

EVALUACIÓN DEL RIESGO EN LA RONDA HÍDRICA DE UN TRAMO DEL RÍO
MOLINO COMPRENDIDO ENTRE LA CALLE 15 NORTE HASTA LA CARRERA
6, EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN



CARMEN LORENA ARTURO HURTADO
LEANDRO ERNESTO MUÑOZ PABÓN

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DE DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN
2016

EVALUACIÓN DEL RIESGO EN LA RONDA HÍDRICA DE UN TRAMO DEL RÍO
MOLINO COMPRENDIDO ENTRE LA CALLE 15 NORTE HASTA LA CARRERA
6, EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN



CARMEN LORENA ARTURO HURTADO
LEANDRO ERNESTO MUÑOZ PABÓN

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero (a) Ambiental y
Sanitario

Directora
Ingeniera Ambiental
ÁNGELA MONTAÑO

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DE DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

Hacemos constar que el presente
degrado ha sido aceptado por la
Corporación Universitaria Autónoma del
Cauca, como requisito para optar el título
de Ingeniero (a) Ambiental y Sanitario

Firma de la Directora

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Popayán, Diciembre de 2016

DEDICATORIA

En el presente trabajo para optar el título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria se lo dedico principalmente a mi madre, Carmen Hurtado, quien ha sido la mujer que día a día e incansablemente me ha dado su amor, apoyo y toda su dedicación para que yo pudiera alcanzar esta meta tan anhelada; por eso y por toda su comprensión.

LORENA ARTURO

El presente trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario, lo dedico a dos personas muy importantes, mi madre Miryam Pabón Cerón, por darme la vida, por enseñarme de su humildad y lo que es la perseverancia, “mamá, gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti”; y a mi hija, Mariana Muñoz López, que a su corta edad me ha enseñado muchas cosas, eres la luz de mis ojos y el motor para seguir alcanzando mis metas propuestas, “gracias hija por darme tanta ternura”.

LEANDRO MUÑOZ

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

Quiero agradecerle principalmente a Dios quien me ha bendecido a lo largo de mi vida y de mi carrera universitaria por darme salud, fortaleza y perseverancia para alcanzar mis metas.

A mi madre, Carmen Hurtado, quien ha dedicado su vida entera a educarme con valores y principios bajo los cuales he forjado mi vida, mi personalidad y mis logros personales. A mi padre, Diego Arturo, agradezco su infinito conocimiento sobre la vida que ha transmitido con su amor a mis hermanos y a mí, agradezco sus palabras de aliento para seguir adelante a pesar de los obstáculos.

Quiero darle un agradecimiento muy especial a mi hijo, Daniel Alejandro, por ser un faro de luz que ilumina el camino por el cual hemos transitado desde su nacimiento, su presencia en mi vida marcó un momento de templanza, carácter y madurez para tomar las mejores decisiones y poder así alcanzar este logro y dedicárselo completamente a él por ser mi maestro.

A mis hermanos, Samy y David, agradecerles por su compañía, amor e incondicional apoyo con los cuales he logrado cumplir muchas de mis metas, también quiero agradecer a mi sobrina, María José, porque llegó en un momento que permitió fortalecer la unión y el amor en nuestra familia.

A mi gran amor, Camilo Barrera, quien ha sido mi compañero y amigo incondicional en cada momento que lo he necesitado, gracias a él muchos momentos fueron más fácil de sobrellevar.

A mi directora de trabajo de grado, la Ing, Ángela Montaña que con sus conocimientos pudimos emprender este trabajo y así poder desarrollarlo.

A la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca que me permitió estudiar y convertirme en una profesional.

En esta ocasión tan especial, quiero expresar todos mis agradecimientos a las personas que han sido parte fundamental para tener la capacidad, la fuerza y la perseverancia de alcanzar esta meta tan anhelada, agradecer a mis demás familiares, amigos y profesores quienes han acompañado este camino brindando su apoyo y su mejor energía para que yo pudiera culminar satisfactoriamente.

LORENA ARTURO

A Dios, por darme oportunidad y fortaleza para culminar esta meta propuesta y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Joaquín Dermo Muñoz Alvear y Miryam Pabón Cerón, por todo su esfuerzo, apoyo incondicional y su deseo para que mis sueños y objetivos se cumplan, por su responsabilidad y lucha constante para que no nos falte nada.

A mi esposa por su paciencia, comprensión, la ayuda que me ha brindado es sumamente importante para mi proyecto de vida, mis sinceros agradecimientos, Sandra nunca podré terminar de agradecerte por tantas ayudas, TE AMO.

A mis dos hijas Laura Marcela y Mariana, que son mi mayor fortaleza para trabajar fuertemente y seguir con el objetivo de alcanzar mis metas. Ustedes son mi principal motivación.

A mis hermanos Johan Muñoz y Paola Muñoz, por ser un ejemplo de superación.

A mi directora de proyecto de grado Ángela Montaña por su apoyo y culminación de este trabajo de grado.

Al docente Arnold Arias, por sus enseñanzas tanto a nivel profesional como personal.

A los docentes de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca por sus enseñanzas profesionales.

LEANDRO MUÑOZ

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I. PROBLEMA	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2 JUSTIFICACIÓN	19
1.3 OBJETIVOS	22
1.3.1 Objetivo General	22
1.3.2 Objetivos Específicos	22
CAPITULO II: REFERENTES CONCEPTUALES	23
2.1 ANTECEDENTES	23
2.2. BASES TEORICAS	35
2.2.1. Gestión del Riesgo	35
2.2.2. Ronda Hídrica	40
2.2.3. Contextualización de la zona de estudio	43
2.3. BASES LEGALES	46
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	49
3.1. FUENTES DE INFORMACIÓN	49
3.2 HERRAMIENTAS	50
3.3 LOCALIZACIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO	50
3.4 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	51
3.4.1 Recolección e interpretación de información base secundaria.	52
3.4.2 Procesamiento de la información existente	53
3.4.3 Reconocimiento y trabajo de campo	54

3.4.4 Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo de desastres	54
3.4.4.1 Identificación de la amenaza	55
3.3.4.2 Determinación de la vulnerabilidad.	58
3.4.4.3 Análisis del riesgo	63
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	65
4.1 RECOLECCIÓN E INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN BASE SECUNDARIA	65
4.1.1 Registros Históricos	65
4.1.2 Parámetros morfométricos	73
4.1.3 Geología y Geomorfología	74
4.1.3.1 Tramo fluvial de montaña	74
4.1.3.2 Tramo fluvial Meseta de Popayán	75
4.1.4 Uso del suelo	77
4.2 RECONOCIMIENTO DEL TRAMO DE ESTUDIO	80
4.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO	87
4.3.1 Identificación de la amenaza	87
4.3.1.1 Frecuencia	87
4.3.1.2 Intensidad	88
4.3.1.3 Territorio afectado	90
4.3.1.4 Calificación de la amenaza	93
4.3.2 Determinación de la vulnerabilidad	94
4.3.2.1 Vulnerabilidad física	94
4.3.2.2 Vulnerabilidad Ambiental	113
4.3.2.3 Vulnerabilidad total	126
4.3.3 Análisis del riesgo	127
CONCLUSIONES	129
RECOMENDACIONES	131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Registro histórico de inundaciones del río Molino	27
Cuadro 2. Calificación para frecuencia.	56
Cuadro 3. Calificación de la Intensidad	56
Cuadro 4. Calificación de territorio afectado	57
Cuadro 5. Calificación de la amenaza.	58
Cuadro 6. Valoración de la vulnerabilidad física	59
Cuadro 7. Ficha técnica para Vulnerabilidad Física.	60
Cuadro 8. Ficha técnica para vulnerabilidad ambiental	61
Cuadro 9. Calificación vulnerabilidad ambiental	62
Cuadro 10. Calificación de la Vulnerabilidad.	62
Cuadro 11. Valoración del riesgo	63
Cuadro 12. Matriz de Valoración del Riesgo escenario de Inundación.	64
Cuadro 13. Registro histórico de eventos en el tramo de estudio	68
Cuadro 14. Parámetros morfométricos del Río Molino	73
Cuadro 15. Frecuencia de la amenaza de inundación	87
Cuadro 16. Frecuencia en el tramo de estudio	88
Cuadro 17. Parámetros de intensidad en el tramo de estudio	89
Cuadro 18. Intensidad en el tramo de estudio	90
Cuadro 19. Calificación de territorio afectado en tramo de estudio	93
Cuadro 20. Calificación de amenaza en el tramo de estudio	93
Cuadro 21. Calificación de la antigüedad de las edificaciones	98
Cuadro 23. Calificación material de construcción y estado de conservación	100
Cuadro 24. Calificación de cumplimiento de normatividad vigente	102
Cuadro 25. Uso de suelo en el tramo de estudio	102
Cuadro 26. Calificación características geológicas y tipo de suelo	107
Cuadro 27. Calificación de la localización de las edificaciones	112
Cuadro 28. Calificación de la vulnerabilidad física	113
Cuadro 29. Precipitación media mensual y anual en la ciudad de Popayán.	117
Cuadro 30. Parámetros de calidad de agua del río Molino	120

Cuadro 31. Características fisicoquímicas del río Molino	122
Cuadro 32. Calificación de las variables de vulnerabilidad ambiental	125
Cuadro 33. Ponderación de la vulnerabilidad	126
Cuadro 34. Valoración de la vulnerabilidad	127
Cuadro 35. Calificación del riesgo en el tramo de estudio	127

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de la amenaza	37
Figura 2. Factores influyentes de la vulnerabilidad	39
Figura 3. Subcuenca urbana Río Molino	44
Figura 5. Localización del tramo de estudio	51
Figura 6. Variables a considerar en el manejo de la amenaza	55
Figura 7. Calificación de la amenaza	58
Figura 8. Factores del Riesgo	63
Figura 9. Antigua dinámica fluvial en la carrera 4 ^a	76
Figura 10. Rectificación en río Molino	77
Figura 11. Centro Deportivo Tulcán	78
Figura 12. Cancha de fútbol del Barrio Bolívar	79
Figura 13. Puente del humilladero y de la Custodia	79
Figura 14. Plaza de mercado Barrio Bolívar	80
Figura 15. Parque Mosquera	80
Figura 16. Vegetación en la ronda hídrica continua al Hospital Universitario San José	81
Figura 17. Mapa de reconocimiento del tramo	82
Figura 18. Problemas de erosión aguas abajo del puente vehicular de Tulcán (Calle 15 N), 2011.	83
Figura 19. Niveles de inundación. Canchas del Centro Deportivo Universitario – CDU. 2011.	84
Figura 20. Problemas de erosión y obras de protección. CDU, Servicios generales UNICAUCA y galería barrio Bolívar. 2011	85
Figura 21. Niveles de inundación CDU y galería barrio Bolívar. 2011.	86
Figura 22. Zonas inundables según cartografía social	91
Figura 23. Territorio afectado en la ronda hídrica	92
Figura 24. Mapa de la zona de estudio en 1961	96
Figura 25. Estado de las construcciones, año 2010	99

Figura 26. Cobertura vegetal en el Parque Mosquera	104
Figura 27. Cobertura vegetal en el Barrio Bolívar	105
Figura 28. Ronda hídrica en el sector del Hospital Universitario San José	109
Figura 29. Ronda hídrica en el sector de Tulcán	109
Figura 30. Ronda hídrica en el sector de la galería	110
Figura 31. Ronda hídrica en el sector del parque Mosquera	111
Figura 32. Temperatura media de la ciudad de Popayán.	114
Figura 33. Precipitación media en la ciudad de Popayán	115
Figura 34. Precipitaciones mensuales en 24 horas.	116
Figura 35. Precipitaciones mensuales anuales en la ciudad de Popayán	117
Figura 36. Valores promedio de calidad del aire en Popayán 2009.	119
Figura 37. Puntos críticos de vertimientos en el área de estudio	121

RESUMEN

La evaluación del riesgo en la ronda hídrica del tramo del río molino comprendido entre la calle 15 norte hasta la carrera 6, en la zona urbana del municipio de Popayán se llevó a cabo bajo la metodología que consigna la Guía Metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Colombia (PNUD) para eventos de inundación, determinando la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de la amenaza y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad que conjuntamente podrían dañar potencialmente a la población, la propiedad, los servicios y los medios de sustento expuestos, al igual que el entorno del cual dependen.

Se incluyeron revisión de información histórica y técnica de fuentes secundarias, de las características técnicas de las amenazas, tales como intensidad, frecuencia y territorio afectado; el análisis de la vulnerabilidad, incluidas las dimensiones físicas y ambientales, con ellos se determinó el riesgo en el tramo de estudio.

Las condiciones del tramo de estudio arrojaron como resultado de la evaluación, un nivel de riesgo Medio, con una amenaza de valoración media y vulnerabilidad media, lo que indica la factibilidad de diseñar estrategias encaminadas a la reducción de la vulnerabilidad que conlleven a la disminución del riesgo. Además, se brindaron recomendaciones para disminuir el impacto en la ronda hídrica del tramo objeto de estudio.

PALABRAS CLAVES

Riesgo, Vulnerabilidad, Amenaza, Inundación, Gestión del Riesgo de Desastres, Frecuencia, Intensidad, Territorio afectado, Ronda Hídrica.

ABSTRACT

The risk evaluation in the riparian buffer zone at the section of the Molino river, included between the calle 15 norte and the carrera 6, in the urban area of the municipality of Popayán it was carried out under the methodology that states the Guía Metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) and the Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Colombia (PNUD) for flood events, determining the nature and the level of risk through the threat analysis and the evaluation of the existing conditions of vulnerability and jointly could potentially to damage the population, the property, the services and the exposed livelihoods, as well as the environment which they depends.

Were included a review of historical data and technical secondary sources, of the technical characteristics of the thread, such as intensity, frequency and affected territory; vulnerability analysis, including the physical and environmental dimensions, with those it was determined the risk in the section of the survey.

The conditions of the section of the survey gave as result of the evaluation, a medium level of risk, with a thread of medium average and vulnerability, that indicates the feasibility to design aimed strategies to vulnerability reduction involving the decrease of the risk. Additionally, it provides recommendations to reduce the impact in the riparian buffer zone on the study object section.

Keywords

Risk, vulnerability, thread, flood, disaster risk management, frequency, intensity, affected territory, riparian buffer zone.

INTRODUCCIÓN

El riesgo ambiental, considerado como la condición o situación que pueda ocasionar daño, ha aumentado dramáticamente en las últimas décadas como consecuencia de la degradación ambiental, la expansión urbana sin una adecuada planificación, la pobreza, el aumento en la infraestructura y la producción de bienes y servicios [1]. Todo lo anterior, lleva a establecer procesos sistemáticos para fortalecer las capacidades de afrontamiento, con el fin de reducir el impacto adverso de las amenazas naturales y la posibilidad de que ocurra un desastre.

Para la evaluación del riesgo es necesario identificar sus factores, las amenazas y vulnerabilidades, que constituyen los elementos determinantes en la magnitud de los daños ocasionados por los desastres; pues la susceptibilidad de una comunidad de ser afectada por un evento físico peligroso se puede reducir si se han identificado sus debilidades.

Respecto a este tema, la ciudad de Popayán, durante décadas, ha enfrentado diversos sucesos de inundación de las diferentes fuentes hídricas que recorren su urbe, el río Cauca, el río Ejido, la quebrada Pubús y el río Molino, siendo éste último el de los eventos con mayor magnitud y según el Plan de Ordenamiento Territorial, la condición general que presenta el sistema del río Molino, induce a catalogarlo como punto crítico, el cual amerita especial interés y monitoreo, para plantear futuras medidas de mitigación.

Entre las zonas de mayor afectación por inundación en el recorrido del río Molino por la ciudad de Popayán, se ubica en primer lugar, el tramo de la calle 15 N hasta la carrera 6, área donde se han evidenciado diferentes eventos de inundación con pérdidas humanas, económicas y ambientales. Por lo anterior, este trabajo de investigación se trazó como objetivo evaluar el riesgo en la ronda hídrica del tramo

en mención, a través de la identificación del nivel de amenaza y la vulnerabilidad ambiental y física.

Este trabajo brindará una base teórica para que se puedan generar elementos para la mitigación y reducción del riesgo de desastres en el tramo del río Molino que mayor afectación ha provocado en su recorrido por la zona urbana de la ciudad de Popayán; se podrá ofrecer estrategias de afrontamiento a las inundaciones para la población, las instituciones y entidades relacionadas con la gestión del riesgo.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El riesgo ambiental se considera como los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse en un determinado espacio y tiempo debido a los eventos físicos peligrosos que en él se puedan presentar [2]. El conocimiento insuficiente de los riesgos ambientales de un sistema, incrementa la vulnerabilidad del mismo, y con ello, la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia.

La falta de identificación de la amenaza y vulnerabilidad constituye también uno de los elementos determinantes en la magnitud de los daños ocasionados por los desastres; pues la susceptibilidad de una comunidad de ser afectada por un evento físico peligroso se puede reducir si se han identificado sus debilidades.

El Río Molino nace en la vereda Santa Helena del Municipio de Popayán y tiene un recorrido de 24,5 kilómetros [3]; parte de él, atraviesa la ciudad de Popayán hasta la desembocadura en el Río Ejido. Esta situación le da al Río Molino la característica de subcuenca urbana, que se determinan por el incremento de la impermeabilización y la reducción de la infiltración debido al revestimiento del suelo como consecuencia de las construcciones y la remoción de la cobertura vegetal; esto, incrementa el volumen y la velocidad de escorrentía produciendo caudales pico, mayores en comparación con la cuenca no intervenida [4]. Lo anterior, indica que la subcuenca del Río Molino, en su recorrido por la zona urbana, debería recibir un tratamiento específico, sin embargo, no están establecidos los lineamientos metodológicos para la formulación de los planes en este tipo de cuencas [5]; además, existen pocas fuentes de estudio e investigación sobre la identificación de las amenazas y vulnerabilidades en dicha zona, incrementando el riesgo al que está sometida la población cercana.

Sumado a lo anterior, la subcuenca del río molino presenta una fuerte influencia antrópica del casco urbano del Municipio de Popayán que transfiere a las corrientes superficiales el cúmulo de procesos ambientales de su entorno social, las prácticas de diseño y construcción, el deterioro de infraestructuras, la falta de planeación y la ausencia de una cultura de mantenimiento y conservación del medio ambiente; todo ello, ha generado que la cuenca del río molino posea una deficiente regulación de caudales altos presentados por efectos de alta precipitación [6], además es considerada como una cuenca típica de montaña, con vertientes cortas y altas pendientes que provoca un escurrimiento rápido que forma crecientes súbitas con altos picos en los caudales [7].

Por otra parte, se hace evidente que los pocos estudio de riesgo en la ronda hídrica del río molino, no permite identificar eficazmente las consecuencias generadas por la urbanización debido a la escala y al nivel de detalle manejado, por ende, impide el establecimiento de estrategias de manejo para la recuperación y conservación del medio ambiente. Esto ha llevado a que la cuenca del río molino se considere frágil donde las acciones de intervención, sin lugar a dudas, deben priorizar la recuperación y mantenimiento de los ecosistemas [8]; más aún, cuando se espera que la frecuencia e intensidad de los eventos extremos en la región del macizo colombiano aumente por efecto del cambio climático [9].

1.2 JUSTIFICACIÓN

El riesgo hace énfasis en las condiciones preexistentes de vulnerabilidad de la sociedad, es decir, que eleva el concepto de riesgo a una posición central en el análisis del desastre y en la búsqueda de esquemas de intervención y acción que permitan pensar en la reducción de las posibilidades de desastres en el futuro. Esta idea implica como componente fundamental, la reducción de la vulnerabilidad existente, y la promoción de esquemas de transformación de la sociedad que

impiden la construcción en el futuro de nuevas condiciones de vulnerabilidad para la población [10].

De esta manera, el conocimiento y evaluación de la amenaza y la vulnerabilidad de un sistema deben ser prioridad para establecer los riesgos, y con ello, generar estrategias que permitan disminuir la vulnerabilidad a las amenazas presentes o potenciales; más aún, cuando el riesgo ambiental ha aumentado dramáticamente en las últimas décadas como consecuencia de la degradación ambiental, la expansión urbana sin una adecuada planificación, la pobreza, el aumento en la infraestructura y la producción de bienes y servicios [1].

En la división ambiental del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Popayán, se afirma que el panorama general de amenazas en el área urbana constituye una primera aproximación al problema de amenazas y donde no se han estudiado temas importantes como la vulnerabilidad y el riesgo, los cuales deberán ser desarrollados en futuros estudios; resalta la relevancia de realizar estudio hidrológicos e hidráulicos de los ríos Cauca, Molino, Ejido y Quebrada Pubús, para determinar zonas reales de inundación [11].

En el Municipio de Popayán, uno de las principales fuentes hídricas que atraviesan la ciudad es el Río Molino, que se ha consolidado no solo como fuente abastecedora del 10% del acueducto, sino también como espacio paisajístico articulador de dinámicas socio-ambientales rurales y urbanas [7]. La población de esta subcuenca, se estima en 53.329 habitantes distribuidos en la zona urbana y rural, siendo ellos mismos, testigos de los acontecimientos desastrosos que ha protagonizado esta fuente hídrica.

El río Molino hace parte de la subcuenca alta del río Cauca, el cual es el segundo río en importancia a nivel nacional. La cobertura dominante de la cuenca del río Molino corresponde a zonas urbanas e infraestructura en la parte baja de la cuenca, y de agroecosistemas y ecosistemas boscosos [8]. Además, el río Molino

atraviesa 4 comunas de la zona urbana del municipio de Popayán [3] y según el Plan de Ordenamiento Territorial, la condición general que presenta el sistema del río Molino, induce a catalogarlo como punto crítico, el cual amerita especial interés y monitoreo para plantear futuras medidas de mitigación [12].

En el tramo objeto de estudio, se ubica el Hospital Universitario San José, el único centro de salud nivel III del municipio de Popayán; una de las principales plazas de mercado de la ciudad en el sector conocido como el Barrio Bolívar, en su recorrido atraviesa uno de los sitios turísticos de mayor relevancia en la historia de Popayán llamado el Puente del Humilladero y además se encuentran en su paso tres puentes vehiculares y peatonales que comunican la zona norte de la ciudad con el sector histórico de Popayán; adicionalmente, esta zona ha presentado episodios de inundaciones, en repetidas ocasiones, afectando bienes, servicios, e incluso, vidas humanas de las familias que habitan los sectores aledaños al río Molino.

Por lo anteriormente mencionado y ante la constante amenaza a la que está expuesta la población, habitante en cercanías de esta fuente hídrica, por las repentinas crecientes del Río Molino, hacen que el tramo del río entre la calle 15 Norte y la carrera 6, sea hoy, una prioridad para el municipio y la autoridad ambiental al demostrar la importante necesidad de desarrollar instrumentos que permitan generar acciones para la gestión del riesgo; en este mismo sentido, Mendoza [13] afirma que se debe avanzar en la identificación de la amenaza, la cartografía y la consolidación de base de datos de esta importante fuente hídrica.

Por la importancia del río Molino para la ciudad de Popayán y por ser un afluente del río Cauca, se genera la necesidad de identificar en él los riesgos en la ronda hídrica del tramo urbano donde se visualiza el mayor impacto ambiental negativo; estos aspectos, permitirán la formulación y la realización de estrategias de prevención y mitigación de los riesgos identificados. Constituye la base para la identificación y formulación de programas y proyectos que deben posteriormente tenerse en cuenta en el Plan de Ejecución del Plan de Ordenamiento Territorial

(POT) y el Plan de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas (POMCH) para la mitigación de desastres o para el mejoramiento de la información mediante la elaboración de estudios adicionales.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Evaluar el riesgo en la ronda hídrica de un tramo del río Molino comprendido entre la calle 15 norte hasta la carrera 6, en la zona urbana del Municipio de Popayán.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Identificar las amenazas ambientales en la ronda hídrica del tramo comprendido entre la calle 15 Norte hasta la carrera 6 del río Molino.
- Determinar la vulnerabilidad del área de estudio del río Molino.
- Analizar los riesgos ambientales a partir de las condiciones encontradas en el área de estudio.

