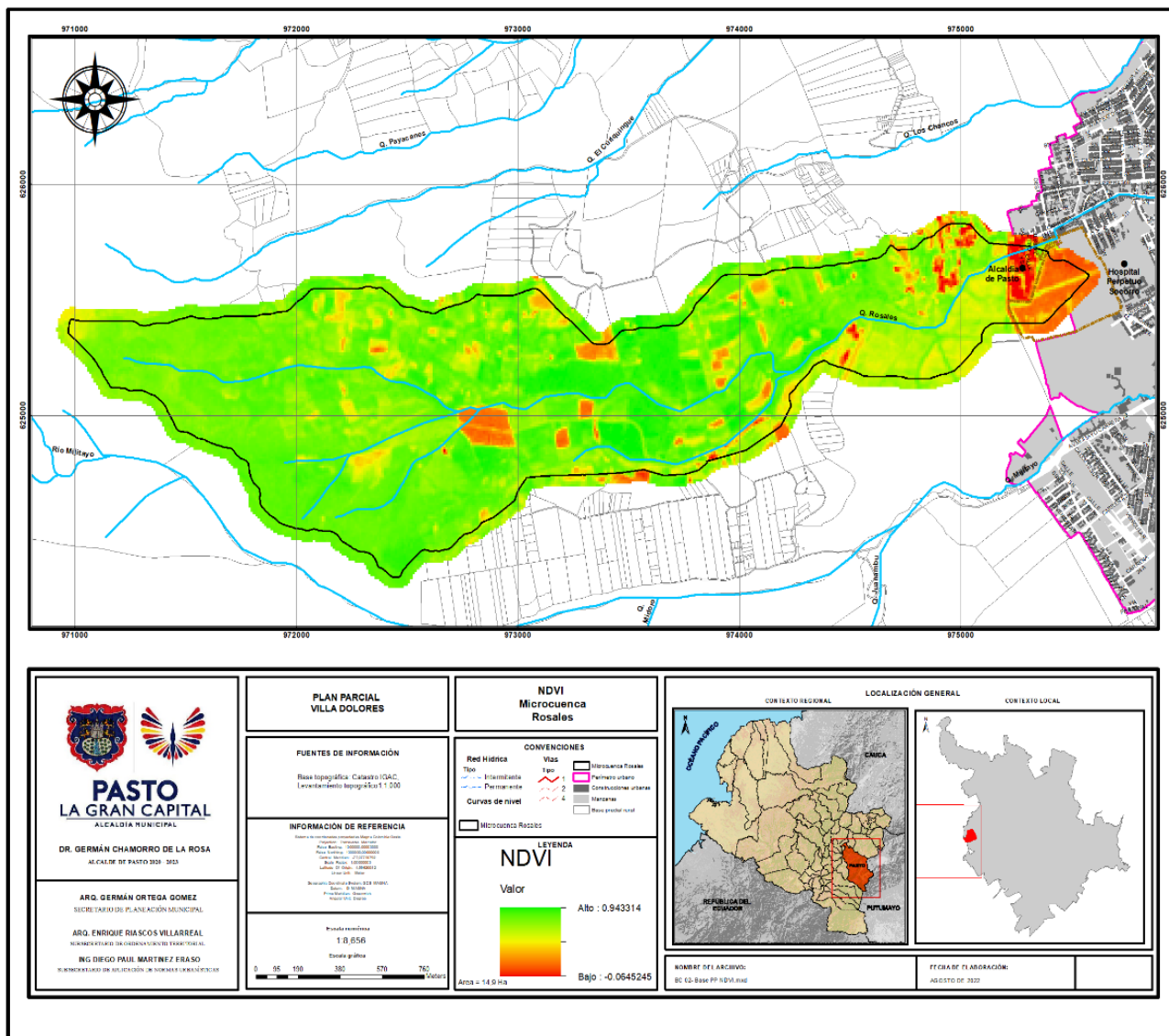
$$A(h, d) = 0.29$$

Por su parte, el índice de cobertura vegetal se presenta en la figura 32. El NDVI indica una gran área con cobertura vegetal en la parte alta y una baja densidad de cultivos, en la parte baja se indica altos pastos y zonas urbanizadas

Tabla 30. Valores del diámetro de gota de lluvia para el área de estudio.

TR	C1	X0	C2	Intensidad (mm/hr)	D50 (mm)
2	324.55	10	0.76	8.23	2.15
3	420	9.05	0.78	9.3	2.2
5	541.56	8.7	0.81	10.49	2.24
10	712.4	8.59	0.84	11.99	2.3
25	951.16	8.65	0.87	13.9	2.36
50	1,141.57	8.74	0.89	15.28	2.4
100	1,339.75	8.85	0.9	16.66	2.43

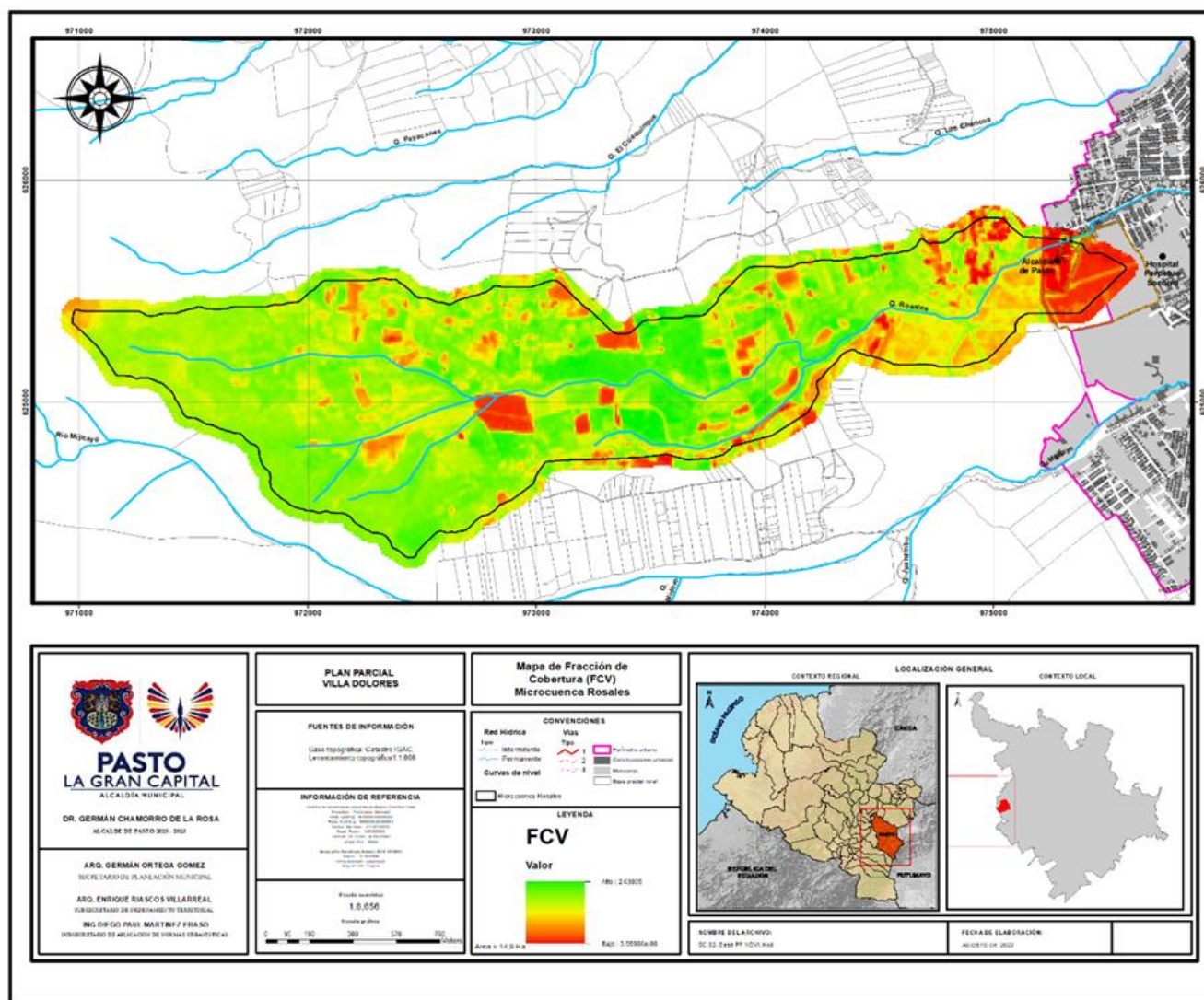
Figura 32. Mapa de Índice de Cobertura Vegetal (NDVI)



Finalmente se determina la fracción de cobertura FCV indicando una distribución moderada de cobertura vegetal en la parte media y alta, indicando una mayor posibilidad de aporte de sedimentos en aquellas áreas con valores negativos.

Por último se calcula la tasa de desprendimiento en la cuenca, como resultado se obtuvieron tasas de desprendimiento cercanos a $25 \times 10^{-10} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, por lo cual el aporte de erosión por ladera es despreciable.

Figura 33. Mapa de Fracción de Cobertura.



Fuente: SGC, 2021

➤ Volumen sólido de deslizamientos

La definición de volúmenes sólidos por deslizamiento parte del análisis por movimientos en masa en la cuenca en estudio y validada con información propia del proyecto, posterior a ello se realiza el cruce de estas zonas con la susceptibilidad por movimientos en masa, obteniendo áreas potenciales de aporte y finalmente áreas de aporte, ver figura 34.

La estimación del volumen se obtuvo mediante relaciones empíricas donde se utilizó la relación calculada por Larsen y Torres-Sanchez (1998), la cual fue estimada con una base de datos de deslizamientos someros y avenidas torrenciales en Puerto Rico, donde se relacionaron sus áreas y promedios de profundidad de los depósitos lo cual resultó en la ecuación:

$$V_L = 1.826x A_L^{0.898}$$

Siendo VL el volumen y AL el área de movimientos en masa, utilizando el área de aporte calculada se obtiene el volumen aportante de la cuenca y sus zonas inestables, los cuales se reportan en la Tabla 31.

Tabla 31. Aporte de sólidos por movimientos en masa

Área de aporte (m ²)	Volumen Estimado (m ³)
118443.34	65692.13

Cabe mencionar, que en el área de estudio se observan grandes espesores de depósitos lahâricos con bloques de hasta 2 metros, sin embargo, se evidencia una historia fluviotorrencial subreciente la cual está caracterizada por una intercalación entre depósitos hiperconcentrados y depósitos de caída de ceniza. Ver Figura 35.

Sin embargo, la estratigrafía encontrada puede corresponder a condiciones geoambientales para la ocurrencia de esos eventos muy diferentes a las actuales, esto considerando que su origen está asociado a eventos subrecientes donde habría disposición de agua proveniente de deshielos, y correspondería a la etapa eruptiva de la etapa Genoy la cual tiene una historia más explosiva que el actual volcán Galeras (Calvache V. et al., 1997). Estos depósitos han sido erosionados y disectados por las corrientes actuales, por lo cual la geomorfología actual condiciona los posibles eventos que se puedan dar.

Los depósitos subrecientes corresponden a flujos hiperconcentrados los cuales según Pierson (2005) transportan sedimento con concentraciones en volumen desde 20 – 60% y en peso total desde 40 a 80%, por lo cual el modelamiento hidrodinámico debe estar entre estos valores.

Figura 34. Estimación zonas de aporte por movimientos en masa. A) Zonificación de amenaza por movimientos en masa (Corponariño, 2019). B) Cruce zonas alta y media por movimientos en masa y susceptibilidad media por avenidas torrenciales. C) Areas potenciales de aporte por movimientos en masa. D) Areas de aporte por movimientos en masa.