CAPITULO II: REFERENTES CONCEPTUALES

2.1 ANTECEDENTES

La consideración inicial de que los desastres solo eran de origen natural cambió a partir de la década de los 90 cuando se constituye el Decenio de las Naciones Unidas para la Reducción de los Desastres Naturales que hacía énfasis en estudiar los fenómenos físicos, en conocer mejor las amenazas existentes y mejorar técnicamente la capacidad institucional de respuesta a las emergencias. Sin embargo, este enfoque cambió al reconocer que los desastres son el resultado de la combinación entre la vulnerabilidad social existente, y el desencadenamiento de un fenómeno, haciendo énfasis en la prevención y mitigación, y no tanto en la atención de los desastres [14].

Esto llevó a que el énfasis creciente en las institucionales mundiales y regionales, se ha dirigido a considerar que los desastres ocurren cuando existe vulnerabilidad social, institucional, o ambiental, entre otras; y por tanto, se evoluciona hacia el tratamiento de la reducción de las vulnerabilidades convirtiéndose en un objetivo de primer orden [14].

Los avances en América Latina sobre el estudio de los fenómenos sísmicos e hidrometeorológicos han sido sustantivos; sin embargo, la información disponible sobre amenazas naturales y vulnerabilidad sigue siendo deficiente y escasamente concuerda con las necesidades de los evaluadores del riesgo y tomadores de decisiones. Más aún, expone Mora [15] y Mora & Barrios [16], cuando la mayor incidencia de los desastres principales en América Latina proviene de las inundaciones, ciclones, deslizamientos, terremotos y sequías, y los daños causados por estos procesos naturales se ven agravados por factores antropogénicos como la deforestación, el sobrepastoreo, la alteración de los lechos fluviales, la agricultura no tecnificada en laderas, la expansión urbana e

infraestructura caóticas y la inadecuada utilización del espacio, entre otras [15] [16].

En Colombia, según la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) [17], se considera un país expuesto a casi la totalidad de dichos fenómenos y Duque-Escobar [18] indica, que para el año 2007, se tenían 500 mil familias, aproximadamente, viviendo en zonas de alto riesgo y la Cruz Roja calcula, para este mismo año, 401 municipios afectados en 29 departamentos del país: 831 mil damnificados, 34 muertos, 134 heridos y 17 desaparecidos, además daños a 23 mil viviendas e incalculables pérdidas económicas en cultivos y animales.

Inicialmente, en el país no se evaluaban los desastres con el propósito de establecer protocolos o acciones preventivas y de respuesta sino de calcular las pérdidas humanas, económicas y ambientales. Fue así, como el 13 de noviembre de 1985, a partir del desastre de Armero, se detectó como necesidad prioritaria para el país contar con un sistema para la prevención y atención de desastres [17].

A partir de este momento se da inicio a toda la gestión y organización a nivel interinstitucional para la prevención y atención de desastres. Posteriormente y con el fin de establecer y regular las acciones del Sistema, se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres – PNPAD como un conjunto de acciones prioritarias para el conocimiento, la incorporación del tema en la planificación, el fortalecimiento institucional del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres y el mejoramiento de los programas de educación y divulgación, entre otros [17].

Se determinó como estrategia, el manejo de la gestión del riesgo como componente importante de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y Planes

de Desarrollo Sectorial (PDT), como instrumento en la planificación y toma de decisiones en los municipios, departamentos y nación [17].

En este sentido, en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Popayán del año 2002, se menciona que la cuenca del río Molino se caracteriza por ocasionar grandes pérdidas cada vez que tiene fuertes crecientes, especialmente por la desprotección que tiene el río en su parte alta en la cual se presenta sobrepastoreo y destrucción del ecosistema, y por las inundaciones en su parte media que representan gran amenaza para las familias que viven sobre la ribera [11].

En efecto, sobre la parte media de la cuenca del río Molino dentro de la zona urbana del municipio se han presentado episodios de inundaciones afectando bienes, servicios, e incluso, vidas humanas de las familias que habitan los sectores aledaños a la fuente hídrica.

Es así como en 1890, hubo una creciente que afectó el barrio Bolívar [3], el 30 de noviembre de 1928 y en el mes de noviembre de 1938 la creciente del río cubrió el puente de la Custodia, junto al puente del Humilladero [19]; otros episodios ocurrieron el 5 de febrero de 1996, que inundó al barrio Bolívar, en Diciembre de 2004, el 29 de abril y el 7 de mayo de 2011 la inundación avanzó solamente sobre la cancha de fútbol, junto a la plaza de mercado, y el último desbordamiento sucedió el 24 de diciembre de 2013 y el desbordamiento del río en febrero de 2015 [3].

Además el río Molino cuenta con la vertiente de drenaje al suroccidente de la subcuenca Pisojé; esta subcuenca tiene un área de 1885 Ha, su cauce principal es de 12.3 Km aproximadamente, forma parte de la cuenca Cauca y tiene influencia con el corregimiento de Santa Bárbara, entre sus principales veredas se encuentran La Unión la Cabrera, Pisojé Bajo, San Alfonso, El Paraíso y Pisojé Alto, la subcuenca limita al Norte y Oriente con la vertiente de drenaje directo a la

cuenca del río Cauca. Esta subcuenca presenta algunas zonas con deterioro ambiental reflejados en la deforestación, erosión del suelo y contaminación de algunas fuentes hídricas [20].

En el Cuadro 1 se hace referencia de los episodios de inundación protagonizados por el río Molino en la zona urbana del municipio Popayán desde su causa hasta el efecto producido, tomando información referente al problema principal y la frecuencia más probable en la cual se repita el episodio o las condiciones preliminares a los acontecimientos.

En el POT de Popayán (2002) se afirma que, al efectuar un diagnóstico para la zona urbana del municipio, el escenario de amenazas está fuertemente influenciado por fenómenos como las inundaciones periódicas de los ríos Molino, Ejido y Cauca y la Quebrada Pubús. Además, el estudio de Microzonificación señala el peligro de construir sobre la ronda de los ríos afectadas por la ocurrencia de grandes flujos en el pasado, donde los principales barrios afectados son: Barrio Bolívar, la Isla, los Ranchitos, el Triunfo, Junín y Cadillal (sobre el río Molino) [11].

Además, la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) (2014), en su estudio de Implementación de acciones de restauración ecológica, como aporte a la gestión del riesgo para la prevención de desastres, en la subcuenca Río Molino - Municipio de Popayán - Departamento del Cauca, menciona que en la subcuenca Río Molino-Qda. Pubús no existen estaciones hidrométricas, lo que impide que se pueda determinar con certeza los caudales máximos, medios y mínimos de estas corrientes superficiales; en consecuencia, se crea incertidumbre en los cálculos de posteriores balances hídricos, estudios de inundaciones, de riesgos por avenidas torrenciales, proyectos de regulación de caudales y de preservación de cuencas. [21].

Cuadro 1. Registro histórico de inundaciones del río Molino

SITIO	VARIABLE	INFORMACION
Barrios aledaños al río Molino "Parte Alta"	AÑO:	XII-1938.
	CAUSA:	Torrenciales por fuertes aguaceros.
	PROBLEMA:	Daños y destrucción a las viviendas y otras infraestructuras.
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones.
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año: Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo.
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Margen derecha del río "Propiedad de la Sra. Eucaris León"	AÑO:	
	CAUSA:	Extracción de material de arrastre del río.
	PROBLEMA:	Cantera agrietada con una longitud de 110mts lineales.
	EFEECTO:	Riesgo por inundación, es medio alto.
	FRECUENCIA:	
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Parte alta del río Molino.	AÑO:	II - 2000.
	CAUSA:	Mal manejo de la cuenca.
	PROBLEMA:	Deterioro ambiental de la cuenca con ausencia de cobertura vegetal.
	EFEECTO:	Erosión por impacto d gotas de lluvia, escorrentía y movimiento en masa.
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo.
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Barrio Pueblillo	AÑO:	V - 1991.
	CAUSA:	Construcción vía secundaria de 150mts de baja longitud sin afirmado para interconectar unas viviendas con la vía principal.
	PROBLEMA:	Inundaciones en la parte baja. Disminución de la capacidad del cauce natural del río.
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones.
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo.
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Barrio Pueblillo	AÑO:	1996.
	CAUSA:	Deforestación
	PROBLEMA:	Daños materiales
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones.
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo.
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Barrio Pueblillo	AÑO:	1999.
	CAUSA:	Existencia de 6 ladrilleras
	PROBLEMA:	Sedimentación, erosión, contaminación y deforestación
	EFEECTO:	Riesgo por inundación, es medio alto
	FRECUENCIA:	
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Las Acacias	AÑO:	1999-2000
	FRECUENCIA:	
	FUENTE:	Fundación Procuencia Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Barrio Camilo Torres	AÑO:	1999.
	CAUSA:	No hay cobertura vegetal
	PROBLEMA:	Zonas de riesgo
	EFEECTO:	Deslizamiento del terreno
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Procuencia Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Escuela Jorge Eliécer Gaitán	AÑO:	1991
	CAUSA:	Construcción de viviendas en las riberas del río Molino, invadiendo zonas de protección
	PROBLEMA:	Desestabilización del suelo Deterioro de la calidad de vida de los habitantes
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Procuencia Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

Fuente. [11]

Cuadro 1 (Continuación). Registro histórico de inundaciones del río Molino.

Escuela Jorge Eliécer Gaitán	AÑO:	
	CAUSA:	Asentamientos de tipo invasión en la margen izquierda del río
	PROBLEMA:	Las huertas solares y tapias llegan al margen del río
	EFEECTO:	Riesgo por inundaciones alto.
	FRECUENCIA:	
Aeronáutica Civil	FUENTE:	Fundación Procuena Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	
	CAUSA:	Asentamientos de tipo invasión en la margen izquierda del río
	PROBLEMA:	Las huertas solares y tapias llegan al margen del río
	EFEECTO:	Riesgo por inundaciones alto.
Barrio Camilo Torres	FRECUENCIA:	
	FUENTE:	Fundación Procuena Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	1991
	CAUSA:	Construcción de viviendas en las riberas del río Molino, invadiendo zonas de protección
	PROBLEMA:	Desestabilización del suelo Deterioro de la calidad de vida de los habitantes
Barrio Camilo Torres	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Procuena Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	1999.
	CAUSA:	Asentamientos de tipo invasión en la margen izquierda del río
Pandiguando	PROBLEMA:	Las huertas solares y tapias llegan al margen del río
	EFEECTO:	Riesgo por inundaciones alto.
	CAUSA:	Torrencales por fuertes aguaceros.
	PROBLEMA:	Daños y destrucción a las viviendas; y otras infraestructuras.
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones.
Margen derecha del río enfrente del polideportivo Pandiguando	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo.
	FUENTE:	Fundación Pro cuena Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	1999
	CAUSA:	Vertimiento de aguas residuales al río
	PROBLEMA:	Inestabilidad del suelo
Pandiguando	EFEECTO:	Deslizamiento
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo.
	FUENTE:	Fundación Pro cuena Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	1999
	CAUSA:	Asentamientos de tipo invasión en la margen izquierda del río
Barrio La Isla	PROBLEMA:	Las huertas solares y tapias llegan al margen del río
	EFEECTO:	Riesgo por inundaciones alto.
	CAUSA:	Asentamientos de tipo invasión en la margen izquierda del río
	PROBLEMA:	Las huertas solares y tapias llegan al margen del río
	EFEECTO:	Riesgo por inundaciones alto.
Barrio La Isla	FRECUENCIA:	
	FUENTE:	Fundación Pro cuena Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	1991
	CAUSA:	Construcción de viviendas en las riberas del río Molino, invadiendo zonas de protección
	PROBLEMA:	Desestabilización del suelo Deterioro de la calidad de vida de los habitantes
Barrio La Isla	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuena Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	II 1996
	CAUSA:	Torrencales por fuertes aguaceros
Barrio Bolívar	PROBLEMA:	Daños en vivienda, bodega de restaurante, avería de muros de contención Barrio Bolívar
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuena Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

Fuente. [11]

Cuadro 1 (Continuación). Registro histórico de inundaciones del río Molino.

Barrio Modelo	AÑO:	1999
	CAUSA:	Erosión del talud
	PROBLEMA:	Las huertas solares y tapias llegan al margen del río, no se respeta la protección
	EFEECTO:	Riesgo por inundaciones alto.
	FRECUENCIA:	
Cadillal	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	II 1996
	CAUSA:	Torrenciales por fuertes aguaceros
	PROBLEMA:	Daños en vivienda, bodega de restaurante, avería de muros de contención Barrio Bolívar
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
Barrio El Triunfo o la Resurrección	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	1991
	CAUSA:	Construcción de viviendas en las riberas del río Molino, invadiendo zonas de protección
	PROBLEMA:	Desestabilización del suelo Deterioro de la calidad de vida de los habitantes
Barrio Resurrección o El Triunfo.	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	1999.
	CAUSA:	Asentamientos de tipo invasión en la margen izquierda del río
Barrio Resurrección Antiguo Triunfo "Margen izquierda del río"	PROBLEMA:	Las huertas solares y tapias llegan al margen del río
	EFEECTO:	Riesgo por inundaciones alto.
	FRECUENCIA:	
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	1999.
Barrio	CAUSA:	Asentamiento de 4 familias
	PROBLEMA:	Inestabilidad del suelo
	EFEECTO:	Riesgo por deslizamiento
	FRECUENCIA:	
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Barrio Vázquez Cobo	AÑO:	III 1999
	PROBLEMA:	Daños y destrucción a las viviendas y otras infraestructuras (destrucción d la bocatoma)
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Barrio Vázquez Cobo	AÑO:	XI 30-1995
	CAUSA:	Torrenciales por fuertes aguaceros
	PROBLEMA:	Daños y destrucción a las viviendas y otras infraestructuras
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
Puente Vázquez Cobo	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	1999
	CAUSA:	Existen 6 viviendas cerca al puente Bodegas de los paperos del Barrio Bolívar están sobre la ribera del río
	PROBLEMA:	Inestabilidad de los taludes
	EFEECTO:	Riesgo por deslizamientos, Medio- Alto
Barrio Las Graditas Calle 1ª entre Cras 8 y 10, San Francisco margen izquierdo y derecho del río, Antiguo Comfacaucá.	FRECUENCIA:	
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
	AÑO:	1999
	CAUSA:	Erosión del talud
	PROBLEMA:	Las huertas solares y tapias llegan al margen del río, no se respeta la protección
	EFEECTO:	Riesgo por inundaciones alto.
	FRECUENCIA:	

Fuente. [11]

Cuadro 1 (Continuación). Registro histórico de inundaciones del río Molino.

Barrios aledaños al río Parte media.	ANO:	XII 1938
	CAUSA:	Torrenciales por fuertes aguaceros
	PROBLEMA:	Daños y destrucción a las viviendas y otras infraestructuras (destrucción d la bocatoma)
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Barrio Bolívar	ANO:	XI 30-1995
	CAUSA:	Torrenciales por fuertes aguaceros
	PROBLEMA:	Daños y destrucción a las viviendas y otras infraestructuras
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Barrio Bolívar	ANO:	II 1996
	CAUSA:	Torrenciales por fuertes aguaceros
	PROBLEMA:	Daños en vivienda, bodega de restaurante, avería de muros de contención Barrio Bolívar
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Parque Mosquera	ANO:	XI 1938
	CAUSA:	Torrenciales por fuertes aguaceros
	PROBLEMA:	Inestabilidad de los taludes
	EFEECTO:	Riesgo por deslizamientos, Medio- Alto
	FRECUENCIA:	
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Barrio Recuerdo	ANO:	XI 30-1995
	CAUSA:	Torrenciales por fuertes aguaceros
	PROBLEMA:	Daños y destrucción a las viviendas y otras infraestructuras
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Centro Deportivo de Tulcán	ANO:	1999-2000.
	CAUSA:	No hay cobertura vegetal.
	PROBLEMA:	Zonas de riesgo por inestabilidad del suelo.
	EFEECTO:	Deslizamiento del terreno.
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo.
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Centro Deportivo de Tulcán	ANO:	1999.
	CAUSA:	Falta de aislamiento en áreas de protección. Rectificación del Cauce.
	PROBLEMA:	Desprendimiento del talud. Alto grado de erosión.
	EFEECTO:	Zona de alto riego por deslizamiento.
	FRECUENCIA:	
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Hospital "San José"	ANO:	XI 1938
	CAUSA:	Natural Torrenciales por fuertes aguaceros
	PROBLEMA:	Daños y destrucción a las viviendas y otras infraestructuras (destrucción d la bocatoma)
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

Fuente. [11]

Cuadro 1 (Continuación). Registro histórico de inundaciones del río Molino.

SITIO	VARIABLE	INFORMACION
Barrio Ucrania	ANO:	1999 - 2000.
	CAUSA:	No hay cobertura vegetal.
	PROBLEMA:	Zonas de riesgo por inestabilidad del suelo.
	EFEECTO:	Deslizamiento del terreno.
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo.
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Vía Quebrada la Cantera	ANO:	1999 - 2000.
	CAUSA:	No hay cobertura vegetal.
	PROBLEMA:	Zonas de riesgo por inestabilidad del suelo.
	EFEECTO:	Deslizamiento del terreno.
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo.
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
La Cascada (donde inicia el recorrido urbano la Quebrada la Cantera y tributa al río Molino).	ANO:	1999.
	CAUSA:	Explotación de una cantera a cielo abierto, no se tiene protección y aislamiento (No hay plan de manejo).
	PROBLEMA:	Presencia de cárcavas.
	EFEECTO:	Procesos erosivos.
	FRECUENCIA:	Permanente.
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Margen derecha cerca al puente de la calle 25N Barrio Sotará	ANO:	1999.
	CAUSA:	Viviendas invadiendo la zona de protección
	PROBLEMA:	Inestabilidad del talud Alto grado de erosión
	EFEECTO:	Zona de alto riesgo por deslizamiento
	FRECUENCIA:	Permanente.
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Colegio Liceo Nacional Alejandro de Humboldt (Canchas de baloncesto) Sector de la vereda Pomona	ANO:	1999 - 2000.
	CAUSA:	Viviendas ubicadas en zonas de conflicto por uso del suelo
	PROBLEMA:	Zonas de riesgo por desestabilización del suelo Falta de cobertura vegetal
	EFEECTO:	Deslizamiento del terreno
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Residencias universitarias Calle 15N	ANO:	1999.
	CAUSA:	Existen 6 viviendas cerca al puente Bodegas de los paperos del Barrio Bolívar están sobre la ribera del río
	CAUSA:	No hay cobertura vegetal
	PROBLEMA:	Zonas de riesgo por inestabilidad del suelo
	EFEECTO:	Deslizamiento del terreno
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Barrio Yanaconas	ANO:	1996.
	CAUSA:	Deforestación
	PROBLEMA:	Daños materiales
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Margen izquierdo del río en el Barrio Yanaconas.	ANO:	1999.
	CAUSA:	Asentamiento.
	PROBLEMA:	Punto deterioro en los taludes. Contaminación por vertimiento de basuras. Las huertas y los solares de las viviendas llegan hasta el borde del río.
	EFEECTO:	Creciente e inundaciones.
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo.
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.
Barrio Aída Lucía.	ANO:	1999 - 2000.
	CAUSA:	No hay cobertura vegetal.
	PROBLEMA:	Zonas de riesgo por inestabilidad del suelo.
	EFEECTO:	Deslizamiento del terreno.
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo.
	FUENTE:	Fundación Pro cuenca Río Las Piedras - Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

Fuente. [11]

Cuadro 1 (Continuación). Registro histórico de inundaciones del río Molino.

Policía	AÑO:	
	CAUSA:	Asentamientos de tipo invasión en la margen izquierda del río
	PROBLEMA:	Las huertas solares y tapias llegan al margen del río
	EFEECTO:	Riesgo por inundaciones alto.
	FRECUENCIA:	
Barrio Junín	AÑO:	
	CAUSA:	Asentamientos de tipo invasión en la margen izquierda del río
	PROBLEMA:	Las huertas solares y tapias llegan al margen del río
	EFEECTO:	Riesgo por inundaciones alto.
	FRECUENCIA:	
Batallón	AÑO:	
	CAUSA:	Asentamientos de tipo invasión en la margen izquierda del río
	PROBLEMA:	Las huertas solares y tapias llegan al margen del río
	EFEECTO:	Riesgo por inundaciones alto.
	FRECUENCIA:	
Desembocadura del río "Margen derecha" Predios con el Batallón José Hilario López	AÑO:	
	CAUSA:	Falta de obras de protección
	PROBLEMA:	Sedimentación del lecho del río
	EFEECTO:	Deslizamiento
	FRECUENCIA:	En épocas más lluviosas del año; Octubre, Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo
Desembocadura del río "Margen izquierda"	AÑO:	
	CAUSA:	Zona completamente desprotegida y sin aislamiento
	PROBLEMA:	Extracción de material de arrastre
	EFEECTO:	Baja cobertura vegetal Cantera agrietada
	FRECUENCIA:	Riesgo por inundación
	FUENTE:	Fundación Procuencia Río Las Piedras - Acueducto de Popayán.

Fuente. [11]

Como parte de las acciones para la reducción del riesgo en el Río Molino, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD - realizó la entrega del Sistema de Alerta Temprana –SAT- desde su cuenca alta; logrando con esto el mejoramiento en los procesos por eventos de inundaciones en el sector urbano [22].

Este sistema está compuesto por cuatro estaciones de sistemas de alerta sonora y perifoneo junto con dos estaciones de sensores que informan acerca de las condiciones hidrometeorológicas sobre la cuenca del río Molino, permitiendo hacer gestión remota de las variables climáticas a través de la oficina del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo, integrando a líderes comunitarios y a las

entidades operativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – SNGRD [22].

Hace parte de este sistema, la capacitación sobre el funcionamiento tecnológico del sistema y la manera en la que debe actuar la comunidad frente a un llamado de emergencia; y una charla informativa con las entidades del SNGRD, Cruz Roja, Bomberos, Consejos de Gestión del Riesgo, logrando articular los procesos de Gestión del Riesgo junto con el sistema tecnológico que se ha implementado [22].

Según Agudelo [23], en el sector del barrio Pueblillo, en la cuenca del río Molino, se aprecia la disminución de la capacidad del cauce natural del río por deslizamientos, lo cual puede causar inundaciones en la parte baja, inestabilidad del suelo y deslizamientos. En este mismo sentido, Torres [24] recomienda actualizar el plan de manejo de la cuenca del río Molino y generar procesos con la comunidad de apropiación del plan de manejo de la cuenca del Río Molino y realizar verificaciones permanentes de las gestiones realizadas.

Por su parte, Mendoza [13] considera que existe una intervención sobre la cuenca, que se consideraría de manera preliminar está afectando el río no solo ambientalmente, sino que además incrementa la susceptibilidad de inundaciones; se ubican sobre la cuenca, explotaciones de arena por parte de la comunidad e incluso una empresa, la disposición de escombros a campo abierto en diferentes sitios, vertimientos al río, problemas de manejo de residuos sólidos, construcciones de empresas públicas (como la Universidad, CRC...), privadas, conjuntos residenciales de estratos 4 y zonas marginales.

Otro elemento importante para la caracterización ambiental de las subcuencas en el sector urbano son los aspectos físicos como morfología e hidrología. Según la Alcaldía de Popayán, en el POT del año 2002, la subcuenca del río Molino en su recorrido en el sector urbano posee pendientes bajas donde las velocidades del cauce son más bajas en comparación con las registradas en las cotas superiores.

Esta situación incide en que el área de cota alta sea susceptible a problemas de erosión y el área de cota baja a problemas de inundación con intensidades de lluvia por encima de los 50 años de tiempo de retorno. Unido a esta condición natural del perfil del río en el sector urbano, es importante resaltar que éste ha sido fuertemente intervenido por factores antrópicos que modifican la dinámica natural del cauce ocasionando problemas de erosión y represamiento en algunos sectores. El problema de erosión del río Molino en el tramo entre las carreras 9 y 11 se debe especialmente a las modificaciones que ha sufrido el río por la rectificación del cauce realizada en 1922, los rellenos de escombros posteriores al terremoto de 1983, la alteración del régimen de caudales por procesos de deforestación de la parte alta de la subcuenca, descargas de aguas negras y basuras e inundaciones esporádicas [11].

En el estudio hidrológico de la subcuenca del río Molino se considera que para precipitaciones de intensidades altas, se van a producir grandes volúmenes de escurrimiento, velocidades grandes de desplazamiento de las aguas y producirá rápidos ascensos de las crecientes [11].