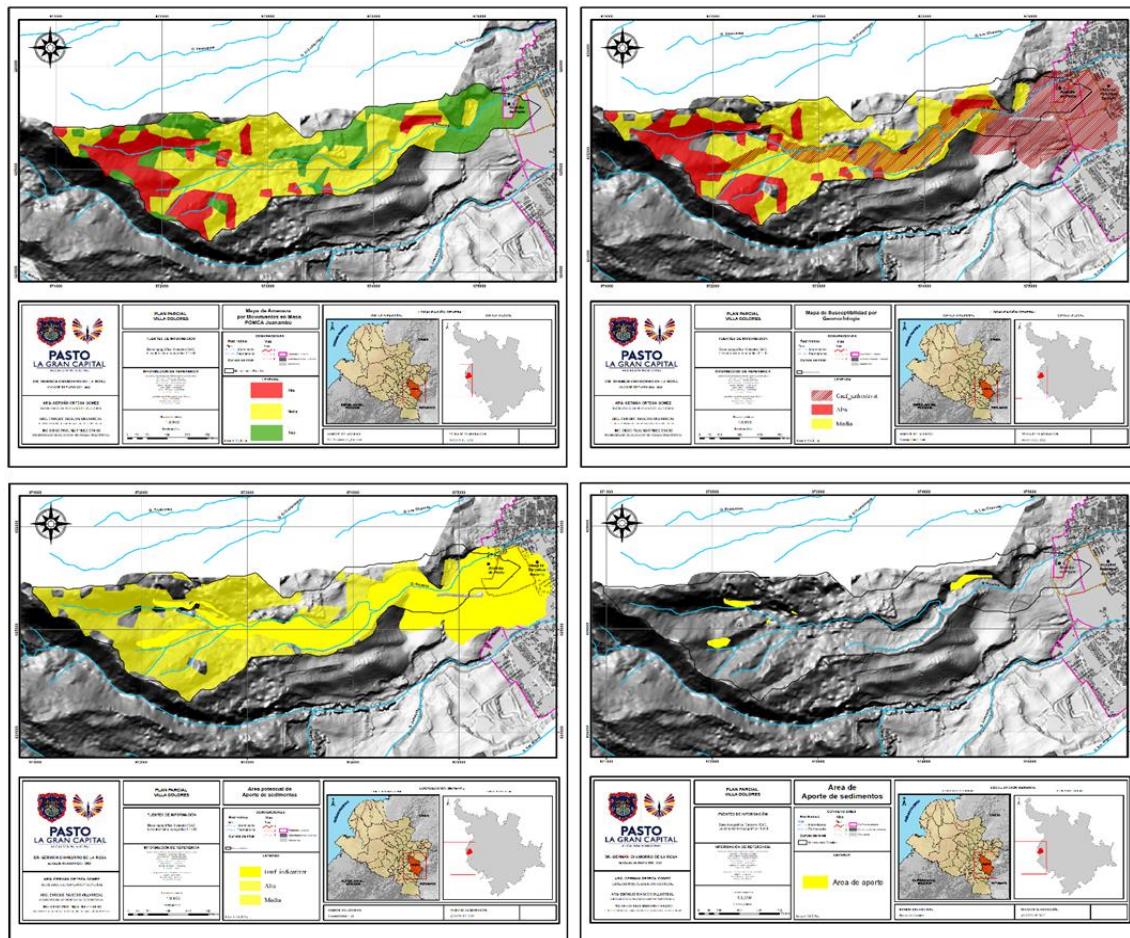


Figura 35. Registro geológico de depósitos laháricos en la microcuenca Mijitayo.



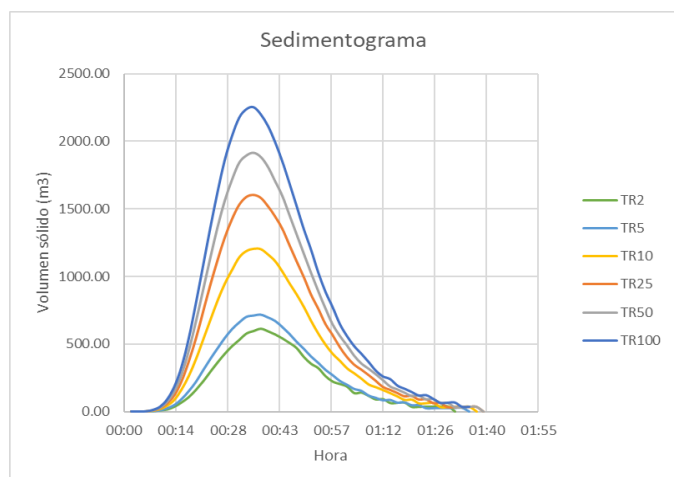
Volumen de sólidos y coeficientes volumétricos para diferentes tiempos de retorno

Considerando los volúmenes de sólidos establecidos y la guía técnica de modelamiento de avenidas torrenciales los volúmenes sólidos en diferentes tiempos de retorno se presentan en la Tabla 32. En la Figura 36 se presenta los sedimentogramas según la metodología de la guía del SGC.

Tabla 32. Volumen sólido y coeficientes

Tiempo de Retorno	Factor	Volumen Sólido	Volumen Líquido	Cv
2	0	0	7600	0.00
5	0.18	11567	13500	0.46
10	0.29	19305	18100	0.52
25	0.44	29142	24600	0.54
50	0.55	36330	29700	0.55
100	0.66	43523	35000	0.55
500	1	65593	-	

Figura 36. Sedimentogramas estimados para cada Tiempo de Retorno



➤ Reología del flujo y simulación 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 0.013 y 0.3 y para el del cauce un valor de 0.03 – 0.033 (Chaudhry, 2008), para detalles ver inciso de inundaciones. La resistencia al flujo terrestre laminar K fue de tomado de acuerdo con la Tabla 33.

Tabla 33. Parámetros de resistencia de flujo laminar

Cobertura	K
Bosque de Galería Ripario	20000
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	20000
Pastos Arbolados	4000
Pastos limpios	2000
Tejido urbano discontinuo	50
Vía	50

El peso específico de la matriz de fluido γ_m , el límite elástico τ , y la viscosidad η varían principalmente con la concentración de sedimento, las cuales, son representadas por las siguientes expresiones:

$$\tau_y = \alpha\beta^{Cv} \quad \text{y} \quad \eta = \alpha\beta^{Cv}$$

Donde α_i y β_i son coeficientes empíricos definidos por experimentos de laboratorio por diferentes autores, entre los que se encuentran los propuestos por (O'Brien & Julien, 1988). Los valores adoptados para el caso de estudio fueron los determinados por (Socio & Crosta, 2009), puesto que estos desarrollaron su trabajo con flujos de diámetro mayor, similares a los obtenidos por la exploración geotécnica del área de estudio y su área de influencia a continuación se presentan los principales resultados.

Tabla 34. Granulometría Exploración estudio Lahares Mijitayo

Muestra	Profundidad (m)	% arcilla	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)
APQ2	1	-	-	0.8	12.5	-	-
	2	-	-	-	0.35	44.1	20.5
APQ4	1	-	-	-	0.7	35.6	21.1
	2	-	-	-	0.4	35.3	18.1
APQ5	1	-	-	-	0.15	49.1	29.5
	2	-	-	0.0075	0.8	36	15.5
APQ10	1	-	-	-	0.3	57.3	23.3
	2	-	-	-	0.4	65.4	28.9
PM3	1	-	-	0.2	2	34.3	15.4
	5	-	-	-	0.5	43.1	19.4
	9	-	-	0.2	1.5	29.8	21.7
PM5*	1	-	-	0.3	2	30	14.5
	5	-	-	0.4	5	-	-
	8	-	-	9	25	-	-

Tabla 35. Granulometría Exploración estudio Lahares Mijitayo

Muestra	Profundidad (m)	% arcilla	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)
A1	1	-	-	0.4	12.7	24.4	4.69
	2	-	-	0.3	9.5	26.49	5.36
	3.5	-	-	1.1	19	24.27	5.33
P1	3	-	-	-	3.2	42.99	7.12
	4	-	-	-	0.3	34.28	7.88
	6	-	-	0.2	3.2	32.63	7.64
P2	3	-	-	-	0.7	41.32	6.85
	4	-	-	1.8	25	33.75	6.78
	6	-	-	-	1.2	-	-
P3	3	-	-	-	0.3	27.39	7.39
	4	-	-	0.8	15	-	-
	6	-	-	-	1.2	-	-
P4	3	-	-	-	0.5	-	-
	4	-	-	-	0.8	-	-
	6	-	-	-	14	-	-

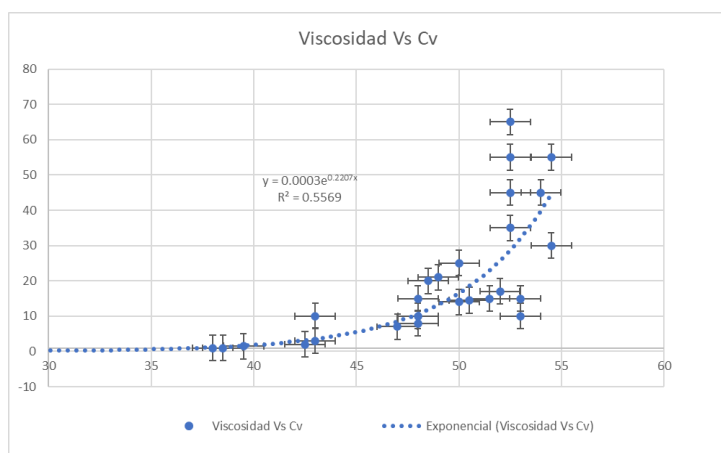
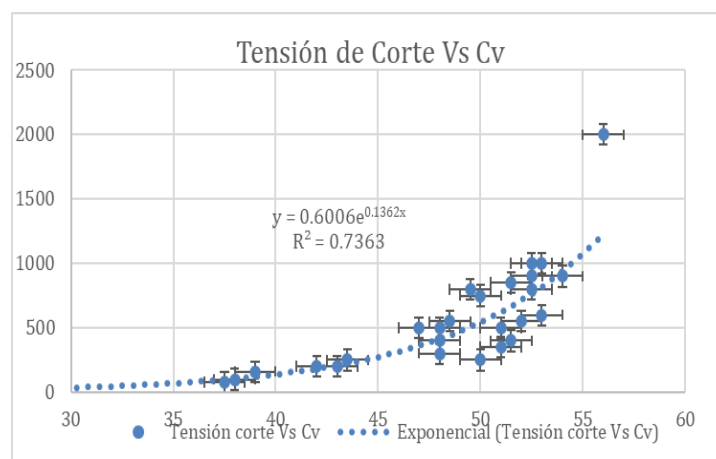
Figura 37. Reología ϕ 0.425 mm propuesta por Socio & Crosta Viscosidad Vs Cv**Figura 38.** Reología ϕ 0.425 mm propuesta por Socio & Crosta Tensión de Corte Vs Cv

Tabla 36. Coeficientes de correlación de Yield Stress y Viscosidad τ_y y n

Coeficientes	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$	
	α	β	α	β
	0.5099	0.1362	0.00024	0.2225

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 28 y Figura 29, con un valor máximo de 1.6 m. Por su parte, en la Figura 30 y Figura 31 se presenta el resultado de velocidades máximas de flujo, siendo 4.45 m/s el valor más elevado.

Ambos valores críticos se presentaron en el TR 100 y se ubican en el cauce aguas arriba del PPVD.

Cabe destacar que, los valores de velocidades máximas, se presentaron en los tramos de mayor pendiente del cauce, lo cual, es coherente con la literatura del comportamiento de flujos en terrenos con altas pendientes. Por su parte, la zona que se presenta inundada aguas abajo, corresponde a una llanura de inundación de la quebrada y como se puede observar en las figuras y sus convenciones, las láminas de flujo son muy bajas con valores entre 12 - 29 cm aproximadamente, luego esta es disipada y por tanto, las velocidades en esta zona se encuentran en un rango de 0.4 a 1 m/s.

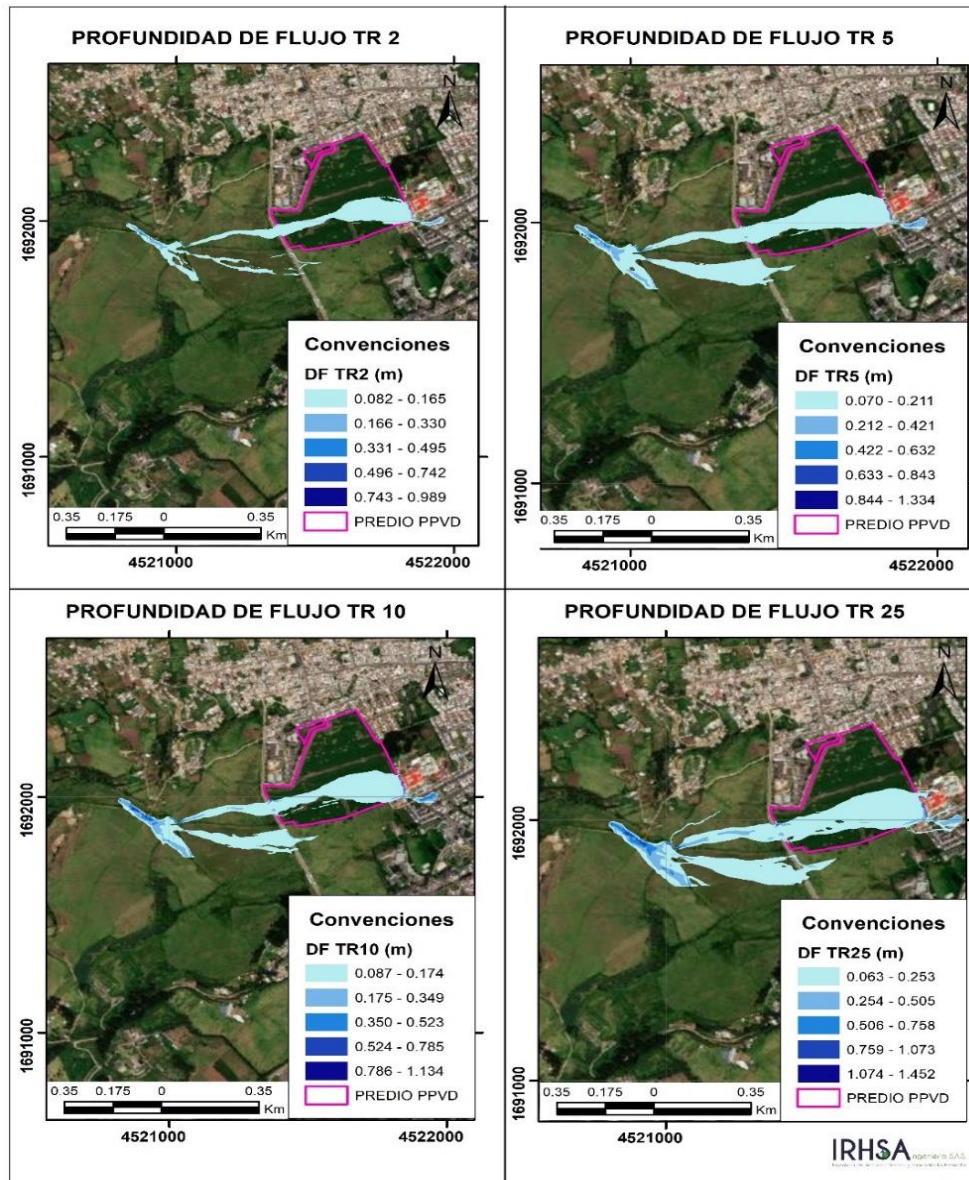
Figura 39. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años