Al mismo tiempo, la CRC [25] trae a referencia las características geográficas del río Molino al referir que está ubicada en la zona de influencia del sistema de fallas de Romeral y se caracteriza por presentar diaclasamientos y fallas locales. Las principales fallas que atraviesan la zona son: Cauca-Almaguer, El Crucero, Las Estrellas, Popayán y Silvia-Pijao en sentido NE y algunas fallas menores sin nombre en sentido NW [21].

Este mismo autor, expresa la importancia de adelantar las acciones de restauración ecológica conforme a los lineamientos del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Popayán y de esta forma minimizar, paulatinamente, los riesgos por avalanchas y los consecuentes represamientos y en el casco urbano, inundaciones que han ocasionado pérdidas que inciden en la dinámica económicas de la ciudad y de la región por sus efectos colaterales [21]

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1. Gestión del Riesgo. La población requiere de los recursos disponibles en el medio ambiente para su supervivencia, salud y bienestar. La persona en el proceso de satisfacer sus necesidades, además de lograr mejorar las condiciones económicas y de vida, ha aumentado la extracción de los recursos naturales que generan cambios que desencadenan impactos negativos en el ambiente, y con ello, nuevos tipos de amenazas [26].

De allí, también surge la apremiante necesidad de tener mayor efectividad en el manejo de desastres cuando se presentan, no de manera inmediata ni bajo enfoques de gestión centrados en el desastre mismo, sino que requiere de procesos sostenidos en el tiempo, decididos y conscientes que intervengan según las condiciones de riesgo [27]. Además, de los análisis de vulnerabilidad al cambio climático que deben estar articulados a la evaluación de las amenazas naturales recurrentes, pues son estas, las que por acciones detonantes derivadas de la variabilidad climática, pueden arrasarse con la poca capacidad de adaptación de las poblaciones [28].

En primera instancia, se debe entender el vocabulario adecuado que se utiliza en casos de emergencia; por ejemplo, cuando se habla de amenaza, definida en la Ley 1523 de 2012, se hace referencia a la exposición a un riesgo o peligro de que se presente un suceso físico originado naturalmente, o por el contrario, sea provocado por hechos humanos en forma accidental, que pueda acarrear como consecuencia pérdida de vidas humanas, heridos u otros impactos negativos en la salud, pero también que ocasione daños materiales en bienes, infraestructura vial y de prestación de servicios, medios de producción agrícola y recursos medioambientales.

En ese sentido, las amenazas se clasifican en:

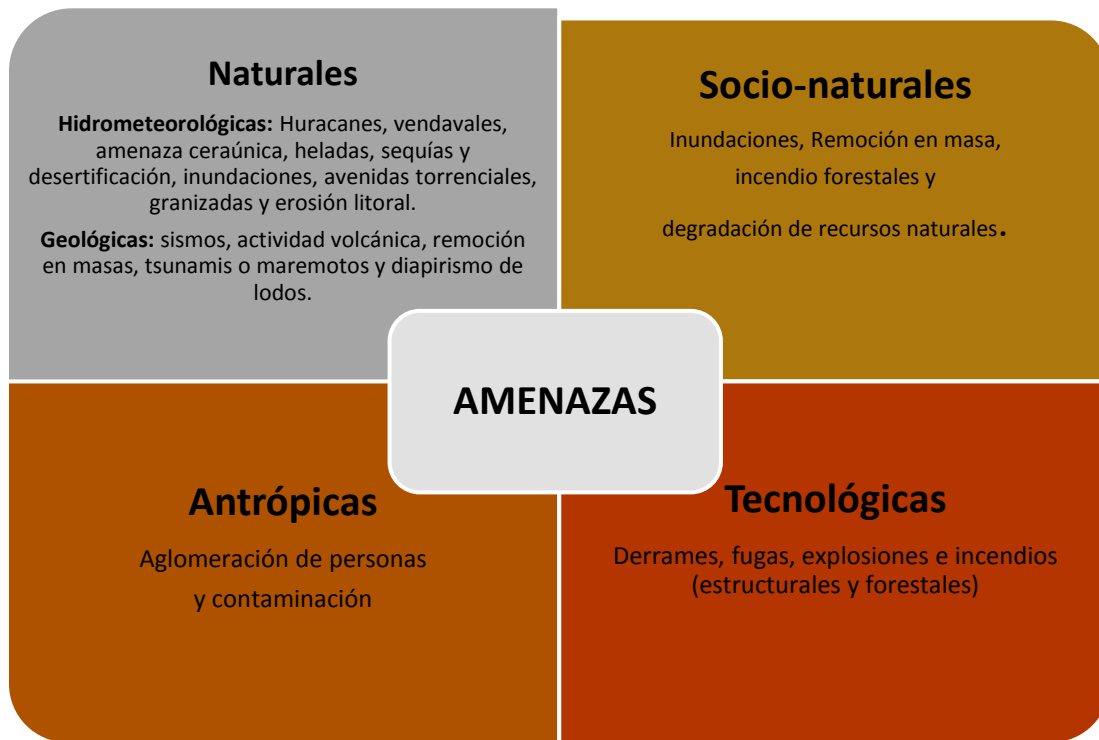
- **Naturales:** Son aquellas en que los seres humanos no intervenimos en su ocurrencia, ni tampoco estamos en capacidad de que ocurran. Se clasifican en geológicas (sismos, erupciones volcánicas, deslizamientos, avalanchas) e hidrometeorológicas (huracanes, tormentas eléctricas, tornados, fenómenos del niño y la niña, sequías) [29].

- **Socio-naturales:** Reacciones de la naturaleza a la acción humana inadecuada sobre los ecosistemas. Eventos cuya producción, además de un componente natural, hay participación de la actividad humana, se ha incrementado su potencial destructivo y recurrencia, acelerando su acontecimiento y forma de actuación.

Algunos ejemplos corresponden a los eventos generados por la deforestación y eliminación de cobertura vegetal en las cuencas, tales como los deslizamientos, desbordamiento de ríos debido a la sedimentación de materiales arrastrados desde las partes altas de las cuencas [29].

- **Antrópicas:** Son aquellas atribuibles a la acción humana sobre elementos de la naturaleza (aire, agua y tierra) y corresponden a eventos dañinos creados por actividades humanas que están ligadas a procesos de industrialización, desarrollo tecnológico, explotación de recursos naturales, crecimiento demográfico y de las áreas urbanas, entre ellos incendios forestales, incendios estructurales y no estructurales, derrame de sustancias peligrosas, emisiones de gases tóxicos, diversos tipos de contaminación del agua, suelo o aire, acumulación de desechos orgánicos sin tratamiento, etc. [29] (Figura 1).

Figura 1. Clasificación de la amenaza



Fuente [29].

Dentro de las amenazas de tipo natural está las inundaciones, sismos, maremotos, huracanes, deslizamientos, actividad volcánica, entre otros; sin embargo, en la ciudad de Popayán los tipos de amenaza naturales que predominan son la ocurrencia de inundación, sismo, deslizamientos y actividad volcánica [30]. La inundación como fenómeno natural es el momento en que los niveles de agua están por encima de los niveles regulares, debido a la crecida de los ríos como consecuencia de lluvias torrenciales [31]. Según lo anterior, las inundaciones pueden ser súbitas o lentas, y esto depende de la fuerza con la que se desplace la corriente del río, también se debe tener en cuenta que en zonas de influencia montañosa es muy común tener crecientes torrenciales, aunque también las inundaciones pueden presentarse por acciones humanas inadecuadas como edificación en zonas de alto riesgo de inundación, taponamiento de cauces – la más común – deforestación, falta de desagües y/o alcantarillado.

Otra de las amenazas latentes para la ciudad de Popayán es el riesgo volcánico como un hecho natural donde no interfiere la acción humana y representa una amenaza como producto de las emisiones de gases y materiales sólidos como rocas ardientes y lava volcánica. Otra consecuencia es las avalanchas que se presentan por el represamiento de ríos debido a los materiales volcánicos expulsados [32]. Así mismo, un hecho natural son los sismos que se presentan por la separación de rocas en el interior de la tierra, generando movimientos repentinos en espacios cortos de tiempo. Según la ubicación se encuentra que existen zonas de alta, intermedia y baja amenaza sísmica [31].

A diferencia de las inundaciones y sismos, los deslizamientos este tipo de riesgo si puede ser ocasionado por acciones humanas, y se refiere al desplazamiento de tierra, suelo o roca que se presentan con frecuencia en zonas de ladera. Su mayor influencia son las lluvias, sismos fuertes y la más influyente por acciones humanas, como quemas, talas deforestación, cortes inadecuados en el terreno, rellenos, explotación minera, mal manejo de aguas negras y excavaciones, debilitando el terreno y permitiendo que se mueva y ocurra un desplazamiento masivo. Los deslizamientos pueden generar represamiento de ríos y quebradas, daños en el acueducto y alcantarillados y en las redes de gas o petróleo [32].

Otro término importante en la gestión del riesgo es vulnerabilidad; es una situación de susceptibilidad o debilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene en riesgo a una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos negativos en el evento de que un suceso físico natural con alto peligro se presente. La vulnerabilidad es la tendencia a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos [30].

El factor de riesgo interno (intrínseco) de los bienes expuestos, representa la predisposición a ser afectado, así como la falta de capacidad para la

autorecuperación en caso de ser afectado. La vulnerabilidad de los bienes municipales (población, bienes económicos y ecológicos) depende de diversos factores interrelacionados propios del municipio, de su proceso de desarrollo [33] .

Los factores que inciden en la determinación de la vulnerabilidad son (Figura 2) [33]:

- **Factores Físicos:** Ubicación y resistencia material de los bienes con relación al evento amenazante.
- **Factores Ambientales:** Corresponden a la manera como la comunidad explota los elementos de su entorno natural, debilitándose a sí misma y los ecosistemas y su capacidad para absorber sin traumatismos los diferentes eventos amenazantes.
- **Factores Económicos:** Corresponden a la disponibilidad de los recursos económicos (pobreza) en una comunidad, así como la utilización de los mismos.
- **Factores Sociales:** Corresponden a los aspectos políticos, organizacionales, institucionales, educativos y culturales del municipio en su historia y actualidad.

Figura 2. Factores influyentes de la vulnerabilidad



Fuente: [29].

2.2.2. Ronda Hídrica. Las rondas hídricas 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. La ronda hídrica o la ronda de río también se conoce como “Faja de Protección” que es un área de reserva ecológica, no edificable, de protección y control ambiental o ecológica, localizada a lo largo de las riveras de los ríos, quebradas lagos, humedales y en general corrientes y cuerpos de agua natural” [34].

La faja de protección debe ser menor de 30 metros, se delimita, midiendo desde el cauce permanente del cuerpo de agua 30 metros; es decir, que la ronda hídrica no será menor de 30 metros. En consecuencia, los primeros 30 metros de la ronda hídrica, medidos desde el cauce de aguas máximas, es un bien inembargable e imprescriptible del Estado en los términos que lo establece el artículo 83 del Decreto Ley 2811 de 1974, salvo en los casos que se tengan derechos adquiridos [35].

En los casos que la ronda hídrica sea de carácter privado, por derechos adquiridos o porque parte de ella está por fuera de los 30 metros, entra en conflicto el interés público sobre el privado, se acude a la función social y ecológica que son atribuidas al derecho de propiedad en el artículo 58 de la Constitución Política de 1991 [36]. Además, la ocupación de los cauces y sus riberas debe ser autorizada por las Autoridades competentes [35].

Son tres componentes los que se integran al definir la ronda hídrica: el componente geomorfológico, el componente hidrológico y el componente ecosistémico, los cuales ayudan a tener el espacio necesario para el desarrollo de la dinámica natural del sistema fluvial, donde se pueden realizar sin restricciones sus funciones hidrológicas y geomorfológicas.

El componente geomorfológico desde el punto de vista de la dinámica fluvial, el objetivo de las rondas hídricas es garantizar que los procesos fluviales pueden darse de la manera más similar posible a las condiciones naturales. De igual modo, las rondas hídricas deben ser garantía para que los procesos naturales de erosión, transporte y acumulación de sedimentos, nutrientes y demás se den de manera que permitan el funcionamiento de los ecosistemas [35].

El componente hidrológico de la ronda hídrica está determinado por la zona que utiliza la corriente para sus funciones de transporte y almacenamiento temporal del agua y los sedimentos, durante los eventos de crecida en las temporadas de aguas altas, propias de la variabilidad climática y de expectativas razonables del cambio climático. Se requiere que esta zona esté en condiciones naturales y que no tenga obstáculos artificiales que impidan el flujo o el almacenamiento temporal de agua y sedimentos [35].

De igual manera, el tercer componente tiene igual importancia, ya que este constituye los cuerpos de agua y riberas lo cual lo convierten en un ecosistema único con hábitat de múltiples especies de flora y fauna, estrechamente interrelacionadas. Para su delimitación se consideran varios elementos [35]:

- Se trata de una franja que cumple funciones de corredor biológico con viabilidad ecosistémica.
- Hay un efecto de borde que requiere que la franja tenga un ancho mínimo para su viabilidad.
- Hay un ancho mínimo que se requiere para el efecto tampón. Este corresponde al ancho necesario para que el componente cumpla con su función de proteger a la corriente de la llegada directa de escorrentías con posibles contaminantes.
- Las rondas hídricas deben tener viabilidad ecosistémica relacionada con la vegetación natural que existe o que se establecería allí.
- El ancho de la franja, que define el componente ecosistémico de la ronda hídrica, se debe relacionar con la altura del dosel.

- En las zonas con menor densidad de drenaje y por ende menos rondas, éstas tienen un mayor valor ecológico y deben ser más anchas.
- En las corrientes pequeñas (poco anchas), la viabilidad ecosistémica la garantiza la suma de las franjas a los dos lados.
- En los ríos más anchos, en que se desconectan las márgenes, la viabilidad ecosistémica para el componente terrestre, se debe garantizar en cada margen
- Los ríos más grandes (que drenan cuencas más grandes) constituyen un hábitat acuático más importante y deben tener franjas un poco más anchas.

Para garantizar un buen manejo sostenible de dichas áreas y una protección y una excelente conservación de las mismas, los municipios deben acoger en los procesos de revisión general y ajustes de los planes de ordenamiento territorial, las siguientes condiciones y restricciones ambientales que son determinantes para la definición y usos de la ronda hídrica:

- La categoría de manejo de las rondas hídricas es de protección, con un uso principal de Preservación o Restauración, según el estado de las mismas, buscando con ello, garantizar el funcionamiento natural de la dinámica hídrica, geomorfológica y ecosistémica de los cuerpos agua.
- Entre los usos complementarios, están la educación, prácticas culturales tales como: recreación, navegación, rituales, encuentros, costumbres, usos adaptados a la dinámica fluvial. La ocupación se debe hacer de tal manera que no exista la posibilidad de que las inundaciones sean causantes directas de la pérdida de vidas de personas vulnerables (niños, ancianos, personas de movilidad reducida).
- Se restringe el uso urbano de estas áreas, con viviendas y la construcción de cualquier tipo infraestructura permanente.

2.2.3. Contextualización de la zona de estudio. Colombia es un país con gran biodiversidad de sus ecosistemas, existen muchas fuentes de agua; arroyos, quebradas, riachuelos y ríos; existen además innumerables lagos, ciénagas y humedales. La riqueza hídrica del país se ve representada en la extensa red superficial de aguas que cubre el país, en las favorables condiciones que permiten el almacenamiento de aguas subterráneas y en la existencia de un importante número de cuerpos de agua lenticos y enormes extensiones de humedales [37].

El sistema hidrográfico del Cauca, está constituido por cinco grandes cuencas: Alto Cauca, Pacífico, Alto Magdalena, Patía y Caquetá; Alto Cauca, conformada por el río Cauca y sus afluentes río Palo, Guengué, Negro, Teta, Desbaratado y Quilichao, Mondomo, Ovejas, Pescador, Robles, Piedras, Sucio, Palacé, Cofre, Honda, Cajibío, Piendamó, Tunia, Molino y Blanco [38]. Su capital, Popayán, se encuentra a una altitud de 1.738 metros sobre el nivel del mar, msnm, con una temperatura media de 19° C, se localiza a los 2°27' norte y 76°37'18" de longitud oeste del meridiano de Greenwich [39].

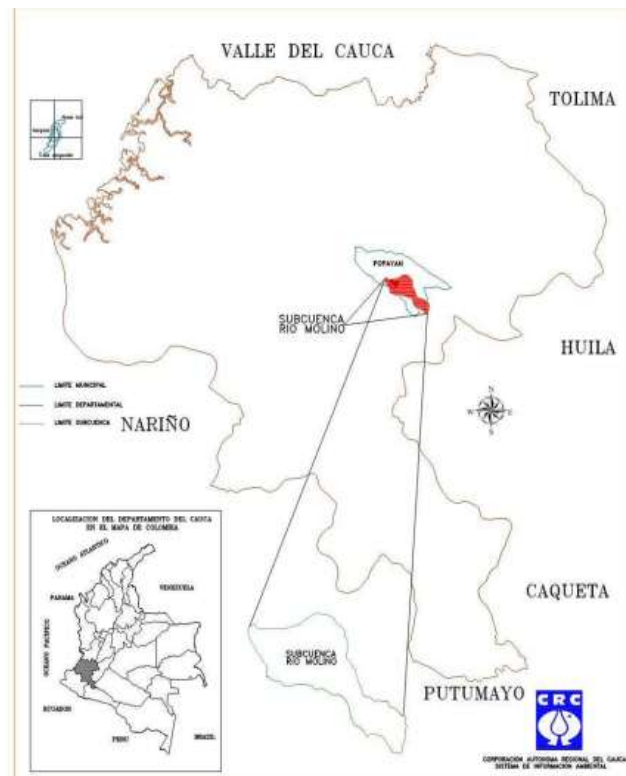
La ciudad tiene como principales fuentes hídricas los ríos Blanco, Ejido, Molino, Las Piedras, Cauca, Negro, Mota, PISOJÉ, Clarete, Saté y Hondo, de los que de cuatro de estas abastece su acueducto municipal para llevar agua potable a casi la totalidad de su población [39].

El río Molino ha estado muy ligado a la historia y desarrollo de Popayán y en sus sitios de ribera se conservan lugares de valor histórico, cultural y paisajístico como el Puente del Humilladero, el Puente Chiquito o la Custodia y lugares de interés ambiental que se constituían en sitios de esparcimiento y recreación. Abastece de agua potable al 10% de la Ciudad por el sistema de gravedad y atiende la zona oriental y central. Desde la bocatoma hasta el barrio Junín, el río es afectado por unas descargas de aguas residuales muy puntuales: las del Hospital Universitario San José, El Centro Médico Quirúrgico, la plaza de mercado del barrio Bolívar y los talleres de mecánica de las carreras 8 y 9 [11].

La subcuenca del Río Molino se localiza al sur occidente de Colombia, centro del departamento del Cauca, hacia el oriente del municipio de Popayán [12]. En su área de 67,87 Km², la subcuenca Río Molino incluye 8 corregimientos, 10 veredas y 4 comunas urbanas donde se ubican, aproximadamente, 53.329 habitantes entre campesinos e indígenas en la zona rural y urbana, los cuales dependiendo de su sentido de pertenencia y necesidades degradan, en mayor o menor medida, los recursos de los que dependen [7].

El río Molino nace en la vereda Santa Elena del Municipio de Popayán en las coordenadas 1063100 Este, 752900 Norte [7] y desemboca en el río Ejido; hace un recorrido de 24.5 km [3] en sentido nor-este a sur-oeste, distribuidos entre la zona rural y la zona urbana de la ciudad de Popayán, capital del Departamento del Cauca, a una altura de 1.760 metros sobre el nivel del mar y un clima tropical de 18 grados centígrados promedio [12] (Figura 3).

Figura 3. Subcuenca urbana Río Molino



Fuente [5].

La sub-cuenca Río Molino se encuentra ordenada y en constante planificación bajo procesos institucionales y comunitarios que la posicionan como modelo integral de desarrollo regional, fundamentado en la sostenibilidad ambiental y equidad social. El Río Molino se ha consolidado no solo como fuente abastecedora del acueducto sino también como espacios paisajísticos articuladores de dinámicas socio-ambientales rurales y urbanas. La subcuenca en la parte baja, tiene una gran extensión en la formación geomorfología del valle de Pubenza, lugar donde el río Molino deja su comportamiento torrencial y pasa a describirse como un río típico de llanura aluvial, es decir, de baja pendiente y formación de meandros entre otras características [7].

La pendiente de las vertientes varía desde suaves a fuertes. Sus pendientes en las zonas altas, sumado a los demás parámetros sugieren también un carácter fluvial de respuesta rápida con altas velocidades en la parte alta de la sub-cuenca hasta que entra al valle de Pubenza donde los parámetros morfométricos ya no representan bien el carácter de los hidrogramas y sugiere ser más un río fluvial [40].

De los índices se deduce que el cauce del río Molino tiene pendientes variables, que oscilan entre 2 y 59%, indicando en general altas velocidades; los tiempos de concentración son prolongados por su forma oval oblonga a rectangular y coeficiente de compacidad de 1.5 , indicando bajas probabilidades de crecientes. La elevación promedio es 1863 m, lo cual significa que domina el piso templado [11].

El estudio se realizó en la ronda hídrica, es decir, en las franjas de terreno aledañas al cuerpo de agua que tienen como fin permitir el normal funcionamiento de las dinámicas hidrológicas, geomorfológicas y ecosistémicas propias (artículo 83 del Decreto Ley 2811 de 1974).

2.3. BASES LEGALES

A partir de la tragedia de Armero, en el año 1985, se da inicio a toda la gestión y organización a nivel interinstitucional la prevención y atención de desastres (Ley 46 de 1988 – Decreto Ley 919 de 1989), los cuales enmarcan las funciones y responsabilidades de cada uno de los actores del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres. Posteriormente y con el fin de establecer y regular las acciones del Sistema, se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres - PNPAD mediante Decreto 93 de 1998 [32].

Al ser el PNPAD un esquema esencial para el desarrollo sostenible a nivel nacional, se determina mediante el Documento CONPES 3146 de 2001: Estrategia para consolidar la ejecución del Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, un conjunto de acciones prioritarias para mejorar el desarrollo del Plan con respecto a elementos tales como el conocimiento, la incorporación del tema en la planificación, el fortalecimiento institucional del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres y el mejoramiento de los programas de educación y divulgación entre otros [17].

En este sentido se determinó como estrategia, el manejo de la gestión del riesgo como componente importante, la Ley 388 de 1997 de Ordenamiento Territorial, el Plan de Ordenamiento Territorial debe hacerse con la información que acopie mediante la elaboración del diagnóstico técnico, complementada con la suministrada por quienes conocen y viven la realidad del municipio día a día, y debe ser el resultado de un proceso de participación y concertación con todos los actores involucrados. Los POT y los Planes de Desarrollo Sectorial (PDT) se configuran como instrumentos de planificación en el corto y mediano plazo y, a su vez, como herramienta para la toma de decisiones sobre el futuro económico y social de los municipios, departamentos y nación.

Con el fin de dar continuidad al manejo de la prevención y atención de desastres a nivel nacional, regional y local, se adoptó mediante la Ley 812 de 2003 Plan Nacional de Desarrollo: “Hacia un Estado Comunitario” criterios claros con respecto a la ejecución del PNPAD en temas específicos tales como:

- Profundización del conocimiento en riesgos naturales y su divulgación
- Inclusión de la prevención y mitigación de riesgos en la planificación de la inversión territorial y sectorial y
- Reducción de la vulnerabilidad financiero del Gobierno ante desastres.

De esta manera se viene consolidando el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres como un mecanismo para la toma de decisiones en respuesta al impacto y repercusión de las amenazas naturales y antrópicos en el territorio colombiano.

En Colombia a partir de la creación de la Ley 1450 de 2011, que promulgó el Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014 “Prosperidad para Todos”, las rondas hídricas fueron reguladas de forma explícita determinando en su artículo 206 que la responsabilidad del acotamiento de estas áreas recae en la Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, los grandes centros urbanos y los Establecimientos Públicos Ambientales con base en criterios establecidos por el Gobierno Nacional. La anterior ley ya no está vigente, pues ya existe una nueva ley, la Ley 1753 de 2015, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “ Todos por un nuevo Cambio “

La ley 1523 del año 2012 adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en la cual se acoge estrategias para la atención inmediata y efectiva a la comunidad dentro del territorio colombiano minimizando las consecuencias de los desastres o accidentes naturales [41].