Figura 40. Escenario por profundidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 50 y 100 años

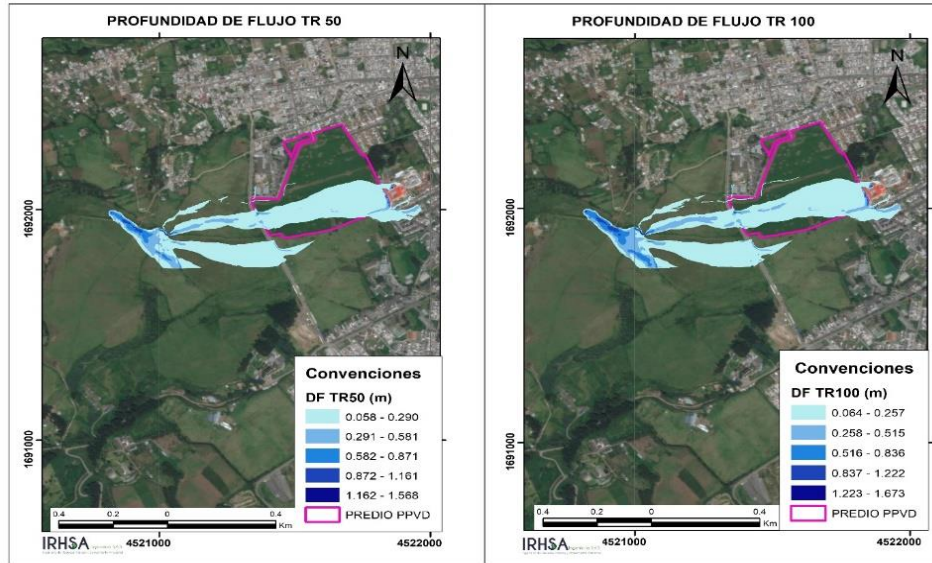


Figura 41. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 2, 5, 10 y 25 años

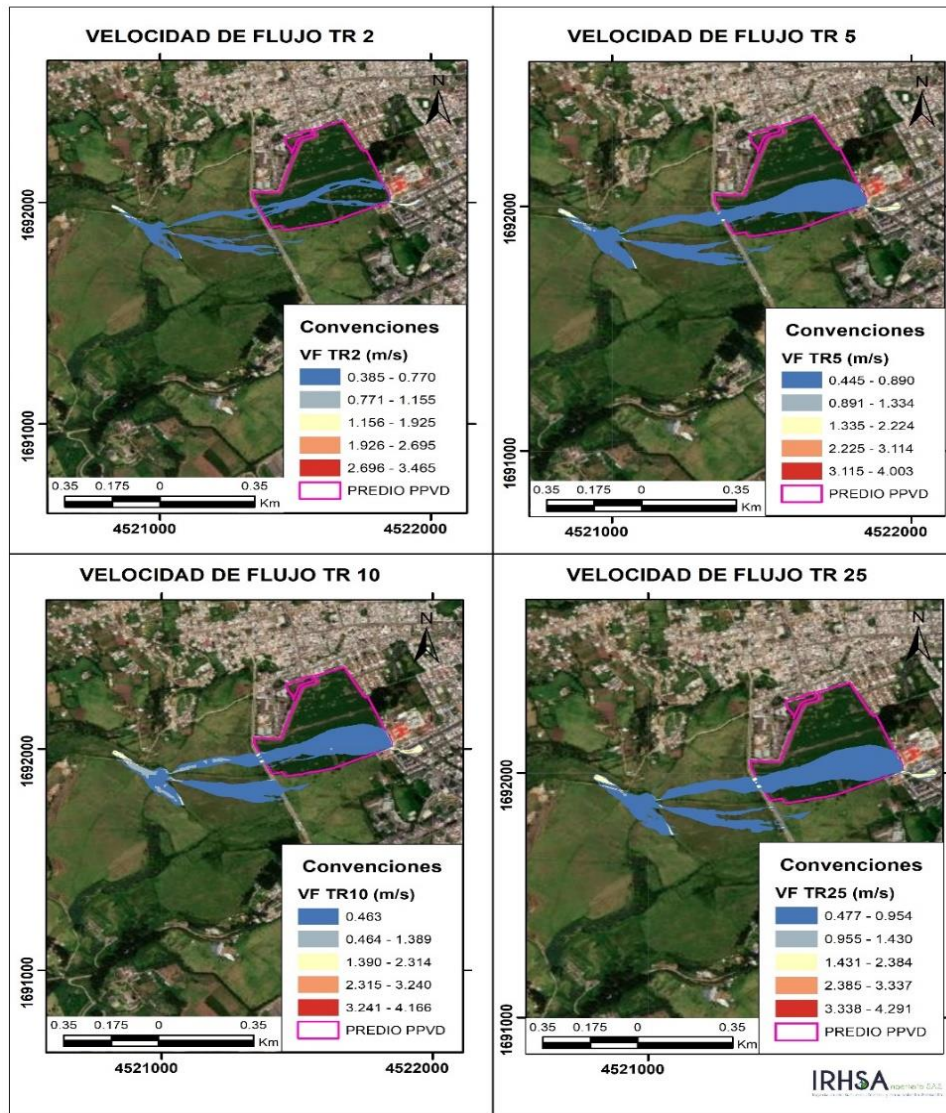
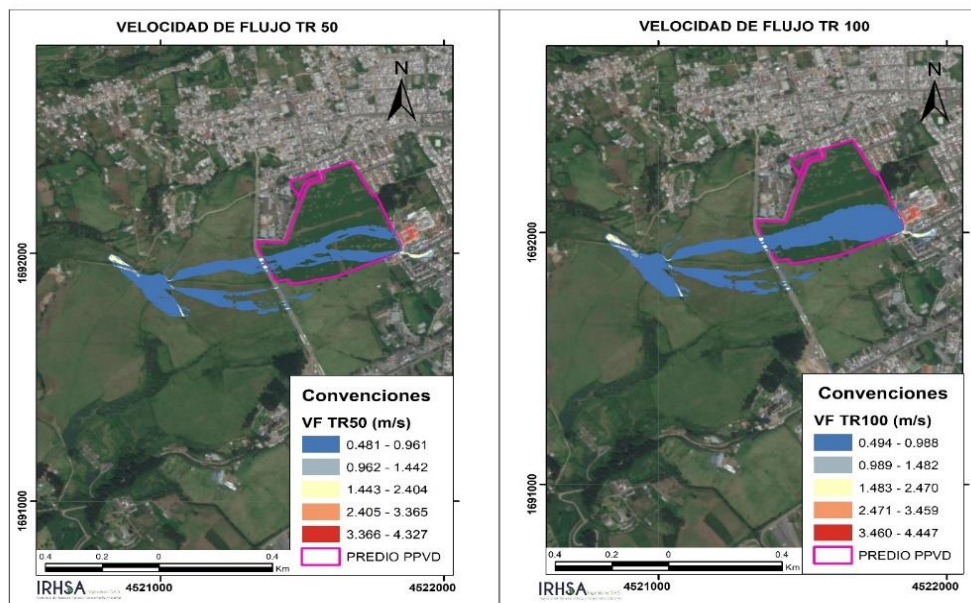
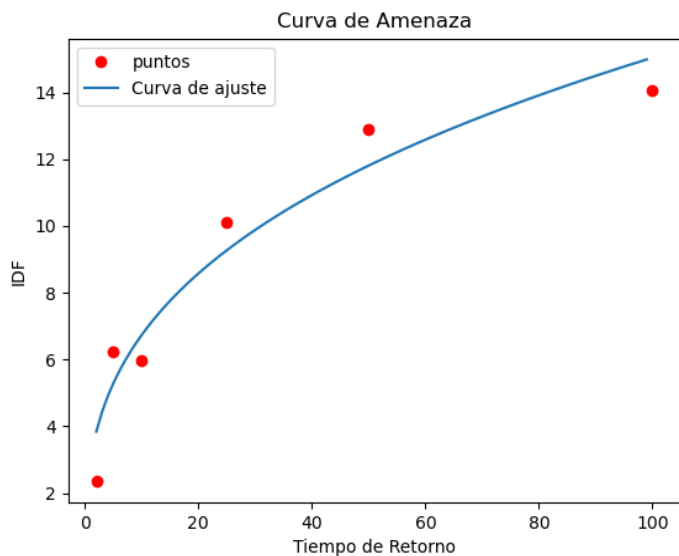


Figura 42. Escenario por velocidad de flujo ante un evento de flujo de lodos TR 50 y 100 años

➤ Categorización de la amenaza

La categorización de la amenaza se la realiza con base en la curva de intensidad de flujo, esta fue encontrada en forma distribuida con base en los diferentes tiempos de retorno para lo cual fue realizada las diferentes simulaciones. La Figura 43 muestra un ejemplo de dichas curvas de amenaza para un punto aleatorio seleccionado del área de estudio, el cual fue construido mediante las simulaciones numéricas y la metodología descrita en la guía del SGC.

Figura 43. Punto aleatorio de ajuste curva de amenaza del PPVD fenómeno avenidas torrenciales


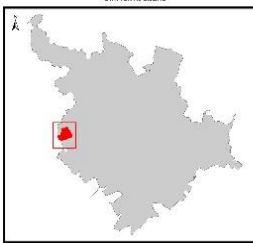
Una vez definidas las diferentes curvas del índice de intensidad de flujo se procedió a seleccionar una probabilidad de ocurrencia del fenómeno, para ello se utilizó la distribución normal, la cual es recomendada por la guía cuando hay bajo conocimiento del fenómeno y un índice de confiabilidad de 2.5, dando una probabilidad de ocurrencia de 0.00621 correspondiente a un tiempo de retorno de 161 años.

Por otra parte se realiza la zonificación mediante la evaluación de las curvas entrando con un valor de índice de intensidad actuando como umbral.

El resultado de amenaza por flujos torrenciales usando los dos criterios de zonificación presentados anteriormente se presenta en la Figura 44. En los resultados se puede observar que el predio en estudio se encuentra en amenaza baja frente a este fenómeno. Presentando valores medios y altos en el cauce y en la vía aguas arriba del predio PPVD.

Figura 44. Zonificación de amenaza producto de la agregación de las zonificaciones con los dos diferentes criterios mencionados.



 <p>PASTO LA GRAN CAPITAL ALCALDÍA MUNICIPAL</p> <p>DR. GERMÁN CHAMORRO DE LA ROSA ALCALDE DE PASTO 2024-2028</p> <p>ARG. GERMÁN ORTEGA GÓMEZ SECRETARIO DE PLANEACIÓN MUNICIPAL</p> <p>ARG. ENRIQUE RIBASOS VILLABREAL ASISTENTE TÉCNICO GENERAL DE PLANEACIÓN</p> <p>ING. DIEGO PAUL MARTÍNEZ ERASO ENCARGADO DEL DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y SIG</p>	<p>PLAN PARCIAL VILLA DOLORES</p>	<p>AMENAZA POR FENÓMENO DE AT. PRODUCTO DE LA AGREGACIÓN DE LAS ZONIFICACIONES CON LOS DIFERENTES CRITERIOS</p>	<p>CONTRIBUCIÓN REGIONAL LOCALIZACIÓN GENERAL</p> 
	<p>FUENTES DE INFORMACIÓN</p> <p>Plan de Zonificación de Uso del Suelo y Ordenamiento Territorial de Pasto (2015-2025)</p>	<p>CONVENIONES</p> <p>Red Hídrica</p> <p>Tipo</p> <ul style="list-style-type: none"> Intermitente Permanente Curvas de nivel <p>Vías</p> <p>Tipo</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 2 4 	<p>LOCALIZACIÓN GENERAL</p> 
<p>INFORMACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>Plan de Zonificación de Uso del Suelo y Ordenamiento Territorial de Pasto (2015-2025)</p> <p>Plan de Zonificación de Uso del Suelo y Ordenamiento Territorial de Pasto (2015-2025)</p> <p>Plan de Zonificación de Uso del Suelo y Ordenamiento Territorial de Pasto (2015-2025)</p>	<p>FECHA DE ELABORACIÓN: 10 de Mayo de 2024</p>	<p>Nombre del Archivo: BDCG_EUA_PP_MIBL-1962</p>	<p>Fecha de Elaboración: 10 de Mayo de 2024</p>
<p>Escala numérica: 1:1,272</p> <p>Escala gráfica: 0 25 50 75 100 metros</p>			