Sobre la ronda hídrica, la ley 1450 del año 2011, en su artículo 206, establece que corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales efectuar, en el área de su jurisdicción y en el marco de sus competencias, el acotamiento de la faja paralela a los cuerpos de agua, además, el literal d) del artículo 83 del decreto Ley 2811 de 1974 refiere el área de protección o conservación aferente, para lo cual se deberán realizar los estudios correspondientes, conforme a los criterios que defina el Gobierno Nacional, la anterior ley tiene una versión actualizada por la ley 1753 de 2015, tiene como objetivo construir una Colombia en paz, equitativa y educada, en armonía con los propósitos del Gobierno nacional, con las mejores prácticas y estándares internacionales, y con la visión de planificación, de largo plazo prevista por los objetivos de desarrollo sostenible, algunos artículos se mantendrán igual como están en la ley 1450 de 2011.

Por otra parte, por medio de la ley 99 de 1993 se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA. En el artículo 2º, menciona que la biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible; además, en el artículo 63º habla de los Principios Normativos Generales, a fin de asegurar el interés colectivo de un medio ambiente sano y adecuadamente protegido, y de garantizar el manejo armónico y la integridad del patrimonio natural de la Nación, el ejercicio de las funciones en materia ambiental por parte de las entidades territoriales, se sujetará a los principios de armonía regional [42].

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

La evaluación del riesgo en la ronda hídrica del Río Molino en el sector comprendido entre la calle 15 norte hasta la carrera 6 en la zona urbana del Municipio de Popayán, comprende un trabajo de investigación aplicada en el cual se plantea como interrogante, qué grado de riesgo presenta este tramo para la sociedad teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

3.1. FUENTES DE INFORMACIÓN

Se realizó la recolección de información existente y consecución de documentos como informes, registros históricos y mapas sobre temáticas relacionadas; además, se utilizó información secundaria de:

- Base de datos hidrológica del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).
- Guía meteorológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)
- Programa de Naciones Unidas Nacional para el Desarrollo Colombia (PNUD)
- Estudios y trabajos previos (Fuentes bibliográficas).
- Estudios de la Oficina Asesora de Planeación - Alcaldía de Popayán
- Estudios del área ambiental del acueducto y alcantarillado de Popayán
- Fundación pro cuenca río Las Piedras
- Corporación Autónoma Regional del Cauca.
- Periódico el Liberal.
- Periódico el Nuevo Liberal.
- Estudios de Cuencas hidrográficas - Biblioteca Central de la Universidad del Cauca.

- Informes del Consejo Municipal y Departamental de Gestión del Riesgo.

3.2 HERRAMIENTAS

Para la integración y el análisis de los datos se utilizaron las siguientes herramientas:

- Sistemas de información geográfica, ARGIS 10, con el cual se obtiene localización del tramo de estudio, territorio afectado y medida total del tramo.
- Computador
- Información geográfica y cartográfica social obtenida por la Defensa Civil, fundación río las piedras y cruz roja del documento anexo al plan parcial. (planos, mapas, cartografía, fotos aéreas)
- Cámara fotográfica.

3.3 LOCALIZACIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO

El tramo del Río Molino, objeto de estudio, se localiza en la zona urbana del Municipio de Popayán desde la calle 15Norte hasta la carrera 6. El recorrido alcanza una distancia de 1.015,74 m. y un área de 73.174,672 m², zona que se describe en la Figura 5.

Figura 4. Localización del tramo de estudio



Modificado de: Google maps

3.4 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

El estudio de la evaluación del riesgo en la ronda hídrica de un tramo del Río Molino comprendido entre la calle 15 norte hasta la carrera 6 en la zona urbana del Municipio de Popayán se realizó con base a la Guía Metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Colombia (PNUD). Esta metodología se aplica por su utilidad en el estudio de evaluación de amenaza por inundación, debido a que permite hacer un reconocimiento de las zonas que son afectadas por inundaciones basándose en los datos reales que han sucedido en el pasado; se integran en esta metodología, inventarios de fenómenos realizados de forma participativa con las entidades territoriales, los líderes comunales y la población localizada en la cuenca, observaciones y mediciones de campo, análisis y revisión

de información técnico-científica disponible (mapas, fotos aéreas, informes, etc.) y registros históricos.

La metodología del MADS permite conocer la probable ubicación y severidad de los fenómenos naturales peligrosos, así como la probabilidad de que ocurran en un tiempo y área específica; esta metodología puede ser utilizada para evaluar los estudios ambientales tanto de proyectos que sean competencia del Ministerio del Medio Ambiente como de las Corporaciones Autónomas Regionales, municipios, distritos y áreas metropolitanas con funciones de autoridad ambiental, obteniendo como resultado la elaboración de un mapa de riesgo con el apoyo de los Sistemas de Información Geográfica, el cual representa un elemento clave para la planificación del uso del territorio de la cuenca y constituye un insumo imprescindible para el análisis de los riesgos actuales y potenciales.

A continuación se describe la metodología adoptada para la evaluación de la amenaza y riesgo a inundaciones en la ronda hídrica de un tramo del Río Molino comprendido entre la calle 15 norte hasta la carrera 6^a, en la zona urbana del Municipio de Popayán:

3.4.1 Recolección e interpretación de información base secundaria. Se revisaron los aspectos históricos, los antecedentes de eventos ocurridos en el municipio de Popayán y los estudios hidrológicos, hidráulicos, geológicos y geomorfológicos que pueden afectar elementos expuestos del ecosistema, como también de vidas humanas, infraestructura y suelos. Se recolectaron datos, incluyendo fotografías aéreas, imágenes de radar o satélite de diferentes procesos de inundación, información cartográfica e información sobre inundaciones históricas en la subcuenca.

Con la información y los estudios recolectados en las diversas entidades (Corporación autónoma regional del Cauca-CRC, Oficina de Gestión del Riesgo de

Desastres, Alcaldía Municipal, Bomberos Municipal, Cruz Roja, Defensa Civil), se realizó un análisis de la información disponible a partir de su interpretación y confrontación para definir el grado de amenaza y riesgo por el escenario de inundación. No obstante, la información suministrada por las entidades fue escasa.

3.4.2 Procesamiento de la información existente. El análisis e interpretación de información recolectada permite determinar la causa de las avenidas torrenciales e inundaciones y la frecuencia con que puede llegar a ocurrir o repetir este tipo de evento, además de identificar el nivel de afectación y daños generados. Es decir, que al identificar los niveles de agua alcanzados en eventos anteriores, existe la probabilidad de que se repita la magnitud del evento, al no tomar las medidas necesarias y pertinentes para reducir o detener este fenómeno natural.

Se revisó la información de fuentes secundarias sobre geología, geomorfología y uso del suelo para realizar un proceso de análisis geomorfológico con la georreferenciación de planos, fotografías aéreas e imágenes satelitales que permitieron la interpretación de las formas del terreno (geoformas) y los usos del suelo actual (rugosidad de llanuras de inundación) e identificar las llanuras y zonas de inundación y los diferentes niveles de terrazas del Río Molino en su recorrido por el Municipio de Popayán, así como las zonas de depósitos de flujos de las avenidas torrenciales. Esto se realiza dado que los sistemas fluviales son dinámicos, y como tales, están sujetos a cambios y alteraciones por factores ya sean naturales o antrópicos, difíciles de predecir, que los convierten en zonas susceptibles a inundación y terrenos afectados por el sistema fluvial, pero que orientados y con las respectivas acciones pueden reducir el efecto de estos eventos ya sean por consecuencia de avenidas torrenciales o por creciente hidrológicas de los cauces.

3.4.3 Reconocimiento y trabajo de campo. Se realizó un reconocimiento previo del cauce, usando información digital (imágenes de Google Earth), para tener un acercamiento con esta red hídrica y realizar un enfoque de la zona de estudio. Posteriormente, se realizaron visitas y recorridos en campo más detallados, para reconocer e inspeccionar la zona e identificar los sitios o tramos más críticos por inundación referenciados en estudios y análisis previos.

Este análisis tiene en cuenta la forma y el tamaño de los cauces y las vegas en sus inmediaciones: ancho del cauce, altura de las márgenes, patrones de alineamiento horizontal y vertical, materiales que transporta, existencia de: depósitos de sedimentos, diques naturales, orillares, madre viejas o cauces abandonados, ciénagas o humedales, terrazas recientes y antiguas, extensión de los planos inundables modernos, características de los suelos.

Verificando con la cartografía existente, se analizaron elementos y complementaron datos iniciales. Se georreferenciaron puntos de interés, se definieron características geológicas y geomorfológicas de la zona y se observaron características y marcas dejadas por crecientes ocurridas anteriormente, lo que apoya la identificación y análisis de los aspectos de amenaza. Lo anterior, se registra y evidencia respectivamente.

3.4.4 Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo de desastres. Este enfoque de procesos busca optimizar la evaluación de las líneas de acción de la gestión del riesgo en el municipio como el conocimiento del riesgo, reducción del riesgo actual y futuro, protección financiera, preparación y ejecución de la respuesta y recuperación de desastres y emergencias, y organización para la gestión.

3.4.4.1 Identificación de la amenaza. Para la identificación de las zonas o áreas en condición de amenaza ante el escenario de inundación y/o avenida torrencial, la información visualizada y reconocida durante el trabajo de campo se sobrepuso en un plano de amenaza para verificar y confrontar si estas zonas han variado de acuerdo a lo realizado en el Plan de Ordenamiento Territorial [12]; además, se realizó una síntesis de ocurrencia de los eventos basándose en el registro histórico de diferentes fuentes como el Acueducto de Popayán, la Oficina de Gestión del Riesgo y Desastres, habitantes de la ciudad, los rasgos topográficos asociados, las diferencias de cotas, el análisis geomorfológico, entre otros aspectos. Estos datos se valoraron aplicando las respectivas variables de calificación de la amenaza (frecuencia (f)+intensidad (i)+territorio afectado (t)) (Figura 6) para estipularla según los rangos de manejo (Amenaza alta, media y baja).

Figura 5. Variables a considerar en el manejo de la amenaza



Fuente: [29].

Dentro de las variables utilizadas para el análisis de amenazas se asignaron valores que van de 1 a 3, siendo 1 la calificación baja, 2 la calificación media y 3 la calificación alta en cada una, así:

- **Frecuencia.** Corresponde al periodo que transcurre entre la ocurrencia de un fenómeno amenazante y otro en un mismo lugar. La calificación de la frecuencia se representa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Calificación para frecuencia.

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

Fuente: [29].

- **Intensidad.** Esta variable considera qué tan severa es la afectación por la ocurrencia de fenómenos en un sitio, la información para la calificación se proporciona en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Calificación de la Intensidad

Calificación	Valor	Descripción
ALTA	3	Numerosas personas fallecidas, gran cantidad de personas lesionadas, afectación de grandes extensiones del territorio, afectaciones graves en los recursos naturales, suspensión de servicios públicos básicos y de actividades económicas durante varios meses, pérdidas económicas considerables, graves afectaciones en la infraestructura departamental y un gran número de viviendas destruidas.
MEDIA	2	Pocas personas fallecidas, varias personas lesionadas de mínima gravedad, afectación moderada del territorio, afectación moderada de los recursos naturales, afectaciones en las redes de servicios públicos, suspensión temporal de actividades económicas, afectación moderada en la infraestructura departamental, pocas viviendas destruidas y varias viviendas averiadas

BAJA	1	Sin personas fallecidas, muy pocas personas lesionadas de mínima gravedad, mínima afectación en el territorio, sin afectación en las redes de servicios públicos, no hay interrupción en las actividades económicas, sin afectación en infraestructura departamental, no hay destrucción de viviendas.
------	---	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: [29]

La intensidad se mide en términos de cantidad de personas fallecidas, personas lesionadas, afectación del territorio, afectaciones en los recursos naturales, suspensión de servicios públicos básicos y de actividades económicas, pérdidas económicas considerables, afectaciones en la infraestructura departamental y número de viviendas destruidas.

- **Territorio afectado:** en esta variable se valora la extensión del territorio que se afecta tal como se describe en el Cuadro 4. Se tendrá en cuenta el territorio afectado de la zona de estudio, es decir, de la ronda hídrica del tramo comprendido entre la calle 15 norte y la carrera 6.

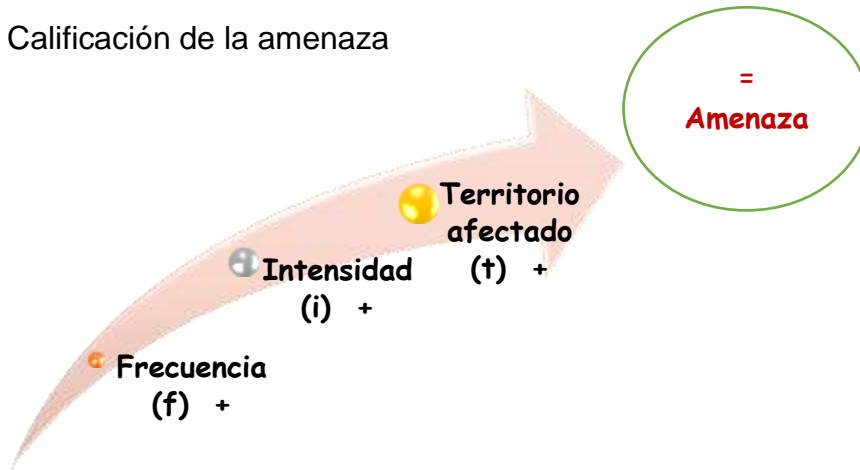
Cuadro 4. Calificación de territorio afectado

Calificación	Valor	Descripción
ALTA	3	Más del 80% de su territorio se encuentra afectado
MEDIA	2	Entre el 50% y 80% del territorio presenta afectación
BAJA	1	Menos del 50% del territorio presenta algún tipo de afectación

Fuente: [29].

- **Calificación de la amenaza:** una vez categorizadas las variables para cada una de las amenazas se procede con la calificación de éstas, para lo que se aplica la siguiente fórmula como lo indica la figura 7.

Figura 6. Calificación de la amenaza



Fuente: [29].

En el siguiente cuadro se presentan los intervalos de calificación de las amenazas.

Cuadro 5. Calificación de la amenaza.

Calificación	INTERVALO
ALTA	7-9
MEDIA	4-6
BAJA	1-3

Fuente: [29]

3.3.4.2 Determinación de la vulnerabilidad. Para que exista una condición de riesgo, se requiere que haya bienes expuestos y vulnerables con relación a uno o unos fenómenos amenazantes, de tal forma, que a mayor vulnerabilidad de dichos bienes, mayor riesgo, así mismo, a mayor amenaza el riesgo es mayor.

Para el presente estudio, se tuvo en cuenta solamente dos factores de vulnerabilidad, la física y la ambiental, debido a que la información sobre los aspectos social y económico fue escasa dado que no se han realizado estudios exhaustivos en el tema y la recolección de datos no ha sido precisa en los diferentes eventos. En suma, las vulnerabilidades física y ambiental se articulan

directamente con el perfil profesional del Ingeniero Ambiental y Sanitario y permite un estudio con mayor enfoque del riesgo ambiental.

- **Vulnerabilidad física:** La vulnerabilidad física se determina a partir de la escala de valoración representada en el cuadro 6 en el cual se tienen en cuenta características como la antigüedad de las edificaciones, los materiales usados para la construcción de las edificaciones en la zona y el estado de conservación de las mismas, además de las características geológicas y el uso del suelo de las áreas edificadas.

La localización de las construcciones aledañas a la fuente hídrica y el cumplimiento de la normatividad en cuanto a la distancia de retiro y conservación de las fuentes hídricas, son otros aspectos a tener en cuenta para la valoración de la vulnerabilidad física.

Cuadro 6. Valoración de la vulnerabilidad física

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

Fuente: [29]

Para dar respuesta a las variables que definen la vulnerabilidad física, se establece como metodología, dar solución a las preguntas planteadas en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Ficha técnica para Vulnerabilidad Física.

Vulnerabilidad Física	
¿Cuál es el promedio de tiempo de construcción de las edificaciones que se encuentran en la ronda hídrica del río molino?	
¿Cuáles son los materiales con los que se han construido las edificaciones en la ronda hídrica del río molino?	
¿Cuál es el estado de conservación de la estructuras de las viviendas que se encuentran en la ronda hídrica del río molino?	
¿Los habitantes de las viviendas y demás construcciones conocen la existencia de normas vigentes que regulan la gestión del riesgo de desastres?	
¿Si hay una real aplicación y cumplimiento de las normas vigentes que permitan reducir la vulnerabilidad y el riesgo en el que se encuentran las edificaciones y sus habitantes?	
De acuerdo a las características geológicas de la zona ¿cuál es el nivel de vulnerabilidad que existe para las edificaciones construidas cerca de la ronda hídrica del río molino?	
¿Las condiciones del suelo en donde están construidas las edificaciones incrementa la vulnerabilidad y por ende hay más riesgo de sufrir un desastre?	
¿Al encontrar edificaciones construidas con demasiada proximidad a la ronda hídrica del río molino se incrementa el riesgo de sufrir inundaciones cuando haya aumento de nivel en el cauce del río? ¿Cuántas edificaciones se ven afectadas?	

Fuente: Adaptada de [29]

- **Vulnerabilidad ambiental:** es un concepto que se relaciona con la mayor o menor exposición que tenga un territorio para ser afectada por un evento, en este caso la magnitud de los posibles impactos generados por la problemática ambiental. La amenaza ambiental se identifica con la probabilidad y magnitud de la manifestación de la problemática ambiental en el territorio teniendo como referencia a la situación ambiental del país y del planeta; situación que en ocasiones, queda soslayada con la identificación de la problemática ambiental solo con la ocurrencia de eventos naturales de connotación extraordinaria como los ciclones tropicales, sismos, entre otros eventos [43].

Para obtener la información necesaria con relación a la vulnerabilidad ambiental se realizó la siguiente ficha técnica (Cuadro 8) y se documentó con información secundaria vigente y más reciente, en lo posible.

Cuadro 8. Ficha técnica para vulnerabilidad ambiental

FACTOR AMBIENTAL	
¿Qué NIVEL DE TEMPERATURA PRESENTA NORMALMENTE?	
¿Cuál ES LA PRECIPITACION PROMEDIO QUE SE PRESENTA NORMALMENTE?	
¿EXISTE ALGUN TIPO DE CONTAMINACION ATMOSFERICA? (CUALES)	
¿SI EXISTE ALGUN TIPO DE CONTAMINACION, SU NIVEL ES PERJUDICIAL PARA LA SALUD DE LOS SERS HUMANOS ?	
¿EXISTE ALGUN TIPO DE CONTAMINACION DEL AGUA? (CUALES)	
¿ SI EXISTE ALGUN TIPO DE CONTAMINACION HIDRICA, SU NIVEL DE CONTAMINACION SERIA PERJUDICIAL PARA LA SALUD DE LOS SERES HUMANOS?	
¿SE EVIDENCIA ALGUN TIPO DE EXPLOTACION DE LOS RECURSOS NATURALES?	
¿SE PRACTICA LA DEFORESTACION EN EL SECTOR DE ESTUDIO?	
¿EXISTE NIVEL DE CONTAMINACION DE LOS RECURSOS NATURALES? (CUAL ES)	

Fuente: Adaptada de [29]

De acuerdo a la información obtenida con la anterior ficha técnica se procedió a realizar la clasificación de la vulnerabilidad ambiental según el Cuadro 9.

La determinación de la vulnerabilidad total se realiza a partir de la siguiente fórmula:

$$Vt = Vf + Va$$

Donde, Vt = vulnerabilidad total

Vf = vulnerabilidad física

Va = vulnerabilidad ambiental

Cuadro 9. Calificación vulnerabilidad ambiental

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

Fuente: [29].

El valor obtenido permitió la determinación de la vulnerabilidad a partir de la calificación y las características del Cuadro 10, adaptado de la Guía metodológica para la elaboración de planes departamentales para la gestión del riesgo de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de desastres (UNGRD) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Colombia (PNUD), y se ponderó el valor para los dos tipos de vulnerabilidad estudiadas mediante una regla directa simple.

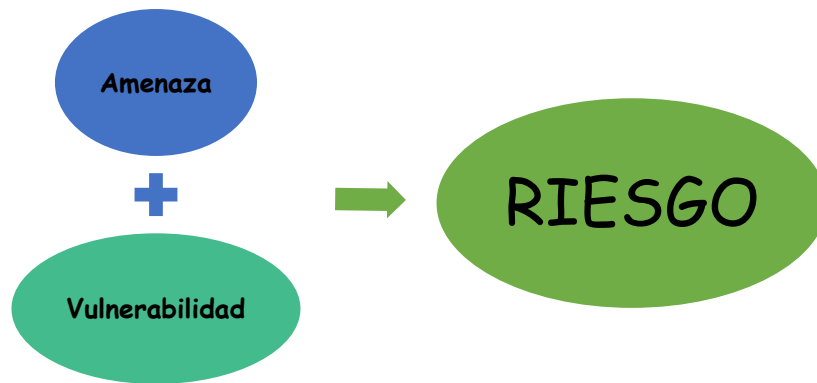
Cuadro 10. Calificación de la Vulnerabilidad.

CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN/CARACTERÍSTICAS	INTERVALOS
VB Vulnerabilidad Baja	Viviendas asentadas en terrenos seguros, con materiales sismo resistentes, en buen estado de conservación.	8 - 14
VM Vulnerabilidad Media	Sectores que presentan inundaciones muy esporádicas, construcciones con materiales de buena calidad, en regular y buen estado de conservación.	15 - 20
VA Vulnerabilidad Alta	Edificaciones en materiales precarias, en mal y regular estado de construcción, con procesos de hacinamiento y tugurización.	21 - 26

Fuente: [29]

3.4.4.3 Análisis del riesgo. Se consideran como factores de riesgo, la amenaza y la vulnerabilidad (Figura 8). Para que suceda un evento que pueda producir un desastre debe haber una amenaza, que es un fenómeno de origen natural, socio natural, antrópico no intencional y tecnológico que cause daño en un momento y lugar determinado, y condiciones desfavorables en una comunidad, las cuales se denominan vulnerabilidades.

Figura 7. Factores del Riesgo



Fuente: [29]

Los riesgos del tramo objeto de estudio se valoraron de acuerdo a la matriz de riesgos relacionada en el cuadro 11 a partir de la consideración baja, media o alta de la amenaza y la vulnerabilidad.

Cuadro 11. Valoración del riesgo

		VULNERABILIDAD		
		BAJA	MEDIA	ALTA
AMENAZA	ALTA	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto
	MEDIA	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
	BAJA	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio

Fuente [29]:

Se priorizó por medio de trabajo en campo, si la amenaza tenía un carácter natural, es decir, ocasionada por erosión, remoción, cárcavas, deslizamientos, fallas, o por actividad antrópica, como invasión de áreas de protección del río, sembrados, vertimientos, construcción de viviendas en sitios no aptos. Se utilizó una matriz de valoración respectiva del riesgo (Cuadro 12).

Cuadro 12. Matriz de Valoración del Riesgo escenario de Inundación.

Valoración de riesgos								
Amenaza = frecuencia (f)+intensidad (i)+territorio afectado (t)			Grado de peligrosidad y valoración de la amenaza		Análisis de vulnerabilidad		Grado de peligrosidad y valoración de la vulnerabilidad	Valoración del riesgo
(f)	(i)	(t)			Vf	Va		

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

A partir del interrogante inicial, se determinó el grado de riesgo que se presenta en la ronda hídrica del Río Molino en el sector comprendido entre la calle 15 norte hasta la carrera 6 en la zona urbana del Municipio de Popayán, a partir de los siguientes hallazgos:

La información recopilada por el Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres – CMGRD, de los eventos ocurridos en el Municipio de Popayán durante los años 2010, 2011, 2012 y 2013, muestran que el evento predominante, por su frecuencia e intensidad, son las inundaciones debido a que existen varias redes hídricas (Ríos Cauca, Molino, Ejido entre otras afluentes) que recorren el casco urbano; además, por la progresiva desaparición de zonas amortiguadoras de barreras vivas y vegetación de las riveras de estas fuentes.

En consecuencia con lo anterior, el análisis del riesgo en el tramo del Río Molino comprendido entre la calle 15 norte hasta la carrera 6 en la zona urbana del Municipio de Popayán fue de riesgo por inundación, obteniendo los siguientes resultados:

4.1 RECOLECCIÓN E INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN BASE SECUNDARIA.

4.1.1 Registros Históricos. En Colombia, la evaluación de las amenazas y la vulnerabilidad para la determinación de zonas de riesgo no se realizaba, hasta el año 1985 con el desastre ocurrido por la avalancha provocada por la activación del Volcán del Ruiz, que provocó grandes e importantes pérdidas económicas, ambientales y de vidas humanas, que se detectó como necesidad prioritaria para

el país contar con un sistema que coordinara todas las acciones encaminadas a la prevención y atención de desastres en todo el territorio nacional [17]. Fue allí, cuando también se visualizó la importancia de recopilar información de los desastres ocurridos con el fin de brindar herramientas para la toma de decisiones frente a eventos futuros.

En Popayán, la situación frente a la gestión del riesgo de desastres no ha sido diferente, evidenciándose con la poca información que se tiene en el municipio de los eventos ocurridos en la zona urbana. La información que se obtuvo fue suministrada por la Alcaldía de Popayán, a través de la oficina de Gestión del Riesgo de Desastres y la oficina de Planeación, la Corporación Autónoma Regional del Cauca, el Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. y la Fundación Procuencia Río Las Piedras.

Según el estudio preliminar (afectación y daños) asociados a fenómenos de inundación lenta y súbita (avenida torrencial) en la zona urbana y rural el municipio de Popayán de la Universidad del Cauca y la Alcaldía Municipal de Popayán [44], el río Molino se ha caracterizado históricamente, por ser una superficie afectada por desbordes periódicos especialmente en la zona urbana, con pérdidas en enseres domésticos y comerciales pero con baja pérdida de vidas humanas.

Los problemas causados por el río Molino han sido recurrentes afectando varios sectores de la economía: vía Popayán-Coconuco; bocatoma del acueducto que suministra agua a la planta de tratamiento de Tulcán; inundaciones menores concentradas en los sectores de Pueblillo, vía a Yanaconas y especialmente entre el barrio Bolívar y la zona del puente del Humilladero [44].

Según este mismo informe, el detonante de las inundaciones en el río Molino han sido lluvias copiosas sobre una cuenca geológicamente nueva y muy intervenida antrópicamente, lo que ha producido deslizamientos, represamientos y avalanchas, con grandes afectaciones para Popayán. Sin embargo, los habitantes



de la ciudad también son responsables de los eventos por tener vías sin las obras de drenaje necesarias, invasiones del cauce y desecho incontrolado de basuras.

En el tramo objeto de estudio se han presentado nueve (9) eventos desde el año 1890, hasta el año 2013. Los detalles de los episodios ocurridos se consignan en el Cuadro 13.


El registro histórico de los eventos que afectaron el tramo objeto de estudio en el río Molino, muestra que son nueve (9) sucesos de inundación, desde el año 1890 hasta el año 2013, siendo los episodios con mayor impacto negativo, desde la perspectiva ambiental, social y económico, los ocurridos el 18 de noviembre de 1938, el 29 de abril de 2011 y el 24 de diciembre de 2013. Sobre el evento de 1938 se tiene poca información, debido a la antigüedad del suceso y la información al respecto se relata como anécdotas de personajes que presenciaron la inundación. La recopilación de la información de los eventos en el tramo objeto de estudio, permitió analizar que los eventos de mayor magnitud mencionados, año 1938, 2011 y 2013, fueron originados por avenidas torrenciales, que con otros sucesos concatenados, causaron inundaciones que afectaron la zona urbana del municipio de Popayán, principalmente el barrio Bolívar.

Sobre este concepto, González, Chávez y Hermelín, definen las avenidas torrenciales como fenómenos naturales con ocurrencia relativamente baja, pero con un gran potencial destructivo debido a que por su naturaleza son casi impredecibles, son de rápida ocurrencia, corta duración y largo período de retorno, así como su distribución es poco uniforme en el espacio y el tiempo [51]. Según la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en el proyecto de implementación fase II de acciones de mitigación de amenaza por avenida torrencial como aporte a la gestión del riesgo para la prevención de desastres, en la cuenca río molino – municipio de Popayán –departamento del Cauca [46], el río Molino está clasificado dentro del rango A, como zona de susceptibilidad alta de amenaza por avenida torrencial.


Cuadro 13. Registro histórico de eventos en el tramo de estudio

FECHA	EVENTO	DETALLES	Imagen	FUENTE
Primer evento				
1890	Posible inundación	Hubo una creciente que afectó el Barrio Bolívar		[3]
Segundo evento				
1926	Inundación	Se registró una inundación que no ocasionó daños		[45]
Tercer evento				
20 de noviembre de 1928	Inundación	Creciente que tuvo lugar por un represamiento en la parte alta de la cuenca que fue originado por un deslizamiento.		[47]


Cuadro 12 (Continuación). Registro histórico de eventos en el tramo de estudio

FECHA	EVENTO	DETALLES	Imagen	FUENTE
Cuarto evento				
18 de noviembre de 1938	Inundación	<p>Lluvias torrenciales originaron la elevación del caudal de aguas y un represamiento en el nacimiento del río causado por un derrumbe en la parte alta de Poblazón, dieron paso a la inundación.</p> <p>Las aguas llegaron hasta el Parque Mosquera y algunas casas de habitación, talleres, hoteles y una fábrica de hielo; cubrió el Puente de la custodia junto al puente del Humilladero quedando parcialmente destruido, produciendo pérdidas de vidas humanas y de viviendas; el hospital también fue afectado. Se estima que el agua subió a más de cinco (5) metros, según la imagen</p>	 <p style="text-align: center;">[48]</p>	[46]

Cuadro 12 (Continuación). Registro histórico de eventos en el tramo de estudio

FECHA	EVENTO	DETALLES	Imagen	FUENTE
Quinto evento				
5 de febrero de 1996	Inundación	Esta creciente causó graves daños y pérdidas económicas en el sector del barrio Bolívar. Todo parece indicar que el Molino se represó 10 kilómetros antes de su ingreso a Popayán, debido a pequeños deslizamientos en su bancada como consecuencia de más de 14 horas de lluvia sobre la región.		[49]
Sexto evento				
13 de Diciembre de 2004	Inundación	El cauce estuvo a punto de desbordarse, entre otros sitios al frente del Centro Deportivo de la Universidad del Cauca. Afectaciones en 3000 vivienda en 46 Barrios de la ciudad [47].		[50]

Cuadro 12 (Continuación). Registro histórico de eventos en el tramo de estudio

FECHA	EVENTO	DETALLES	Imagen	FUENTE
Séptimo evento				
29 de abril de 2011	Inundación	<p>Creciente y deslizamiento provocado por un deslizamiento en un talud similar al evento presentado en el año 1996, de mayor magnitud y con características torrenciales.</p> <p>La zona desde el puente vehicular de la Vía al Huila hasta la Carrera 17 en el Barrio Modelo recibió los mayores impactos asociados a la creciente, situación que se vio maximizada en sectores como los barrios Bolívar y La estancia. En el Barrio Bolívar se afectaron aproximadamente 512 locales comerciales con pérdida de insumos y productos. En el mismo sector se afectó el edificio Panorama con 5 vehículos averiados en el sótano y el edificio Edgar Negret, la Institución Fedar y Fundación Orquídea con la pérdida de archivos, materiales y equipos.</p>		[45]

Cuadro 12 (Continuación). Registro histórico de eventos en el tramo de estudio

FECHA	EVENTO	DETALLES	Imagen	FUENTE
Octavo evento				
7 de mayo de 2011	Inundación	Creciente que sólo afectó la cancha de Fútbol del barrio Bolívar, sin consecuencias de tipo económico y de menor magnitud.		[45]
Noveno evento				
24 de diciembre de 2013	Inundación	<p>Creciente súbita que se desarrolló por la fuerte precipitación (75 a 80 mm) que superó los registros históricos del área de influencia de la subcuenca (30 a 35 mm). Se calculó un caudal de 155m³/s superior al normal.</p> <p>Afectó principalmente sectores de la vereda Pueblillo, Barrio Bolívar y la plaza de mercado, esto conllevó a decretar Calamidad pública. [47].</p>		[46]

La Universidad del Cauca y la Alcaldía de Popayán [44], manifiestan que es usual que las crecientes en el río Molino se generen por saturación de las laderas facilitando el desprendimiento del suelo, produciéndose 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. Así mismo, menciona que el recuento histórico evidencia el recrudecimiento de los problemas hacia fines de año, entre noviembre y febrero, atendiendo a un comportamiento hidrológico unimodal, pero en los últimos años esta tendencia se perdió con problemas en meses como abril y mayo, aunque de menor intensidad.

En este orden de ideas, la amenaza por inundación es el evento que se repite en los registros históricos de los sucesos ocurridos en el tramo de la calle 15N a la carrera 6 en el recorrido del río Molino, lo que conlleva a que el análisis de riesgo se realice por este evento.

4.1.2 Parámetros morfométricos. El Cuadro 14 muestra algunos parámetros morfométricos básicos del río Molino en el tramo en estudio, entre los cuales describe el lugar de nacimiento y desembocadura y la altura de cada uno, dando como desnivel altitudinal 1275 m; la longitud demuestra que es un río corto, de poca pendiente y transicional según su sinuosidad.

Cuadro 14. Parámetros morfométricos del Río Molino

Nomenclatura	M
Nacimiento: coordenadas	N: 753,229.068 E: 1,062,968.071
Desembocadura: coordenadas	N: 763,691.536 E: 1,050,366.607
Elevación máxima (nacimiento)	Emáx = 2,900 (m.s.n.m.)
Elevación mínima (desembocadura)	Emín. = 1,675 (m.s.n.m.)
Longitud total del cauce principal	Lc = 24,528 (km)
Pendiente media del cauce principal	Sm = 4.99 (%)
Sinuosidad	Sc. = 1.4

Fuente. [44]

4.1.3 Geología y Geomorfología. Las características geológicas, geomorfológicas y estructurales del río Molino, provocan una dirección de recorrido general hacia el occidente (W), buscando desembocar en el río Cauca, que es su nivel base natural. A lo largo del recorrido, el río Molino, está afectado por fallas longitudinales del sistema Romeral (la Pijao-Silvia, la de Las Estrellas, El Crucero y el Crucero Occidental, la de Popayán y la de Piendamó) y fallas transversales como la del río Molino, que se extiende por aproximadamente 18 Km y cruza el sector Norte de la ciudad [44].

En su recorrido, el río Molino se puede dividir en dos tramos, un tramo fluvial de montaña y un tramo fluvial en la Meseta de Popayán, cada uno de ellos caracterizado por una dinámica fluvial diferente.

4.1.3.1 Tramo fluvial de montaña. Esta localizado en la Unidad geomorfológica flanco occidental de la cordillera Central, donde presenta una dirección general de N40°W. El río Molino ha construido su cauce sobre diferentes tipos de rocas, entre las que sobresalen rocas basálticas y sedimentarias de origen marino, rocas metamórficas, ignimbritas de la Formación Popayán, depósitos de flujos de escombros de antiguas avalanchas de origen fluvial, volcánico, glacial o combinaciones de estas [44].

En la vereda El Sendero Bajo, las rocas ignimbríticas están depositadas sobre las rocas metamórficas antes nombradas y en el trayecto del río sector Santa Bárbara, depósitos de flujos de escombros e ignimbritas suprayacen a la unidad litológica de rocas metamórficas, estas disposiciones de las unidades litológicas crean una alta susceptibilidad a los movimientos de masa en las vertientes del valle del río Molino de estos trayectos, debido a que los planos de foliación de las rocas metamórficas actúan como planos potenciales de movimientos de masa para las ignimbritas o para los depósitos de flujos de escombros que las suprayacen, ayudados por la alta permeabilidad de estos depósitos y rocas que

hace que el agua que se infiltra sirva como lubricante para los movimientos de materiales.

Entre el puente ubicado sobre la vía Popayán-Coconuco y el del camino que desde la vereda El Hogar conduce a la localidad de Pueblillo, el río Molino presenta un patrón de drenaje meandriforme, parcialmente confinado, y luego, al final del tramo fluvial de montaña del río Molino, el valle se amplía. Entre la bocatoma del acueducto y el puente de la vía Yanaconas sobre el río Molino se aprecian zonas, incluso humedales, que actualmente están siendo urbanizados.

El tramo de Montaña del río Molino es un área fuente de sedimentos y de transferencia de éstos, siendo los procesos fluviales básicamente erosivos; y aunque hay algunos niveles de depositación, la conectividad entre éstos es muy irregular.

4.1.3.2 Tramo fluvial Meseta de Popayán. En la Meseta de Popayán, el río Molino toma diferentes trayectorias. Inicialmente viaja en dirección N50°E, paralela al trazo de la Falla Popayán, localizada en la base del piedemonte occidental de la Cordillera Central, luego viaja en dirección N65°W y antes de entregar sus aguas al río Cauca va en dirección N-S. En este tramo fluvial la pendiente del cauce disminuye bruscamente, lo que generaría procesos fluviales depositacionales, sin embargo, son erosivos, debido a que algunos de los trayectos meandriformes del río Molino han sido rectificadas y transformados en trayectos con patrón de drenaje recto. Lo anterior, ha provocado que la unidad geomorfológica Meseta de Popayán, profundice el cauce y conforme un nivel de terraza correspondiente a una terraza estrecha cercana al cauce, continua y paralela al curso del río, a una altura aproximada de 3 m a 4 m.

Según el estudio el Estudio de inundaciones en el área urbana del municipio de Popayán de la Universidad del Cauca en convenio con la Alcaldía Municipal de Popayán (2015), el río Molino tiene poca pendiente y su recorrido presenta varios

meandros, sin embargo, menciona que al comparar el recorrido del río en los años 1949, 1970, 1988 y 2006 se observan unas rectificaciones en el cauce del río. Adicionalmente, se han hecho rellenos en la margen sur para resolver las diferencias de niveles con la margen norte y se han realizados rellenos de la ronda entre las carreras Sexta y Octava, creándose una zona verde de espacio público. Estas acciones permitieron que la ciudad se extendiera hacia el norte, ya que la ciudad empezó su expansión hacia el sur, entre las márgenes sur del río Molino y norte del río Ejido y el lado occidental del cerro de la EME o las tres cruces, siendo estas, barreras naturales que impedían el crecimiento de la ciudad hacia el norte. Estas acciones han ampliado el área disponible para el trazado de la zona urbana del municipio de Popayán, pero han cambiado la dinámica natural del río, con sus posteriores consecuencias en el sistema fluvial.

Hay tramos en los cuales se realizó una rectificación del cauce del río Molino, dicha rectificación probablemente está asociada al control de erosión y socavamiento de la rivera, durante las avenidas torrenciales del río, como se muestra en la Figura 9 que corresponde al área de la antigua dinámica fluvial del río Molino en la carrera cuarta y quinta, donde se ha rectificado artificialmente el patrón de drenaje fluvial [44].

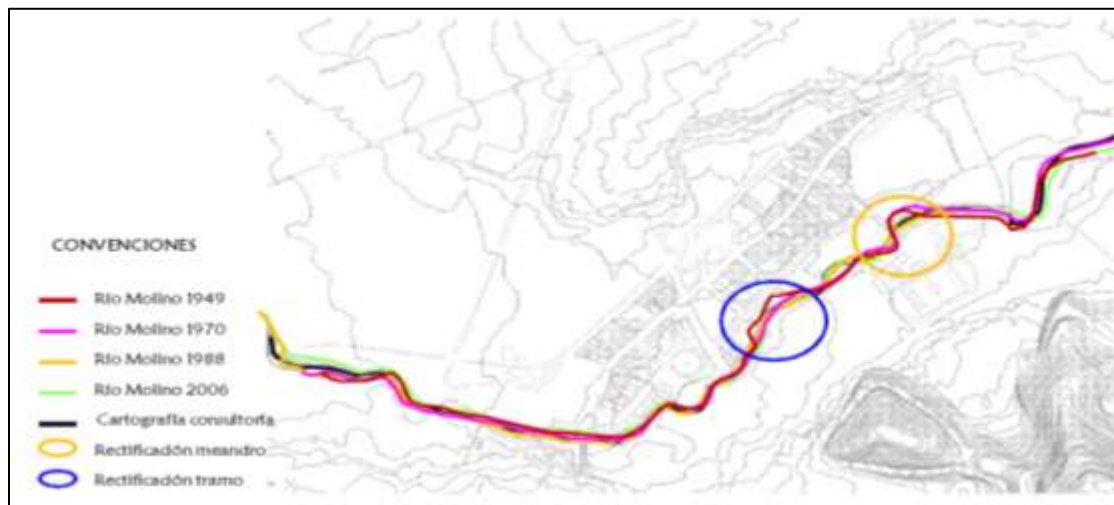
Figura 8. Antigua dinámica fluvial en la carrera 4ª



Fuente. [44]

Con base en aerofotografías, se identificaron dos cambios significativos en el cauce del río, el primero corresponde a la rectificación del meandro ubicado a la altura del Hospital San José que en 1988 es reducida la curva del río en sentido norte sur alejándolo del hospital; la segunda modificación se observa en la aerofotografía de 1970 en la cual se rectifica el cauce del río en el tramo comprendido aproximadamente entre la calle 9N y la calle 8N [52] (Figura 10).

Figura 9. Rectificación en río Molino



Fuente. [52]

4.1.4 Uso del suelo. Para la descripción del uso del suelo se hace necesario analizar esta variable desde el área rural y el área urbana del recorrido del río Molino, debido a que presentan diferencias marcadas pero influyentes en la ocurrencia de los eventos en el tramo de estudio. En la cuenca alta del río sobre el área rural, la presencia de pastos como cobertura vegetal y la actividad ganadera se destacan como uso principal del suelo en áreas de moderada a alta pendiente, además, se aprecia la falta de cobertura vegetal protectora sobre los márgenes del río; lo anterior, participa como factor en el aumento de la probabilidad de avenidas torrenciales [46].

En el área urbana del recorrido del río Molino se identifican diversos usos del suelo. El tramo de estudio se localiza en el sector comprendido entre el barrio Pomona y el Sector Histórico donde predomina los equipamientos, la vivienda ocupa el segundo lugar y, por último, lo hace el comercio. Esta área contiene zonas deportivas, espacios tradicionales turísticos, zonas comerciales e instituciones de salud. El lugar más representativo de la zona deportiva es el Centro Deportivo Tulcán, ubicado en el margen izquierdo del río siendo un espacio de baja densidad de construcción y predominio verde respetado los aislamientos hacia el río, arborizado exterior e interiormente (Figura 11), aunque carece de un adecuado tratamiento paisajístico que abarque vegetación, senderos, mobiliario y otros. Además, según el POMCA de la subcuenca del río Molino-Quebrada Pubús [40] esta zona tiene una amenaza alta por inundación.

Figura 10. Centro Deportivo Tulcán



Esta zona, también está representada por la cancha de fútbol del barrio Bolívar, que es una zona verde en la cual se ha improvisado una cancha de fútbol, sin señalización, sin iluminación, no obstante, se hace evidente el impacto negativo por la cercanía con la Plaza de Mercado, al ser tomado como botadero de residuos sólidos (Figura 12).

Figura 11. Cancha de fútbol del Barrio Bolívar



El Parque Mosquera y El Puente del Humilladero y de la Custodia (Figura 13) representan las áreas tradicionales turísticas en el tramo de estudio. Estos espacios se caracterizan por la abundante arborización madura de vegetación nativa y cultivada, con senderos y jardines de libre acceso, con visuales cerradas en el cual se vivencia el paso del río. También, se observa en él, un impacto negativo por la cercanía de la Plaza de Mercado [40].

Figura 12. Puente del humilladero y de la Custodia



En el sector del Barrio Bolívar, la ronda del río está ocupada por inmuebles urbanos que ocupan ilegalmente la zona de protección (Figura 14). Al costado norte del río a su paso por el Parque Tomás Cipriano de Mosquera, está circundado por una amplia glorieta en piso duro y con escasa arborización (Figura 15). La vegetación cubre la ronda bajo el Puente del Humilladero a su paso por el Parque Mosquera. A partir de la década de los años 30 del siglo XX, el río Molino es cruzado por una serie de puentes vehiculares a su paso por el Centro Histórico. En este sector, se presenta la invasión del espacio público del andén.

Figura 13. Plaza de mercado Barrio Bolívar



Figura 14. Parque Mosquera



4.2 RECONOCIMIENTO DEL TRAMO DE ESTUDIO

Se realizaron visitas a lo largo del recorrido del río Molino en el tramo de estudio, durante el primero y segundo semestre del año en curso, que permitieron visualizar los diferentes aspectos e impactos en la ronda.

En los recorridos se apreciaron espacios como el margen del río que colinda con el Centro Deportivo de Tulcán, con las residencias femeninas de la Universidad del Cauca y con el Hospital Universitario San José (Figura 16) que presenta bosques de galería propiciados a modo de protección de la ronda circundados por cercos

en alambre de púa, pero sin un adecuado tratamiento paisajístico (Figura 17 numeral 1,2).

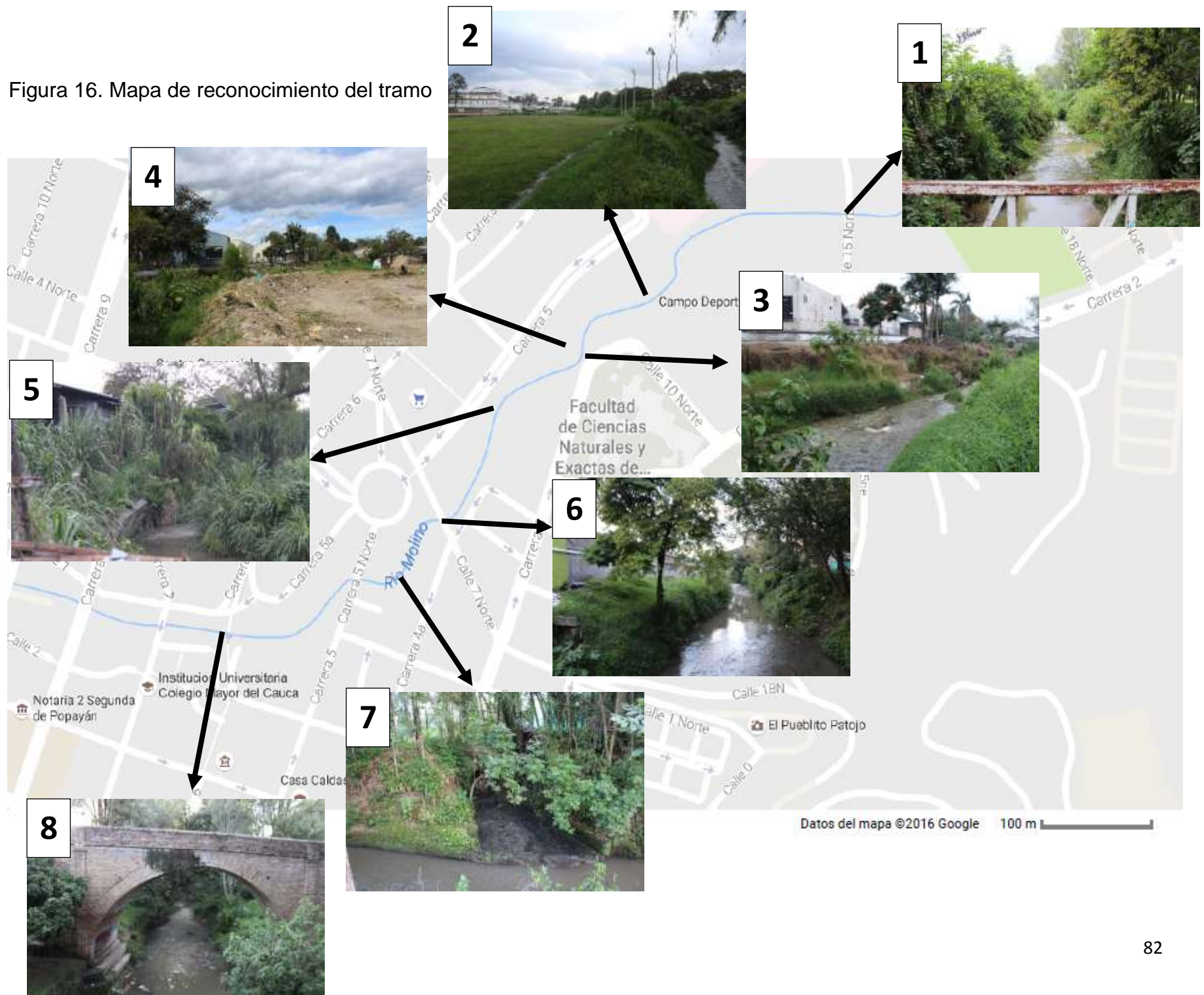
Figura 15. Vegetación en la ronda hídrica continua al Hospital Universitario San José



En contraste con esta zona, se observaron áreas en el cauce donde las construcciones invaden la ronda hídrica y la contaminación con residuos sólidos es evidente, tal es el caso del paso de río por la plaza de mercado del Barrio Bolívar, del Parque Mosquera y el puente del Humilladero y de la Custodia. Adicionalmente, las crecientes históricas han obligado a construir muros de contención para evitar la erosión de las paredes del cauce aunque algunos ya se encuentran deteriorados (Figura 17 numeral 3, 5, 6, 7 y 8).