2.4.2 Vulnerabilidad y Riesgo

La definición de la vulnerabilidad asociada a los elementos expuestos y su fragilidad y el riesgo como una condición definida entre la amenaza y la vulnerabilidad no será determinado debido a que los resultados del estudio detallado de la amenaza de este fenómeno categorizó al predio como baja, lo cual es respaldado por los estudios de básicos de riesgo del municipio (estudios que aún no han sido incorporados al ordenamiento territorial), los cuales catalogan al predio del Plan Parcial Villa Dolores como un área sin condición de amenaza ni condición de riesgo.

2.5 | OTROS

REFERENTES

2.5.1. Incorporación de la gestión del riesgo a los instrumentos de planificación territorial - Plan Parcial Villa Dolores

El ordenamiento territorial tiene como fin, además de atender los procesos de cambio del suelo y de mejorar la calidad de vida de los habitantes, mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante los riesgos naturales, para esto el ordenamiento jurídico nacional ha establecido como instrumento de planificación principal los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) e instrumentos de planificación secundarios o complementarios como son los denominados Planes Parciales, los cuales, según el artículo 19 de la Ley 388 de 1997, reglamentado por los Decretos 2181 del 2006, 4300 del 2007 y 1478 del 2013, se entienden como:

“Instrumentos mediante los cuales se desarrollan y complementan las disposiciones de los planes de ordenamiento territorial para áreas determinadas del suelo urbano y para las áreas incluidas en el suelo de expansión urbana, además de las que deban desarrollarse mediante unidades de actuación urbanística, macroproyectos u otras operaciones urbanas especiales, de acuerdo con las autorizaciones emanadas de las normas urbanísticas generales (...).”

Es así, como a través del ordenamiento del territorio se deben identificar las zonas que presenten riesgos por presencia de fenómenos amenazantes de origen natural o socio-natural para la localización de asentamientos humanos, bien sea en su instrumento principal (POT) o en sus instrumentos complementarios, de esta forma, las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales, contenidas en estos planes, son una determinante para el desarrollo territorial.

Ahora bien, para la incorporación del riesgo en el ordenamiento del territorio, se requiere de la elaboración de unos estudios en suelo urbano, expansión urbana y suelo rural que permitan identificar áreas en condición de amenaza y riesgo por los fenómenos de movimientos en masa, avenidas torrenciales, inundaciones y todos otros aquellos fenómenos amenazantes presentes en cada territorio, cuyas condiciones técnicas se encuentran prescritas en el Decreto 1807 del 2014, contenido en el Decreto Único Reglamentario 1077 del 2015, Sección 3 “Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial, Subsección 1”, los cuales se deben ser incorporadas de manera gradual al ordenamiento del territorio, así:

ARTÍCULO 2.2.2.1.3.1.2. Estudios técnicos para la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial. Teniendo en cuenta el principio de gradualidad de que trata la Ley 1523 de 2012, se deben realizar los estudios básicos para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes y en su ejecución se deben realizar los estudios detallados.

Los mencionados estudios permitirán identificar las áreas de amenaza y riesgo en un territorio, para así determinar medidas estructurales y no estructurales encaminadas a reducir el riesgo en una comunidad, en este orden de ideas y basados en el principio de gradualidad, entendido este como que: “la gestión del riesgo se despliega de manera continua, mediante procesos secuenciales en tiempos y alcances que se renuevan permanentemente. Dicha gestión continuada estará regida por los principios de gestión pública consagrados en el artículo 209 de la Constitución y debe entenderse a la luz del desarrollo político, histórico y socioeconómico de la sociedad que se beneficia” (Artículo 3, numeral 10, Ley 1523 del 2012).

Es por esto, que el Plan Parcial Villa Dolores, en cumplimiento al principio de gradualidad contenido en la Ley 1523 del 2012 y el Decreto 1077 de 2015, en su formulación, elabora e incorpora en su propuesta, los estudios detallados de riesgo por los fenómenos amenazantes de movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, cuya elaboración no solo contó con lo establecido en la normativa nacional y las guías metodológicas expedidas por autoridades competentes, sino que también tuvo en cuenta los resultados arrojados por los estudios básicos de riesgo adelantados por el municipio de Pasto, que si bien no cuentan con la etapa administrativa de incorporación al ordenamiento territorial del Municipio (POT), por encontrarse al momento en proceso de revisión y ajuste, ésta condición no es limitante para que en la formulación de instrumentos complementarios a este plan, puedan identificar las áreas expuestas a condiciones amenazantes y de riesgo por los fenómenos mencionados, que requieren de estudios más detallados cuya categorización del riesgo, permita establecer medidas de mitigación que garanticen un desarrollo urbanístico sostenible y seguro en la zona.

En este mismo sentido, y teniendo en cuenta que la Gobernación de Nariño, en cumplimiento al Plan Integral para la Gestión del Riesgo Volcánico- Volcán Galeras, adoptado por el Departamento a través del Decreto 160 del 18 de abril de 2018, modificado por el Decreto 570 del 23 de noviembre de 2020, contrata la elaboración del “Estudio detallado de riesgo por lahar en la cuenca de la quebrada Mijitayo, en el municipio de Pasto”, el cual fue entregado de manera oficial al Municipio en el mes de octubre del 2020; el Plan Parcial Villa Dolores incorpora a su documento técnico de soporte como parte integral de trámite de formulación del plan parcial Villa Dolores, los resultados finales del mencionado estudio; de esta incorporación y su respectivo alcance frente al área de desarrollo, se puede concluir lo siguiente:

- Teniendo en cuenta que la zona de desarrollo del plan parcial Villa Dolores, pertenece a la Comuna 7, se hizo necesario realizar un análisis de los productos entregados de manera oficial al municipio de Pasto, correspondientes a los resultados del estudio detallado de riesgo por lahar en la cuenca de la quebrada Mijitayo, esto con el fin de ser incorporados al documento técnico de soporte del Plan Parcial en cumplimiento a la normativa prescrita en los Decretos 1807 del 2014 y 1077 del 2015.
- Como resultado del análisis del estudio detallado de riesgo por lahar en la microcuenca de la Quebrada Mijitayo para la zona de estudio se pudo concluir lo siguiente:
 - Según los resultados del análisis y modelamiento de la amenaza por lahares, el área de delimitación del Plan Parcial se encuentra por fuera de la zona expuesta a este fenómeno, por lo tanto, no cuenta con condiciones amenazantes en su área de desarrollo.
 - Acorde a lo anterior se determina que no existe probabilidad de daño en la zona de desarrollo, por lo que su propuesta urbanística puede desarrollarse sin restricciones, ni limitantes frente al fenómeno de flujos de lodo o lahares, tal y como bien se encuentra determinado el Plan de Ordenamiento Territorial vigente para el municipio de Pasto.

Lo anterior puede ser corroborado de manera detallada en el capítulo 2 Gestión del Riesgo, numeral, 2.2. Riesgo por Amenaza Volcánica, 2.2.1. Riesgo por Amenaza de Flujos de Lodo o Lahares, del Documento Técnico de Soporte Plan Parcial Villa Dolores, donde se evidencia que el área de delimitación del plan parcial se encuentra por fuera de las áreas expuestas a amenaza por Lahares, por lo tanto, su desarrollo urbanístico no se ve limitado ni restringido ya que no hace parte de las zonas catalogada como de riesgo.

por Amenaza de Flujos de Lodo o Lahares, del Documento Técnico de Soporte Plan Parcial Villa Dolores, donde se evidencia que el área de delimitación del plan parcial se encuentra por fuera de las áreas expuestas a amenaza por Lahares, por lo tanto, su desarrollo urbanístico no se ve limitado ni restringido ya que no hace parte de las zonas catalogada como de riesgo.

Dicha incorporación se realiza, en cumplimiento a lo estipulado en la Sección 3. Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial, Subsección 3. Incorporación de la Gestión del Riesgo en el Ordenamiento Territorial, cuyas disposiciones prescriben que los estudios detallados de riesgo, deberán integrarse al Documento Técnico de Soporte que contiene la justificación, la descripción, el desarrollo y la aplicación de las determinaciones de planificación de los componentes y contenidos del Plan.

Así como también que su contenido deberá especificar La delimitación y zonificación de las zonas de riesgo, con la determinación de aquellas zonas de riesgo alto que se consideren cómo mitigables y no mitigables y la definición de las medidas de intervención para el desarrollo de las zonas de riesgo mitigable.

Igualmente, se contemplará la asignación de usos y tratamientos y las demás normas urbanísticas de carácter general para el desarrollo de estas áreas (densidades, ocupación y edificabilidad). Zonificación que, para el caso del Plan Parcial Villa Dolores, como se ha mencionado en reiteradas ocasiones no se hace necesario realizar, por no encontrarse en las áreas de exposición al riesgo por Lahares, por lo tanto, la probabilidad de daño en caso de desarrollo urbanístico es inexistente para este fenómeno, según los resultados finales aprobados por el estudio detallado de riesgo por lahar de la microcuenca Quebrada Mijitayo para el municipio de Pasto.

Esto en cumplimiento del artículo 2.2.2.1.3.2.1. Análisis de la información disponible, del Decreto 1077 del 2015, el cual prescribe que:

Para la elaboración de los estudios básicos y detallados se deben realizar los análisis de la información técnica disponible, considerando entre otros, los siguientes aspectos:

1. Recopilar y analizar la información contenida en el plan de ordenamiento territorial, estudios regionales, técnicos o informes técnicos, cartografía base, la información de las bases de datos institucionales y la información de redes de monitoreo de amenazas existentes.

2. Verificar si se cuenta con la delimitación y zonificación de amenaza y/o riesgo para el municipio o distrito (suelo urbano, expansión urbana y suelo rural) y que la misma cumpla cómo mínimo con los siguientes aspectos:

2.1 *Que corresponda al análisis del área urbana, expansión urbana y rural del municipio o distrito, se ajuste a las condiciones técnicas establecidas en el presente capítulo y esté acorde con su situación actual. La información se podrá emplear siempre y cuando se verifique su pertinencia y se actualice cuando se requiera.*

2.2 *Que la información técnica disponible corresponda al análisis de las áreas en las que se hayan evidenciado afectaciones en el municipio o distrito.*

3. *En caso que se cuente con estudios detallados que permitan establecer el nivel de riesgo, se deberá verificar que los mismos cumplan con las condiciones técnicas establecidas en el presente decreto.*

Con base en este análisis se deberá establecer la información técnica disponible correspondiente a la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y de las áreas con condiciones de riesgo. En los casos de ausencia total o parcial de la información, se deben establecer las acciones técnicas, institucionales y financieras necesarias para elaborar esta información.

Cuyo análisis, permite afirmar que por ser los estos estudios de riesgo adelantados por el municipio de Pasto y la Gobernación de Nariño, productos técnicos que cumplen con las condiciones técnicas establecidas en el Decreto 1807 del 2014 y el Decreto 1077 del 2015, no tienen objeción técnica ni jurídica que en primer orden no permita su revisión en cumplimiento al principio de gradualidad como base técnica para realizar los estudios detallados en las áreas que se consideren como afectadas por condiciones de amenaza y/o riesgo por la presencia de los fenómenos de movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, y en segundo orden impidan la incorporación del estudio detallado de riesgo por lahar en la microcuenca de la Quebrada Mijitayo, por el contrario su revisión e incorporación al Plan Parcial Villa Dolores, son el fundamento técnico idóneo que permiten garantizar una planificación del territorio bajo criterios técnicamente responsables y seguros para su desarrollo.

Esto en concordancia con el fallo jurisprudencial Sentencia del Tribunal Administrativo de Cundinamarca Sección Tercera – Subsección B, radicado No. 11001–33–36-031-2019-00047-01, del 17 de junio de 2022, en donde se afirma que: “(...) resulta inaceptable el comportamiento negligente de las hoy demandadas, cuando con pleno conocimiento de los eventos naturales que alertaban la presencia de un posible desastre, vulnerando su obligación de prevención y protección tomaron una conducta pasiva en cuanto a la realización o toma de medidas preventivas, tendientes a salvaguardar la vida y bienes de los habitantes (...)”; es decir, resulta inaceptable y totalmente reprochable que como formuladores, no se revise la información técnica existente que permita un análisis más detallado de cada fenómeno amenazantes.