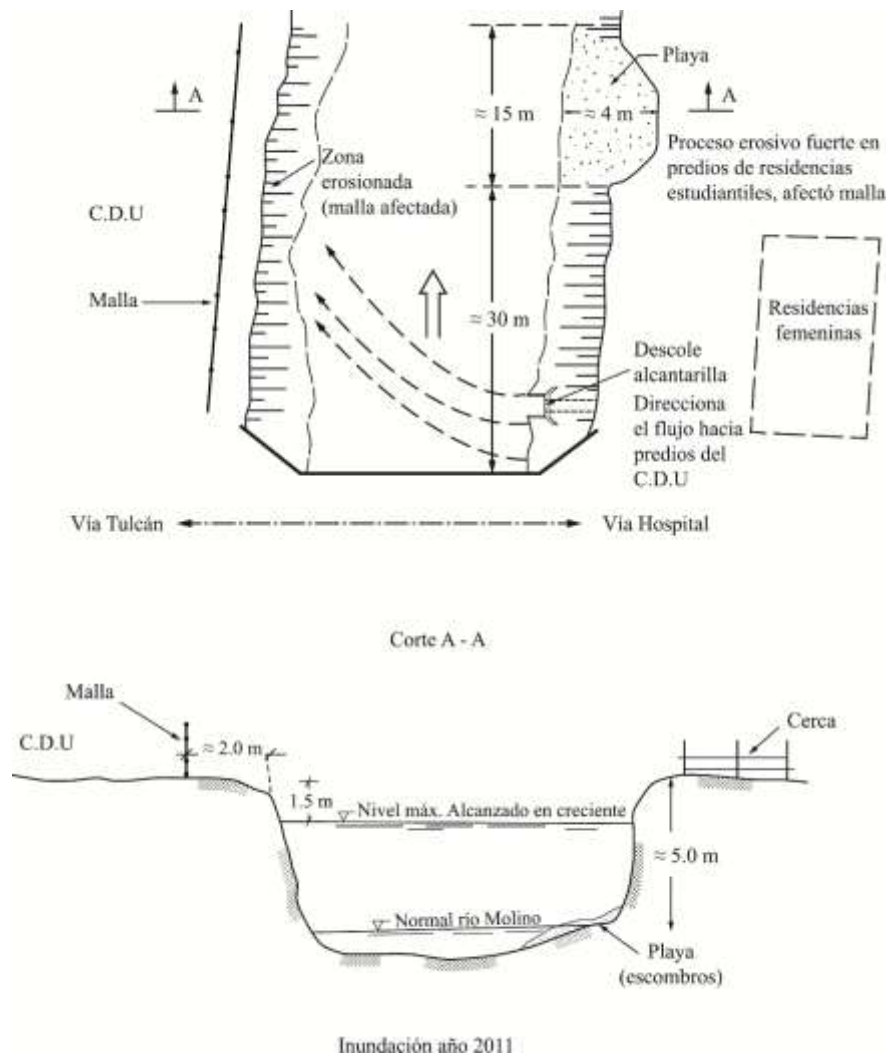
El caso de mayor afectación lo presenta la Plaza de Mercado del Barrio Bolívar y su entorno, donde el río no enriquece el ambiente sino que es utilizado como elemento recolector de aguas residuales y canal de desechos (Figura 17 numeral 4).

Figura 16. Mapa de reconocimiento del tramo



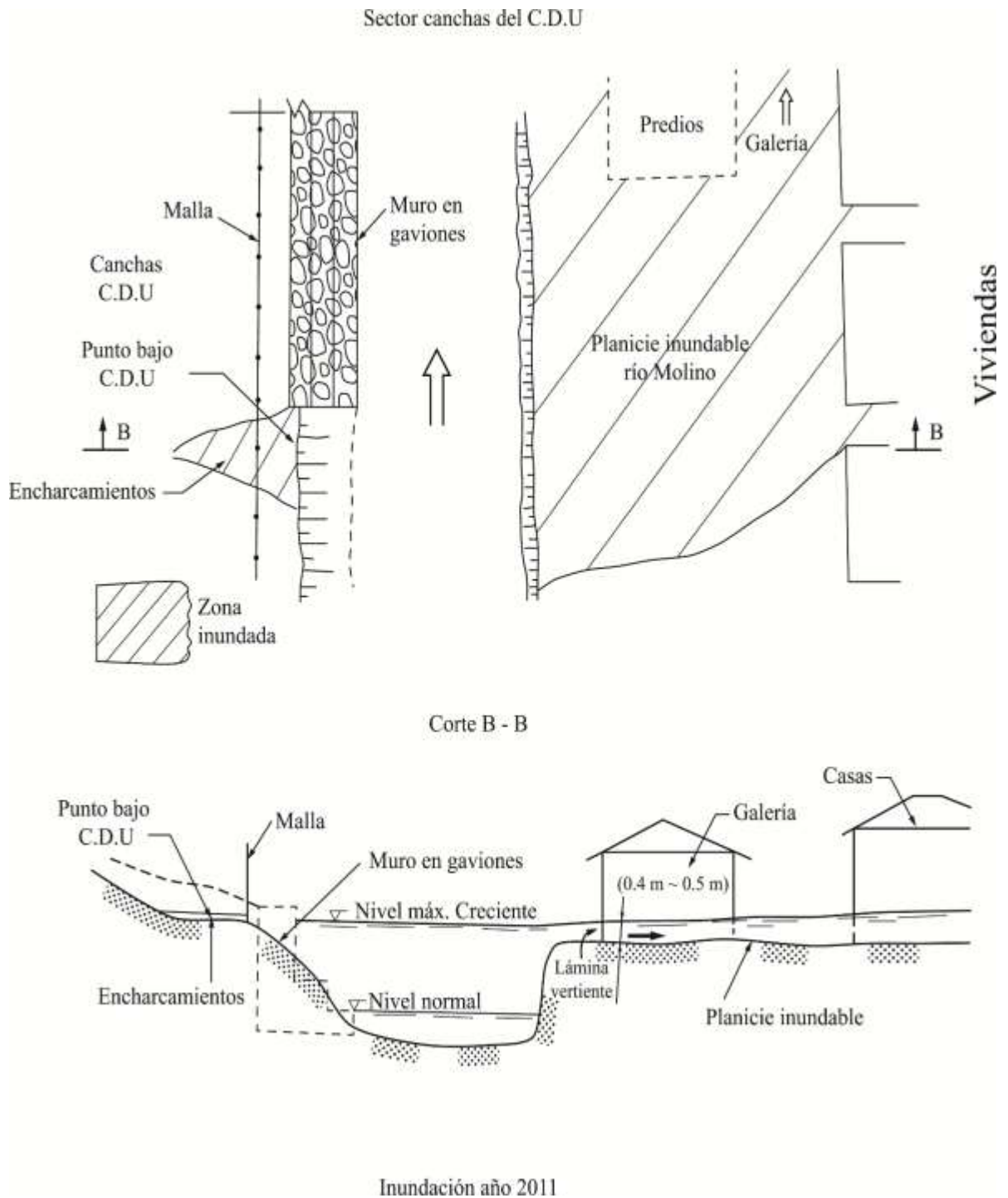
La Universidad del Cauca y la Alcaldía Municipal de Popayán en su estudio preliminar asociados a fenómenos de inundación lenta y súbita en la zona urbana y rural el municipio de Popayán relaciona el ancho del cauce, la altura de las márgenes y la existencia de sedimentos, orillares, terrazas y la extensión de planos inundables en las siguientes figuras (18 a 21) teniendo en cuenta la información del episodio de inundación del año 2011.

Figura 17. Problemas de erosión aguas abajo del puente vehicular de Tulcán (Calle 15 N), 2011.



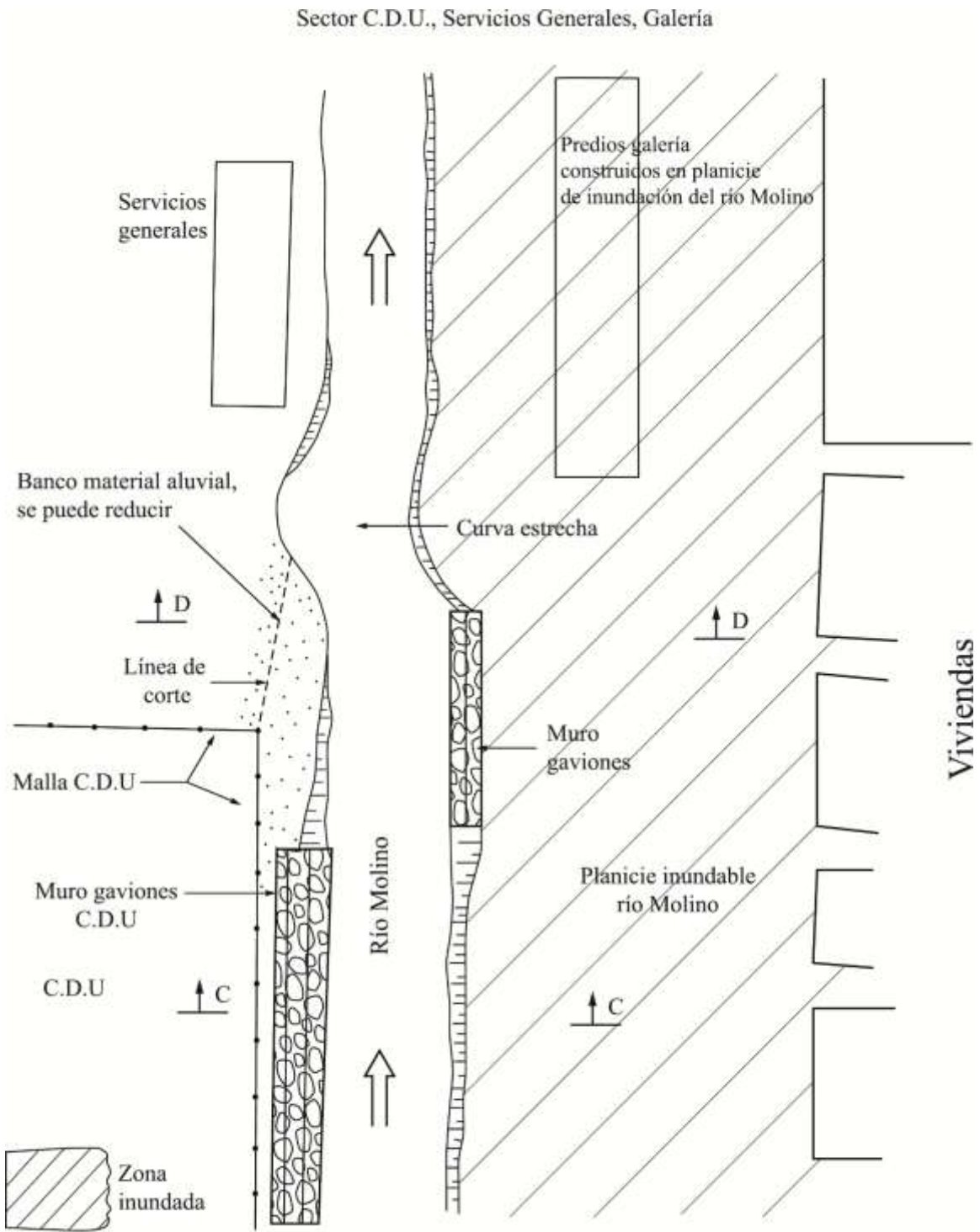
Fuente: [44]

Figura 18. Niveles de inundación. Canchas del Centro Deportivo Universitario – CDU. 2011.



Fuente: [44]

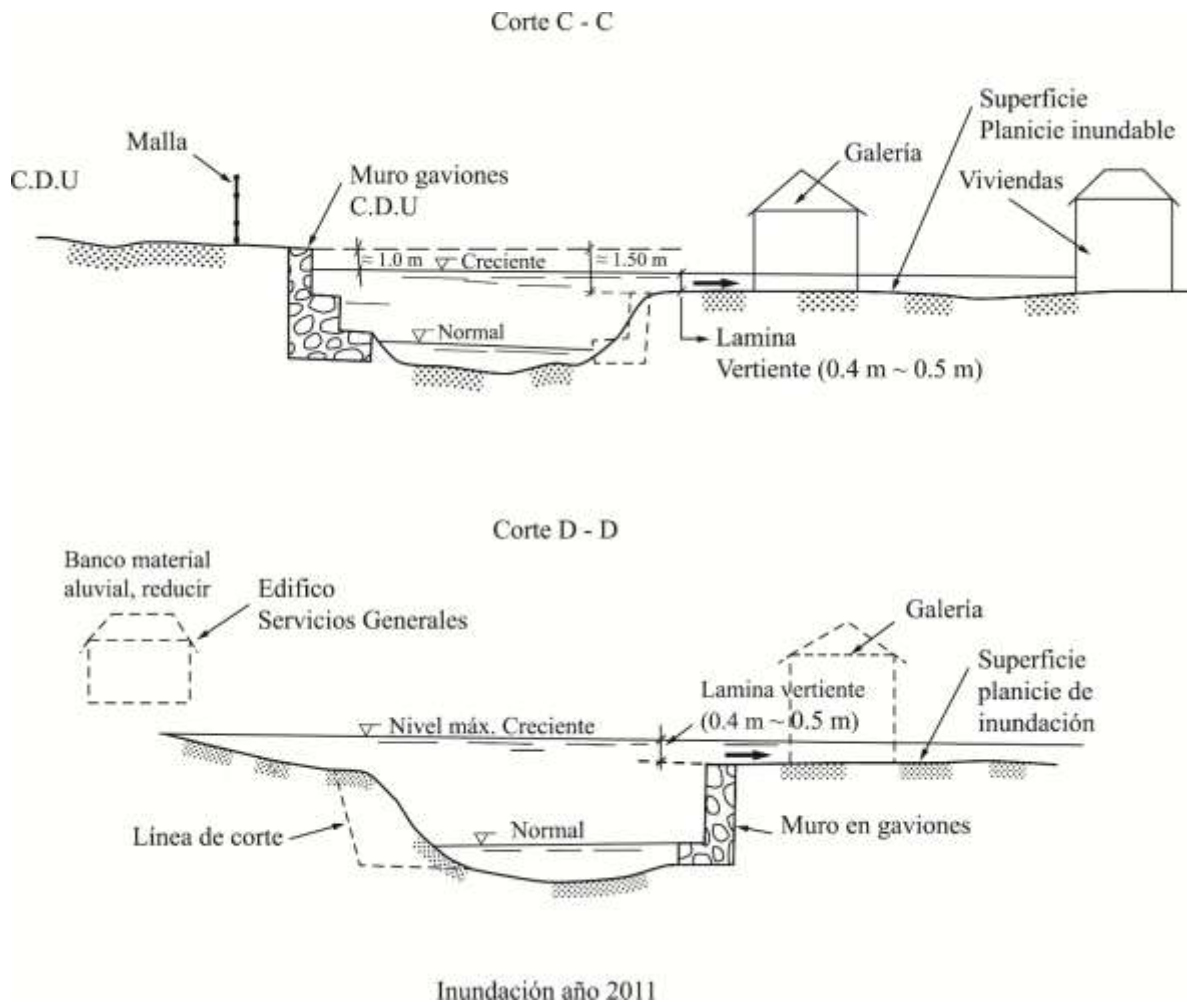
Figura 19. Problemas de erosión y obras de protección. CDU, Servicios generales UNICAUCA y galería barrio Bolívar. 2011



Inundación año 2011

Fuente: [44]

Figura 20. Niveles de inundación CDU y galería barrio Bolívar. 2011.



Fuente: [44]

Las características del cauce muestran que la sección comprendida desde el puente de la calle 15 N hasta el puente de La Custodia se encuentra la planicie de inundación natural del río por lo que se considera una zona inundable, de susceptibilidad alta (inundación de tipo pluvial) donde la lámina de agua alcanza 1.8 m. Además de los caudales hidrológicos elevados que pueden afectar esta zona, el puente sobre la avenida Vásquez Cobo está restringiendo la capacidad del cauce, debido a una pilastra central muy ancha. En la última sección del tramo de estudio, el río se represa sobre el puente de la Custodia rebosándose por ambas márgenes en un espacio relativamente pequeño [44].

4.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO

Para la evaluación del riesgo se tuvo en cuenta la relación de la calificación de la amenaza y la vulnerabilidad teniendo en cuenta los siguientes aspectos.

4.3.1 Identificación de la amenaza. La amenaza se valoró aplicando las respectivas variables de calificación: frecuencia, intensidad y territorio afectado.

4.3.1.1 Frecuencia. El capítulo 4.1.1 sintetiza los eventos de inundación ocurridos en el tramo de estudio a través del tiempo, lo que permitió determinar el lapso entre un evento y otro y calcular el promedio obteniendo un resultado de 15,37, es decir, que el tiempo promedio de diferencia entre un evento y otro es de 15,37 años correspondiente a 15 años, 4 meses y 13 días aproximadamente (Cuadro 15). Para la determinación en años, meses y días se calcula mediante una regla directa simple.

Cuadro 15. Frecuencia de la amenaza de inundación

No. Evento	Fecha	Tiempo transcurrido desde el evento anterior(años)
1	1890	
2	1926	36
3	30 de noviembre de 1928	2
4	18 noviembre de 1938	9,95
5	5 de febrero de 1996	57,22
6	13de Diciembre de 2004	8,85
7	29 de abril de 2011	6,29
8	7 de mayo de 2011	0,02
9	24 de diciembre de 2013	2,62
Frecuencia promedio		15,37

La tabla de calificación de frecuencia describe que un evento que se presenta al menos una vez en un período de tiempo entre 5 y 20 años, se considera una calificación baja y un valor de 1, por lo tanto, en el tramo de estudio con una frecuencia de 15 años, 4 meses y 13 días se considera baja (Cuadro 16). Lo anterior, concuerda con lo establecido en el Estudio Preliminar (afectación y daños) asociados a fenómenos de inundación lenta y súbita (avenida torrencial) en la zona urbana y rural el municipio de Popayán de la Universidad del Cauca y la Alcaldía Municipal de Popayán que expresa que la amenaza de inundación del río Molino tiene un periodo de retorno entre 15 y 20 años [44].

Cuadro 16. Frecuencia en el tramo de estudio

Calificación	Valor	Descripción
BAJA	1	Evento que se presenta al menos una vez en un período de tiempo entre 5 a 20 años

4.3.1.2 Intensidad. La información referente a la afectación de cada uno de los episodios ocurridos en el tramo de estudio se consigna en el cuadro 16, no obstante, la información fue escasa debido a que fue solo hasta el año 2012 que se aprobó la Ley 1523 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 obligando a las instituciones a registrar la información necesaria para el conocimiento y reducción del riesgo y manejo de desastres. Lo anterior, determinó que solamente se tomara el evento de inundación ocurrido el 23 de diciembre de 2013, único episodio ocurrido posteriormente a la declaración de la ley 1523 de 2012, como referencia para la calificación de la intensidad en el tramo de estudio.

La calificación de la intensidad del evento se realizó para cada uno de los parámetros descritos en la tabla de calificación de intensidad. Es decir, a cada una de las descripciones se les otorgó una calificación, y posteriormente se tuvo en cuenta la calificación de mayor porcentaje.

Cuadro 17. Parámetros de intensidad en el tramo de estudio

Fecha del evento	Número de fallecidos	Personas afectadas	Recursos naturales afectados	Tiempo de suspensión servicios públicos básicos	Tiempo suspensión Actividad económica	Pérdidas económicas	Afectación infraestructura	Fuente
1890					Nd			
1926					Nd			
20 de noviembre de 1928					Nd			
18 noviembre de 1938	5	2000 (500 familias)		4 horas		\$300.000 (1938)	1 puente	[48]
5 de febrero de 1996	1							
13de Diciembre de 2004					Nd			
29 de abril de 2011	Nd	208 habitantes				5 vehículos averiados Equipos y materiales (Hospital San José) 200 locales comerciales afectados	3 edificio (Panorama, Fedar, Fundación Orquídea) 1 vivienda	[45]
7 de mayo de 2011	Nd						Cancha de futbol	[45]
24 de diciembre de 2013	0	2 desaparecidos 800 personas (200 flías)		3 días sin agua potable	2-3 semanas	\$ 2.848.262.500	1 puente [53] 7 viviendas 31 Bodegas y depósitos 12 locales comerciales 26 puntos de venta	[54]

Nd: no hay datos

En el tramo de estudio, el 71,4 % de los parámetros descritos obtuvieron una calificación media (color amarillo) lo que permite determinar una valoración media de intensidad en el tramo de estudio. Esta valoración responde a la descripción referente a personas afectadas, tiempo de suspensión de servicios públicos, tiempo de suspensión de la actividad económica, las pérdidas económicas y la afectación de la infraestructura (Cuadro 18).

Cuadro 18. Intensidad en el tramo de estudio

Calificación	Valor	Descripción
MEDIA	2	Pocas personas fallecidas, varias personas lesionadas de mínima gravedad, afectación moderada del territorio, afectación moderada de los recursos naturales, afectaciones en las redes de servicios públicos, suspensión temporal de actividades económicas, afectación moderada en la infraestructura departamental, pocas viviendas destruidas y varias viviendas averiadas

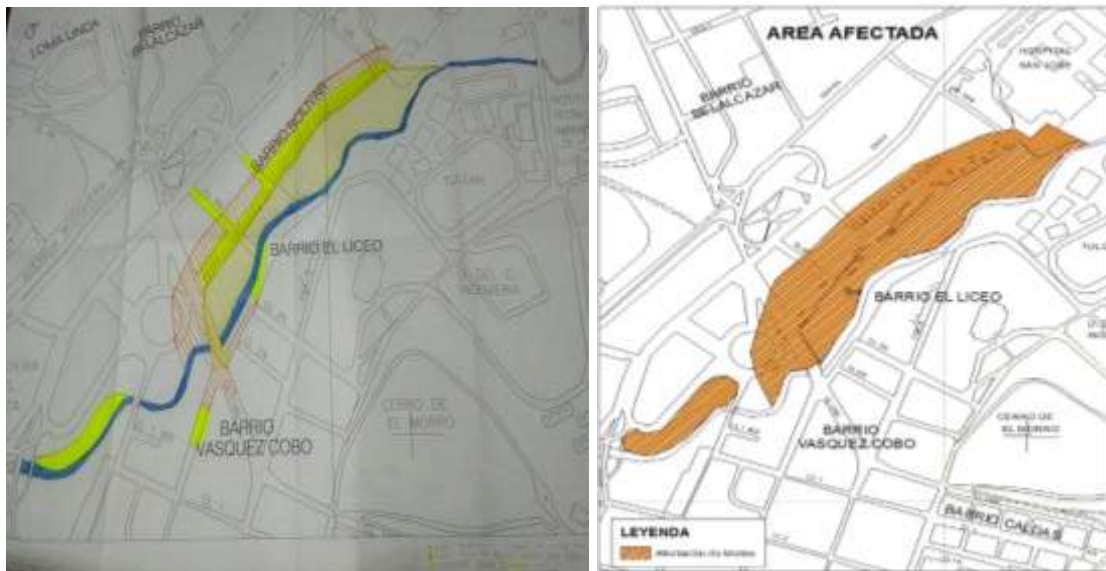
Fuente: [29]

4.3.1.3 Territorio afectado. La determinación del área afectada en la ronda hídrica del tramo de estudio se realizó mediante los datos reportados en el Estudio preliminar (afectación y daños) asociados a fenómenos de inundación lenta y súbita (avenida torrencial) en la zona urbana y rural el municipio de Popayán de la Universidad del Cauca y la Alcaldía Municipal de Popayán [44]; los datos fueron recolectados mediante cartografía social con diferentes entidades participantes en la gestión del riesgo y prevención y atención de desastres en la ciudad de Popayán y las comunidades afectadas por el evento de inundación del 23 de diciembre de 2013.

La información recopilada del estudio en mención, señala como zonas inundables la parte posterior del Hospital Universitario San José, la cancha del Barrio Bolívar

hasta la avenida de los estudiantes, la plaza de mercado hasta la calle sexta y el parque Mosquera en el margen derecho del río, y en el margen izquierdo muestra la avenida Vásquez Cobo y la calle cuarta; finalizando el tramo, los actores entrevistados señalan inundación desde el puente de la calle quinta hasta el puente de La Custodia sobre el margen derecho. (Figura 22). Según esta información, el área inundable en el tramo de estudio corresponde a 59.368,85 metros cuadrados (m²).

Figura 21. Zonas inundables según cartografía social



Fuente. Adaptado de [44]

El territorio afectado en esta ronda hídrica, según la zona inundable apreciada en la cartografía social, fue de 23.806,83 m² correspondiente al 32,5% (Figura 23).

Según la metodología establecida, la calificación correspondiente para el 32,5% del territorio afectado de la ronda hídrica es Baja por tener un valor menor al 50%, como se muestra en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Calificación de territorio afectado en tramo de estudio

Calificación	Valor	Descripción
BAJA	1	Menos del 50% del territorio presenta algún tipo de afectación

4.3.1.4 Calificación de la amenaza. La relación de la frecuencia, la intensidad y el territorio afectado permitió calificar la amenaza en el tramo de estudio. En el cuadro 20, se resume la calificación de cada uno de los factores arrojando como resultado una valoración Media para la amenaza, por lo que se infiere que la amenaza de inundación que se presenta en el tramo de la calle 15 norte hasta la carrera 6 del recorrido del río Molino en la zona urbana del municipio de Popayán es de intensidad moderada pero con una baja frecuencia de presentarse.

Cuadro 20. Calificación de amenaza en el tramo de estudio

Tipo de amenaza	Frecuencia		Intensidad		Territorio afectado		Calificación de la Amenaza	
	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
Inundación	1	Baja	2	Media	1	Baja	4	Media

4.3.2 Determinación de la vulnerabilidad. La vulnerabilidad a fenómenos de inundación del río Molino en el tramo comprendido entre la calle 15 N hasta la calle 6 en la zona urbana de Popayán, se determinó mediante la relación de la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad ambiental. El análisis de cada uno de estos factores se describe a continuación.

4.3.2.1 Vulnerabilidad física. Las condiciones de vida están directamente relacionadas con la calidad de la vivienda en el cual habitan las personas con niveles de vulnerabilidad. Las entidades municipales cuentan con conocimiento profundo sobre los sectores de inundación y su entorno [44].

Para la determinación de la vulnerabilidad física en el tramo de estudio, se analizó individualmente, cada una de las variables que componen la valoración para su calificación. Posteriormente, se promedió la calificación obteniendo la valoración total de la vulnerabilidad física. Las variables analizadas fueron Antigüedad de las edificaciones, Materiales de construcción y estado de conservación, cumplimiento de la normatividad vigente, características geológicas y uso del suelo y localización de las edificaciones respecto a la fuente hídrica.

- **Antigüedad de las edificaciones.** Mediante las diferentes visitas de campo que se hicieron a los sectores objeto del presente trabajo se pudo constatar que las edificaciones tanto de uso para vivienda como las instituciones públicas y privadas han sido construidas en un promedio de época mayor a 20 años, y aunque se han hecho adecuaciones, restauraciones y reconstrucción de algunas edificaciones, la antigüedad hace que la vulnerabilidad para esta zona sea alta, debido a que los materiales, la estructura y la cercanía con el cauce del río han sufrido ciertas desmejoras, producto natural del tiempo que ha transcurrido, por lo que la inestabilidad de las edificaciones causa que la vulnerabilidad se incremente producto de la falta de seguridad que prestan las construcciones.

Además, se pudo verificar también que muchas edificaciones están construidas con materiales poco convencionales a los que se utilizan en la modernidad, esto también hace que con el daño que se le ha causado a la ronda hídrica sea de mayor impacto negativo para las edificaciones.

“El proceso de urbanización del callejón como se conocía anteriormente a lo que hoy es el barrio Bolívar, se originó debido al callejón (hoy día carrera 6) y su importancia como salida y entrada a la ciudad de Popayán. Según el Plan Especial de Manejo y Protección, este barrio se originó a inicios del siglo XVII y se le considera la primera expansión de la ciudad. Con la construcción del ferrocarril aproximadamente en el año 1925 con la empresa ferrocarril del Pacífico, por donde hoy pasa la avenida Mosquera, y la estación del ferrocarril muy cercana al parque Centenario, se refuerza el barrio Bolívar como espacio de arribo y salida de la ciudad. [52]

En el plano del IGAC de 1961 se puede observar el parque Mosquera, el parque Centenario, así como la estación del ferrocarril y la vía férrea. También se pueden observar los desarrollos urbanos incipientes sobre la carrera 6 y la Galería. Hacia 1948 se traslada al Barrio Bolívar la Galería que se encontraba en lo que hoy se conoce como el centro comercial Anarkos. Este traslado transformó el barrio Bolívar, de barrio residencial a todo un sector comercial como se encuentra en este momento. Por esta misma época se construye el Hospital San José” (Figura 24) [52].

Figura 23. Mapa de la zona de estudio en 1961



Fuente. [55]

Las edificaciones más importantes que se encuentran en el tramo de la calle 15 norte a la carrera 6 del recorrido del río Molino por la ciudad de Popayán son:

- El Hospital y la facultad de Medicina son edificaciones propias de mitad del siglo XX, su tipología es aislada y predomina la función sobre la forma. Estas grandes edificaciones por su tamaño y altura sirven como punto de referencia y se constituyen en un hito urbano [52].
- El antiguo Salón Comunal del Barrio Bolívar es una edificación de tipología aislada, y se encuentra dentro de la manzana 27 donde se encuentra también la cancha de fútbol del barrio Bolívar [52].

- En el sector de la estación de Policía Filomena Segura la zona posterior a la construcción existe arborización de alto porte sobre la ronda del río así como en el parque Tomás Cipriano de Mosquera [52].
- Cruz Roja: Este equipamiento se encuentra en esta edificación posterior al terremoto de 1983 esta edificación de características coloniales está incluida en las construcciones de conservación integral según el PEMP del 2008 de Popayán. Esta edificación se encuentra dentro de la zona de comercio de agroquímicos, depósitos y grandes supermercados sobre el eje de la carrera 6, contiguo a la calle 9N donde se aglutinan los vehículos de carga, y anterior a la zona de parqueos de vehículos de carga. Todos estos elementos no generan un ambiente cómodo ni propicio para las actividades que desempeña la Cruz Roja [52].
- Estación de Policía: Esta edificación en el pasado correspondía a la Escuela Filomena Segura, pero en la actualidad es la estación de Policía del mismo nombre, que presta seguridad al sector que se ha venido afectando por robos, consumo de drogas y aumento en la población indigente. Esta edificación que según el PEMP es de conservación integral es la única edificación de esta manzana junto con el Hospital las únicas edificaciones de tipología aislada. Esta es la primera construcción que se encuentra si se accede desde la carrera 5. La edificación está en buenas condiciones de mantenimiento [52].
- Junta de Acción Comunal Barrio Bolívar: Esta edificación que se encuentra contigua a la cancha de Fútbol entre la avenida de los estudiantes y el Río Molino y se encuentra en estado de abandono, debido a la situación de inseguridad de esta zona [52].

Al tener en cuenta la información recopilada sobre la antigüedad de las edificaciones en el tramo de estudio se determina que, según la escala de

valoración establecida en la metodología y la edad de las construcciones exceden los 20 años, la calificación es alta (Cuadro 21)

Cuadro 21. Calificación de la antigüedad de las edificaciones

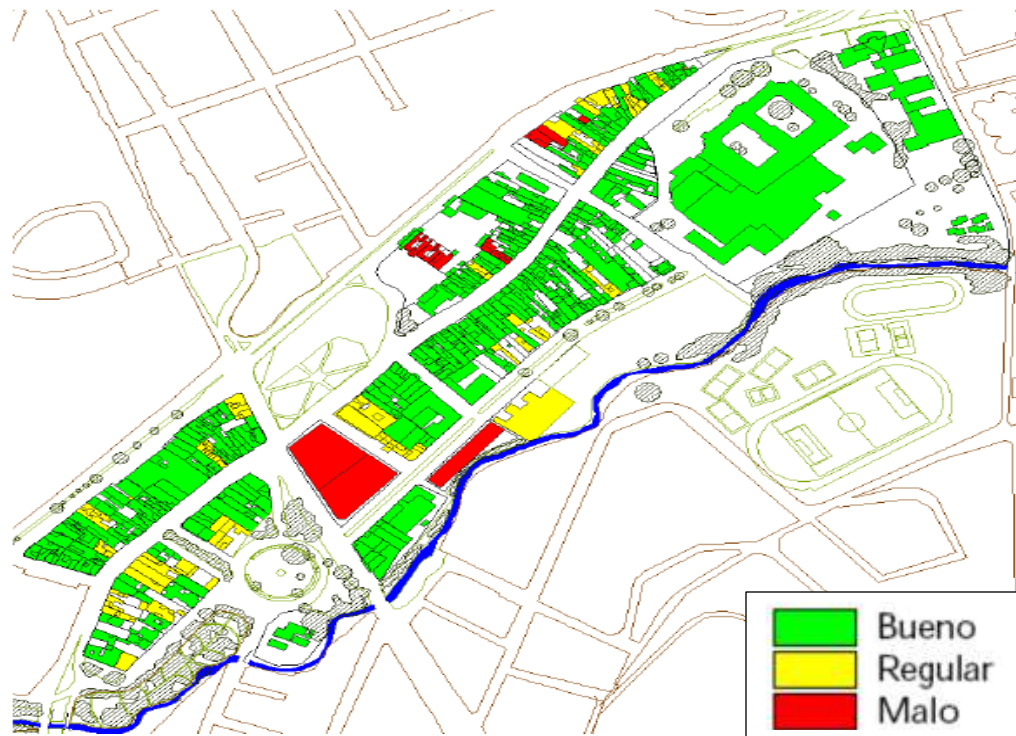
Calificación	Valor	Descripción
ALTA	3	La antigüedad de las edificaciones es mayor a 20 años.

- **Materiales de construcción y estado de conservación.** En este ítem de valoración de la vulnerabilidad, se logró evidenciar que los materiales en algunas construcciones no son los más favorables, debido a que se utilizan materiales antiguos en la construcción, como el adobe, que cede fácilmente ante inundaciones, desbordamientos y otros fenómenos naturales.

Por otro lado, se verificó que algunas de las edificaciones han sido reconstruidas y restauradas con materiales que si prestan una mejor seguridad para las construcciones y para la vida humana, sin embargo se debe prestar atención a aquellas que no cuentan con los factores necesarios para estar tan cerca de la ronda hídrica y desde ahí poder evitar episodios que lleven a la destrucciones de las edificaciones y que se pierdan vidas humanas.

Dentro del trabajo de campo realizado en el diagnostico final del plan parcial se levantó información sobre el estado actual de las construcciones discriminado en bueno, regular y malo, encontrando, que alrededor del 80% de las construcciones se encuentran en buen estado, la mayoría de estas construcciones se han realizado mediante autoconstrucción y son aproximadamente de la segunda mitad del siglo XX (Figura 25).

Figura 24. Estado de las construcciones, año 2010



Fuente. [52]

Dentro de la clasificación de tipo de construcciones se encuentran las edificaciones de conservación, permanentes y temporales, las cuales se clasifican así:

- Construcciones de conservación: Dentro de esta categoría se encuentran las edificaciones de conservación integral y de conservación de tipo arquitectónico identificadas por el Plan Especial de Manejo y Protección. PEMP Popayán
- Construcciones permanentes: Dentro de esta clasificación se encuentran las edificaciones construidas con materiales tradicionales como ladrillo, bloque y concreto, que denotan su permanencia a través del tiempo en el pasado y hacia el futuro.

- Construcciones temporales: Dentro de esta clasificación se encuentran las construcciones realizadas en varas de madera, tejas de zinc, y asbesto cemento tanto a modo cubierta, como para cerramientos, y otros materiales que son utilizados para construcciones temporales, donde se denota la provisionalidad de las estructuras realizadas.

Más de la mitad de las construcciones son permanentes, alrededor de un cuarto del total de las construcciones son de conservación (según PEMP Popayán), y apenas 8 construcciones son estructuras temporales. Esto da cuenta de la consolidación urbanística y arquitectónica e historia del Barrio Bolívar.

La clasificación de esta categoría nos arroja una vulnerabilidad baja debido a que la mayoría de las edificaciones han tenido restauraciones que las hacen viviendas más fuertes a un tipo de amenaza como las inundaciones (Cuadro 23). De acuerdo con el diagnóstico del plan parcial del barrio bolívar [52], la mayoría de las construcciones son permanentes, pero que al pasar el tiempo han tenido mejorías para resguardarlas de una amenaza.

Cuadro 22. Calificación material de construcción y estado de conservación

Calificación	Valor	Descripción
BAJA	1	Estructura con materiales de muy buena calidad, adecuada técnica constructiva y buen estado de conservación.

- **Cumplimiento de la normatividad vigente.** La normatividad vigente es el reglamento colombiano de sismo resistencia NSR-10, la sismo resistencia es un atributo que se le da a una edificación, mediante la aplicación de técnicas de diseño de su configuración geométrica, y la incorporación en su constitución física,

de componentes estructurales especiales que la capaciten para resistir las fuerzas que se presenten durante un movimiento sísmico [56].

El reglamento colombiano sismo resistente NSR-10, es una norma técnica colombiana encargada de reglamentar las condiciones con las que deben contar las construcciones con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea resistente [56].

En el estudio consiente de la realidad material y los requisitos explícitos de la norma de sismo resistencia de 2010 para valorar su cumplimiento, se logró identificar que a pesar de las reparaciones, obras de mantenimiento, reformaciones y demás construcciones recientes, las viviendas cercanas a la ronda hídrica tienen un alto riesgo de sufrir daños directos e indirectos producto de fenómenos naturales como deslizamientos de tierra, inundaciones e incluso sismos, ya que en el momento de su construcción no se contaba con la asesoría de ingenieros, arquitectos y personas especializadas que a través de su conocimiento y experiencia hicieran cumplir la normativa, además que los cambios y la evolución continua de la zona rural a zona urbana como se conoce hoy en día no permitieron en su momento adaptar las necesidades sociales a lo que el entorno natural de la ronda hídrica requería para que no hubieran afectaciones tanto a los habitantes cercanos como a este recurso natural.

Por otro lado la sobrepoblación alrededor de la ronda hídrica ha causado erosiones de tierra que afectan severamente la estabilidad de los terrenos construidos, entonces se hace necesario que en cumplimiento de las exigencias normativas se empiece por fortalecer las construcciones y de no ser posible que se hiciera una reubicación con tal de evitar futuros accidentes, además fortalecer la ronda hídrica para preservar dicho recurso. Por todo lo expuesto anterior la vulnerabilidad en esta categoría es alta, ya que las construcciones no cumplen con

la normatividad exigida en el reglamento de sismo resistencia del año 2010 de Colombia.

Cuadro 23. Calificación de cumplimiento de normatividad vigente

Calificación	Valor	Descripción
ALTA	3	No se cumple con las leyes

- **Características geológicas y usos de suelo.** El uso de suelo en el área de estudio es diverso; entre ellos se señala el uso residencial, descrito como aquellos predios donde solo se erige la construcción para uso exclusivo de vivienda sin ningún otro uso asociado, estos predios no son representativos dentro del plan parcial Barrio Bolívar, y se encuentran algunos en la zona suroriental muy cerca del parque Mosquera. El uso comercial y de servicios, se considera todos aquellos predios que exclusivamente están dedicados al uso comercial sin ningún otro uso asociado.

Dentro de estos usos se encuentran algunos depósitos, almacenes de productos agropecuarios, áreas deportivas, sector salud, institucionales y estaciones de servicio, entre otros [52]; todos descritos en el Cuadro 25, relacionado a continuación.

Cuadro 24. Uso de suelo en el tramo de estudio

USOS DE SUELO	NUMERO	DESCRIPCIÓN
Usos residenciales	83 predios	Uso exclusivo de habitación.
Usos educativos	1 predio	Facultad de medicina de la universidad del Cuca

Cuadro 25 (Continuación). Uso de suelo en el tramo de estudio

USOS DE SUELO	NUMERO	DESCRIPCIÓN
Usos sector salud	2 predios	Hospital universitario san José y Cruz roja
Usos comerciales	171 predios	Depósitos, almacenes de productos agropecuarios, estaciones de servicio, billares, droguerías, funerarias, hoteles, parqueaderos, tiendas, restaurantes entre otros.
Usos institucionales	3 predios	Edificio Cesar Negret, Loteria del Cauca y sede administrativa de la Universidad del Cauca
Usos deportivos	2 predios	Complejo deportivo universidad del cauca y cancha deportiva barrio bolívar
Usos de seguridad	1 predio	Estación de policía filomena segura
Usos de abastecimiento	2 predios	Galería barrio bolívar y bodegas de almacenamiento

Fuente. Adaptado de [52]

En cuanto a las características geológicas, predomina un relieve plano, factor determinante en la morfología urbana que presenta el Barrio Bolívar; la poca pendiente y la ausencia de obstáculos geográficos, dan la posibilidad de desarrollo de una traza regular [52].

En el recorrido por la ronda hídrica del río Molino en el tramo comprendido entre la calle 15 norte y la carrera 6, se pudo determinar que hay zonas con vegetación abundante y en muy buen estado, y por el contrario, hay otras zonas en las cuales la incidencia del ser humano ha hecho que se pierda total control sobre la

cobertura necesaria para la ronda y para mantener segura la zona para los ciudadanos.

El diagnóstico de la cobertura vegetal presente en la ronda, se puede clasificar en dos sectores, el primero ubicado en el parque Mosquera, que obedece a la conformación del parque con masas boscosas correspondientes al bosque sub andino, con árboles de alto porte que obedecen a acciones de reforestación y mantenimiento de las aéreas verdes, y arbustos y vegetación rastrera en la ronda; entre las especies encontradas están: Acacia (*Acacia sp*), Aguacate (*Persea americana*), Arce, Ceiba lechera (*Hura crepitans*), Eucalipto (*Eucalyptus grandis*), Fresno (*Fraxinus sp*), Guamo (*Inga sp*), Guayacán nativo, Guayacán amarillo (*Tebuia chysantha*), Guayacán rosado (*Tebuia rosea*), Mango (*Mangifera indica*), Mayo o siete cueros (*Meriana speciosa*), Nogal (*Juglans neotrópica*), Palma payanesa (*Archontophoenix cunninghamiana*), Roble (*Quercus humboldtii*), Sauce (*Salix humboldtiana*), Tulipán africano (*Sphatodea campanulata*), Urapán (*Fraxinus chinensis*), Gitanas, Azucenas naranjas, Fugas, Tulipan, Durantas, Julias, Azucenas Amarillas, Palma boba, Helecho (Figura 26) [52].

Figura 25. Cobertura vegetal en el Parque Mosquera



Fuente: [52]

El segundo sector de la vegetación encontrada está conformado por Acacia (*Acacia sp*), Guayacán amarillo (*Tebuia chysantha*), Guayacán rosado (*Tebuia*

rosea), Higuera (*Ricinus communis*), Mango (*Mangifera indica*), Nogal (*Juglans neotrópica*), Sauce (*Salix humboldtiana*), Urapán (*Fraxinus chinensis*) Estas especies no cuentan con condiciones adecuadas de mantenimiento y la proliferación de especies rastreras e invasoras impide la accesibilidad a la ronda y genera zonas de penumbra que en últimas pueden incidir negativamente en las condiciones de seguridad del sector (Figura 27) [52].

Figura 26. Cobertura vegetal en el Barrio Bolívar



Fuente: [52]

La ciudad de Popayán no cuenta con estudios de composición florística y parámetros de manejo de vegetación (siembra y mantenimiento) en el área urbana; esto ayuda a explicar en parte, el estado actual (podas mal ejecutadas y falta de mantenimiento) de las especies encontradas en el sector, en las *plazas* y *ejes viales*. Sin embargo, cabe destacar aspectos positivos, el primero es que el área de la Ronda del Río Molino cuenta con una significativa cantidad de vegetación, hecho por el cual, en el Plan Parcial del año 2010, le confiere un potencial como parte de un corredor biológico ya que las especies vegetales son atractoras de avifauna y ayudan en la regulación del balance hídrico de la zona [52].

En otros sectores de la ronda no invadida del río, se observa la falta de tratamiento y mantenimiento. La ronda en la zona de la cancha de fútbol, es un espacio sin ningún tratamiento, alrededor del río se encuentran pastos, algunos árboles y vegetación de porte bajo, además existe acumulación de basuras en algún sector cercano al Hospital.

En la zona que comprende entre el Hospital Universitario San José y el centro deportivo Tulcán de la Universidad del Cauca, se conserva aún una alta concentración de vegetación nativa que permite un control constante de las crecientes del cauce del río pero además que no haya intervención humana que cause daños a esta zona. Por otro lado, en el sector de la galería del barrio Bolívar se puede observar un daño ambiental a la ronda hídrica debido a que personas habitantes de la calle han optado por construir con todo tipo de materiales como madera, cartón, aluminio, guadua, espacio de habitación y arrojando todo tipo de desechos al cauce y sobre la ribera del río lo que afecta constantemente la vegetación presente en esta zona y como consecuencia se presentan constantes crecientes y desbordamientos fuertes en este sector, afectando la vida de las personas que lo habitan ilegalmente.

En el sector del parque Mosquera y la Estación de Policía, alrededor de esta zona se encuentra vegetación en buen estado y abundante, a pesar de encontrar construcciones muy cercanas a la ronda hídrica que no cumplen con lo establecido, la vegetación se ha visto poco afectada y aún se conservan las especies nativas de la zona, esto ha permitido que haya un control natural de los desbordamientos pero sin poder controlar las consecuencias contra las viviendas y edificaciones cercanas.

Por lo expuesto anteriormente, se puede inferir que la calificación para la cobertura vegetal de esta zona es de ponderación media, por razón a que aún se conservan espacios con muy buena vegetación y se respeta el crecimiento de las

especies nativas, pero también hay sectores en donde la incidencia de labores humanas ha afectado seriamente esta cobertura (Cuadro 26). Por otro lado, debido a que las construcciones se encuentran tan cerca de la ronda se ha perdido gran parte de la vegetación natural y eso ha permitido el deterioro de este cuerpo de agua.

Cuadro 25. Calificación características geológicas y tipo de suelo

Calificación	Valor	Descripción
MEDIA	2	Zonas con indicios de inestabilidad y poca cobertura vegetal.

- **Localización de las edificaciones.** A través de las visitas se logró constatar que la localización de las edificaciones, en el sector comprendido para el presente trabajo, no es adecuada debido a que no hay respeto por los espacios correspondientes a la ronda hídrica. Esto demuestra que no hay una buena correlación entre la comunidad y este cuerpo de agua al invadir los espacios del uno al otro, las construcciones se encuentran tan cerca al cauce del río y eso hace que no haya un buen uso del suelo cercano.

Tal como se describió en el apartado de incumplimiento de normatividad vigente, en el tramo comprendido entre la calle 15 norte y la carrera 6, se sigue desconociendo la normatividad actualmente vigente en cuanto a los espacios de conservación de la ronda hídrica. Estos espacios se ha empleado para la construcción de parques públicos y edificaciones para uso residencial que deterioran esta área natural y que además hacen que la vulnerabilidad se dispare a tal punto de que es la zona que mayor impacto recibe en los episodios de inundaciones y desbordamiento del río Molino, en esta zona se han evidenciado fenómenos naturales con daños estructurales, inundaciones que alcanzan varios

metros de altura, pero además las inundaciones hacen que los residuos entren a las edificaciones y provocan la proliferaciones de animales como roedores e insectos y la propagación de enfermedades infecciosas.

El código nacional de recursos naturales renovables y protección del medio ambiente, decreto 2811 de 1974, establece una regulación en términos de propiedad con relación a las zonas paralelas a los cauces permanentes. En el artículo 83 literal D, consagra que la faja paralela a las líneas de mareas máximas o el cauce permanente de ríos o lagos de hasta 30 m, es un bien inembargable e imprescriptible del Estado, salvo en los casos que se tengan derechos adquiridos. Es decir, que las normas contemplan como espacio permitido 30 metros entre la ronda hídrica para la protección y conservación del recurso hídrico.

Para calificar esta variable, se tuvo en cuenta la norma anteriormente mencionada y la información de las edificaciones sectorizadas en el Plan Parcial del Barrio Bolívar [52] donde se definen los siguientes sectores:

En el **sector cercano al Hospital Universitario San José**, los márgenes entre la ronda hídrica y el inicio de las construcciones del lado izquierdo y derecho de la ribera del río, no cuentan con los espacios exigidos para evitar riesgos en casos de inundaciones y desbordamientos del cauce del río Molino (Figura 28).

Figura 27. Ronda hídrica en el sector del Hospital Universitario San José



Fuente. [52]

En el **sector de Tulcán** también se desconoce la existencia de los espacios exigidos entre las construcciones y la ronda hídrica, debido a que se inicia un uso de suelos por debajo de los 30 metros permitidos (Figura 29), haciendo que la vulnerabilidad para las construcciones y las personas sea muy evidente, además de ello se puede demostrar mediante las visitas técnicas el abandono de esta zona por parte de la comunidad y las autoridades, no hay mantenimiento permanente de las cercas o mallas que cierran los espacios, no hay mantenimiento de la cancha de futbol como espacio deportivo, no hay recolección de residuos sólidos, y esos factores incrementan la vulnerabilidad de la zona y sus habitantes.

Figura 28. Ronda hídrica en el sector de Tulcán



Fuente. [52]

En el **sector de la galería** se puede notar el mayor incumplimiento a las normas, no hubo un control en su debido tiempo a los espacios para iniciar las construcciones (Figura 30). La tradicional galería del barrio Bolívar no cuenta con buenas estructuras debido a la antigüedad de su construcción y al encontrarse tan cerca de la ronda hídrica se incrementa sustancialmente la vulnerabilidad para las edificaciones y, sobre todo, para la vida humana ya que diariamente en esta zona convergen cientos de personas entre vendedores, compradores, visitantes e incluso habitantes de calle que han optado por frecuentar esta zona y en algunos casos levantar espacios de habitación con cartón, madera, zinc y otros materiales. Así que la vulnerabilidad en este sector sin duda es alta y registra un mayor incumplimiento de las normas vigentes.

Figura 29. Ronda hídrica en el sector de la galería



Fuente. [52]

El **sector del parque Mosquera** logra poner en evidencia el desconocimiento de toda norma y de todo espacio exigido en ellas, para la conservación y la protección de la ronda hídrica, no existe el más mínimo espacio en ninguno de los lados de la ribera del río entre las construcciones y la ronda hídrica (Figura 31), es por ello que todos los episodios de inundaciones y desbordamiento han afectado

con mayor fuerza a esta zona en donde se encuentran edificaciones para uso institucional y de vivienda, la vulnerabilidad entonces es muy alta ya que se encuentran muchos espacios en donde habitan personas que han sido sorprendidas por las crecientes en el cauce del río.

Figura 30. Ronda hídrica en el sector del parque Mosquera



Fuente. [52]

Teniendo en cuenta que la norma contemplan como espacio permitido 30 metros entre la ronda hídrica y las construcciones, es evidente en el tramo objeto de estudio el incumplimiento de la normatividad vigente, lo que hace que las construcciones tengan una alta vulnerabilidad a que los fenómenos naturales causen afectaciones serias a las estructuras de las construcciones, pero también que hayan daños materiales serios a maquinas, enseres, mueblería y alimentos que se almacenen en estos lugares.

Respecto a lo anterior se puede concluir que la medida para la calificación de esta variable es 3 es decir calificación ALTA (Cuadro 27), debido a que todas las edificaciones construidas alrededor de la ronda hídrica en el sector objeto de estudio no cumplen con los parámetros establecidos legalmente por las

autoridades competentes para respetar los espacios permitidos, así pues se encuentran edificaciones construidas muy cerca de la ronda hídrica lo que ha afectado seriamente la seguridad de los habitantes y transeúntes de toda esta zona en episodios de inundaciones y desbordamientos, en toda la franja se encuentran construcciones que a pesar del peligro que representa estar tan cerca al cauce del río siguen estando habitadas y que se han visto seriamente afectadas tras los episodios ocurridos. Esta zona entonces no cumple en ningún sector con la localización adecuada de las construcciones, por eso la vulnerabilidad que se presenta es alta para las edificaciones y sobre todo para la vida humana, ya que el cauce del río, al haber desbordamientos alcanza las zonas bajas de las viviendas y edificios.

Entre otros aspectos que se pueden evidenciar es la falta de mantenimiento a las cercas que separan las zonas privadas entre si y para los transeúntes lo que ha permitido la acumulación de escombros que los mismos habitantes de la zona han depositado en este sector lo que ha abierto boquetes por donde hay grandes filtraciones de agua, lodo, escombros, entre otros materiales que se desprenden de las inundaciones.

Cuadro 26. Calificación de la localización de las edificaciones

Calificación	Valor	Descripción
ALTA	3	Localización de las edificaciones con respecto a zonas de retiro a fuentes de agua y zonas de riesgos identificadas. MUY CERCANAS

Al evaluar cada una de las variables de calificación para la vulnerabilidad física del tramo del río Molino comprendido entre la calle 15 norte y la carrera 6, se establece que el 60% de las variables se determinó una valoración alta, tal como

se expone en el cuadro 28. Al ser un porcentaje mayor al 50% del total de las calificaciones, se consideró la calificación ALTA para la vulnerabilidad física en el tramo objeto de estudio.

Cuadro 27. Calificación de la vulnerabilidad física

VARIABLE	VALOR DE LA VULNERABILIDAD		
Antigüedad de las edificaciones.			ALTA
Materiales de construcción y estado de conservación	BAJA		
Cumplimiento de la normatividad vigente			ALTA
Características geológicas y tipo de suelo		MEDIA	
Localización de las edificaciones respecto a fuentes de agua y zonas de riesgo identificadas			ALTA
TOTAL VULNERABILIDAD			ALTA

4.3.2.2 Vulnerabilidad Ambiental. La vulnerabilidad ambiental relaciona la mayor o menor exposición que tiene el territorio entre la calle 15 N hasta la calle 6 en el recorrido del río Molino para ser afectado por un fenómeno de inundación.

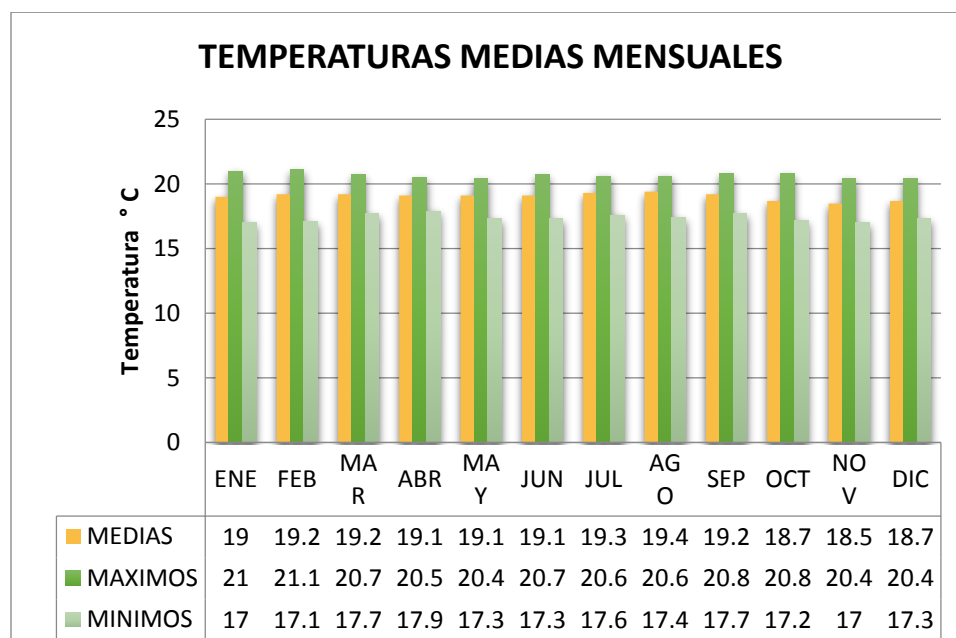
Para la determinación de esta variable, se desarrolló la ficha técnica que se consigna en el capítulo 3.3.4.2 para vulnerabilidad ambiental, teniendo en cuenta que en la ciudad de Popayán se cuenta con tres estaciones meteorológicas ubicadas en el área de influencia directa, una convencional en el aeropuerto Guillermo León Valencia, una automatizada en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, con registros desde Enero de 2,007 y otra automática instalada por la UMATA en el año 2,013. Además, se cuenta con una pluviométrica con registros de lluvias de 1,985 a 2,014 denominada Saté.

Los datos que se utilizaron para el presente análisis fueron los registrados por la estación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el aeropuerto Guillermo León Valencia, ubicada a 2° 26'10.4" N y 76°36'31.30" W. y una altitud de 1,749 m.s.n.m., y la de la Universidad del Cauca (UNICAUCA).

Para la determinación de la calificación en cada una de las variables que componen la evaluación de la vulnerabilidad ambiental, se procedió a responder las siguientes interrogantes:

5 ¿Qué nivel de temperatura presenta normalmente? Según los registros del IDEAM, la temperatura media en la ciudad de Popayán, entre los años 1941 a 2013, es de 19°C siendo la temperatura máxima de 21°C y la mínima de 17°C [57]. Los valores correspondientes por mes, se presentan en la Figura 32.

Figura 31. Temperatura media de la ciudad de Popayán.

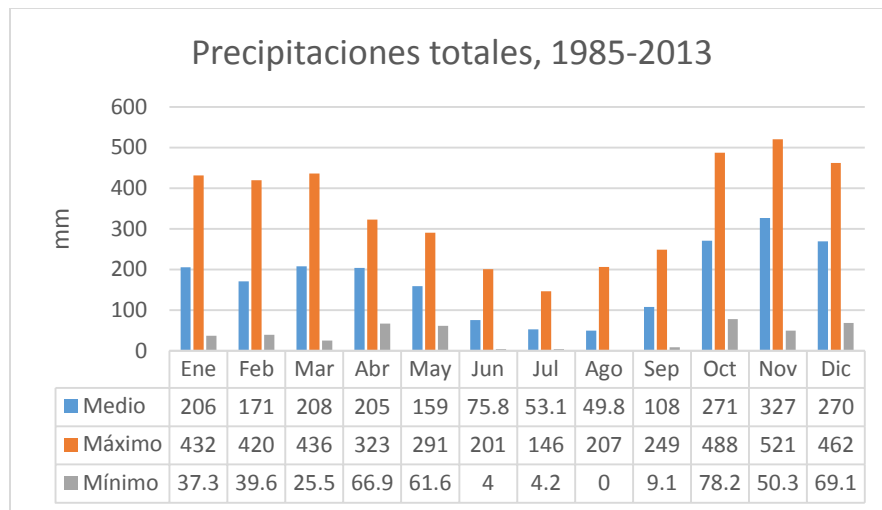


Fuente: [57]

Los valores máximos en la mayor parte de los meses, se han presentado durante fenómenos del Niño.

6 ¿Cuál es la precipitación promedio que se presenta normalmente? De acuerdo a los registros de la estación meteorológica Aeropuerto Guillermo León Valencia de Popayán del IDEAM, para el período 1,985-2,013, la precipitación media anual fue de 2.102,6 mm, con el mayor registro para el mes de noviembre con 520,9 mm en el año y el menor con 0 mm en el mes de agosto (Figura 33). Según esta información, la precipitación media anual de Popayán, se considera excesiva por sobrepasar los 2,000 mm, además, se puede apreciar que existe un régimen de lluvia de carácter bimodal, característico de la región Andina, donde se pueden definir unas épocas de baja precipitación al estar por debajo del promedio (173.2 mm) correspondiente a los meses de junio, julio y agosto, principalmente, y un periodo de alta precipitación en el segundo período del año registrando las lluvias mayor magnitud.

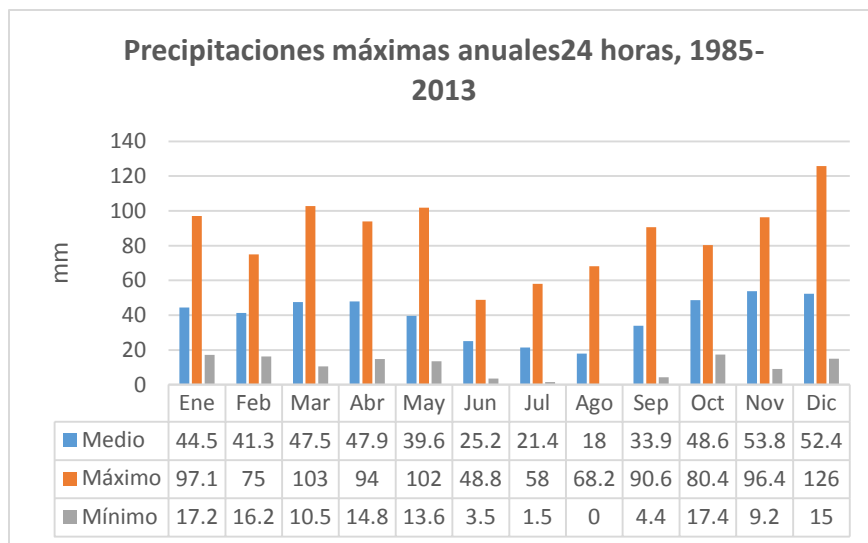
Figura 32. Precipitación media en la ciudad de Popayán



Fuente: [57]

El promedio de los valores medios de las precipitaciones presentadas en 24 horas, en el periodo de 1985-2013 fue de 39,5 mm con el mayor reporte para los meses de noviembre con 53,8 mm y diciembre con 52,4 mm; el valor máximo lo presenta el mes de diciembre correspondiente a 125,8 mm en 24 horas (Figura 34). Estos valores están estrechamente relacionados con las intensidades de las lluvias en mm//h y definen el drenaje en un área determinada.

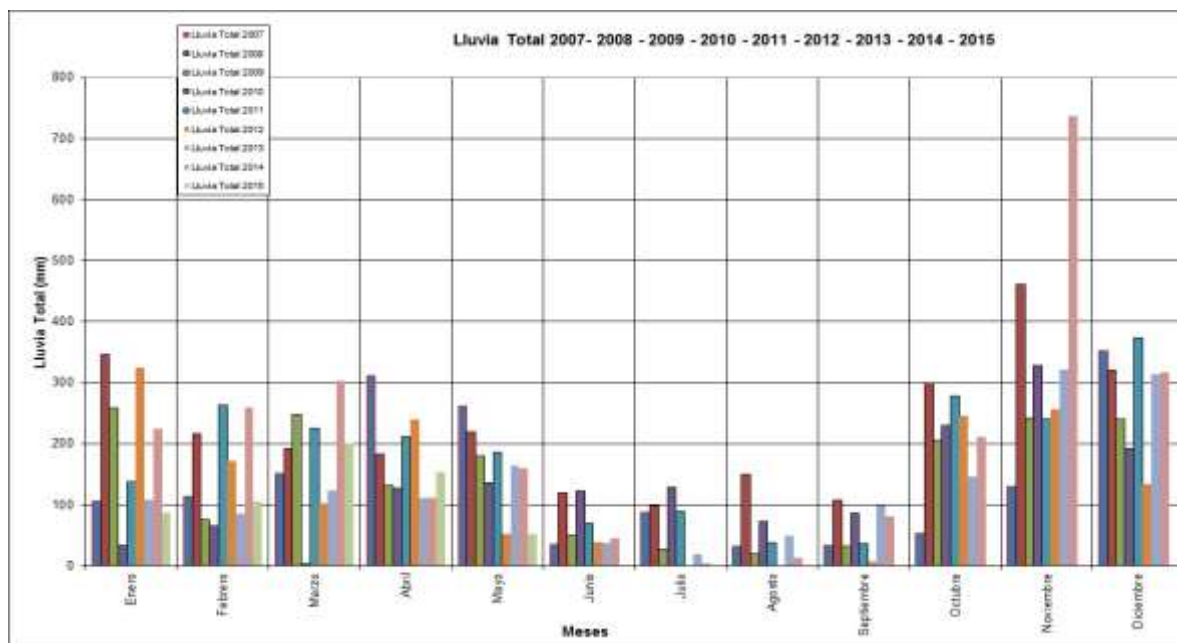
Figura 33. Precipitaciones mensuales en 24 horas.



Fuente: [57]

Los valores de precipitación en la estación de la Universidad del Cauca, ubicada en la Facultad de Ingeniería Civil, Figura 35, muestra los datos de las precipitaciones mensuales a partir de enero de 2.007 a mayo de 2.015, donde se puede analizar el comportamiento en mayor magnitud de la precipitación para el mes de noviembre, seguido de diciembre, con 339,42 y 280,48, respectivamente (Cuadro 29); lo anterior, coincide con el análisis de los reportes de la estación del Aeropuerto Guillermo León Valencia en el periodo 1985-2013.

Figura 34. Precipitaciones mensuales anuales en la ciudad de Popayán



Fuente: [58]

Cuadro 28. Precipitación media mensual y anual en la ciudad de Popayán.

ESTACIÓN UNICAUCA										
PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES Y TOTAL ANUAL EN mm										
AÑO: 2007-2015										
AÑO:	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Media mensual
Enero	106,14	345,58	258,45	32,73	137,56	324,16	108,67	223,9	86,57	180,42
Febrero	113,77	216,58	76,13	65,18	262,74	172,09	85,01	259,77	105,14	150,71
Marzo	151,24	192,14	247,78	3,53	226	101,78	123,38	303,15	200,32	172,15
Abril	311,09	182,49	132,27	126,61	211,44	238,88	111,7	111,66	153,11	175,47
Mayo	260,93	219,06	179,23	136,27	185,55	52,01	164,71	159,49	52,03	156,59
Junio	34,50	119,28	50,76	122,33	69,01	38,33	37,8	44,62		64,58
Julio	88,36	97,73	26,9	128,92	89,38	1,26	19,78	3,56		56,99
Agosto	31,19	150,02	20,29	72,1	38,58	1,01	48,98	13,43		46,95
Septiembre	33,51	106,85	31,48	86,32	37,03	7,62	98,53	80,73		60,26
Octubre	53,39	299,6	205,94	230,27	278,78	245,98	145,45	210,22		208,70
Noviembre	130,01	461,37	241,43	328,71	239,7	255,93	321,21	736,97		339,42
Diciembre	351,66	320,66	240,21	192,36	373,44	134,53	313,6	317,38		280,48
TOTAL ANUAL	1.665,79	2711,36	1710,87	1525,33	2149,21	1573,58	1578,82	2464,88		1.922,48

Fuente: [58]

La alta precipitación marcó las condiciones climáticas previas al evento de inundación del 23 de diciembre de 2013, que al compararla con los datos anteriormente mencionados, se encuentran dentro de la normalidad de la

precipitación mensual, ya que diciembre es uno de los meses que registran mayores lluvias; sin embargo, la coordinadora técnica de la Fundación Río Piedras y jefe de la División Ambiental de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán, la ecóloga Liliana Recaman, en entrevista con el periódico La Campana, comentó que la precipitación en la noche del 23 de diciembre de 2013 fue tan alta, que en 24 horas superaron los 172 milímetros en la zona media de la cuenca del río Molino [53], siendo el promedio normal de 52,4 mm [57], esto provocó deslizamientos en los taludes que generaron problemas en la ciudad de diferente tipo, debido a las inundaciones ocurridas en diferentes puntos de su recorrido y, en mayor magnitud, en la zona del tramo de estudio.

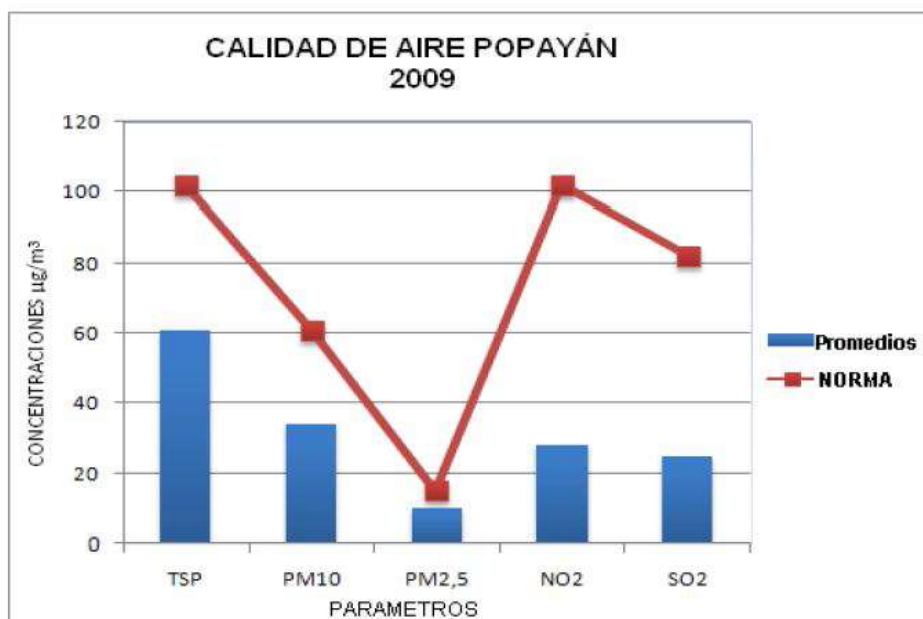
7 ¿Existe algún tipo de contaminación atmosférica? (cuáles). La estación de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), ubicada en el Edificio Negret, monitorea la condición de la concentración de elementos que componen el aire y la atmósfera, entre ellos, mediciones de la concentración de partículas totales en suspensión (TSP), partículas menores a 10 micras (PM10), dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO₂) [49].

En la zona del Barrio Bolívar, se observa que en la Avenida Vásquez Cobo, la Av. 6 y la Av. 6 A hay mayor generación de emisiones móviles con mayor intensidad durante los periodos secos derivado del paso intenso de flujo vehicular y de las maniobras de estacionamiento y arranque en semáforos y puntos de cargue y descargue de mercancías [49]. Las emisiones fijas, en el sector del barrio Bolívar, son relativamente bajas, la actividad que registra impacto ambiental por contaminación y por incompatibilidad de usos del suelo, por estar próximo a zonas residenciales, es la trilladora de café ubicada en la Av. 6A [11].

8 ¿Si existe algún tipo de contaminación, su nivel es perjudicial para la salud de los seres humanos?. Según la Organización Mundial para la Salud (OMS), la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud; mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma.

En la estación del Edificio Negret, se tienen resultados de los muestreos de los años 2005, 2006, 2008 y 2009, para los siguientes parámetros: mediciones de la concentración de partículas totales en suspensión (TSP), partículas menores a 10 micras (PM10), dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO₂) [52].

Figura 35. Valores promedio de calidad del aire en Popayán 2009.



Fuente: [52] TSP=Partículas totales en suspensión; PM10= Material particulado ≤ 10 micras; PM2,5= Material particulado ≤ 2,5 micras; NO₂=dióxido de nitrógeno; SO₂=dióxido de azufre.

Los resultados de los monitoreos realizados por la CRC, tal como se muestran en la Figura 36, indican que los elementos que determinan la calidad del aire de la ciudad de Popayán se encuentran por debajo del límite permitido según lo establecido en la Resolución 6010 de 2010; sin embargo, no se cuentan con datos actuales del área de influencia del Barrio Bolívar.

9 ¿Existe algún tipo de contaminación del agua? (cuáles). La calidad del agua es indicativo de la gestión de residuos sólidos y de la eficiencia actual del alcantarillado sanitario y pluvial del área.

Según el Acueducto y Alcantarillado de Popayán [59], para el año 2009, a la altura del puente vehicular de la carrera 7 Puente Edificio Edgar Negret, los resultados de una prueba de análisis de calidad de agua fueron los siguientes.

Cuadro 29. Parámetros de calidad de agua del río Molino

Parámetro	Medida
Color	34,6 upc
Turbiedad	13 ntu
Nitratos	0.78 mg/l
Fosfatos	12 mg/l
DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno)	1.7 mg/l
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	11.6 mg/l
Sólidos suspendidos totales	14.8 mg/l
Coliformes fecales	>24.196 UFC

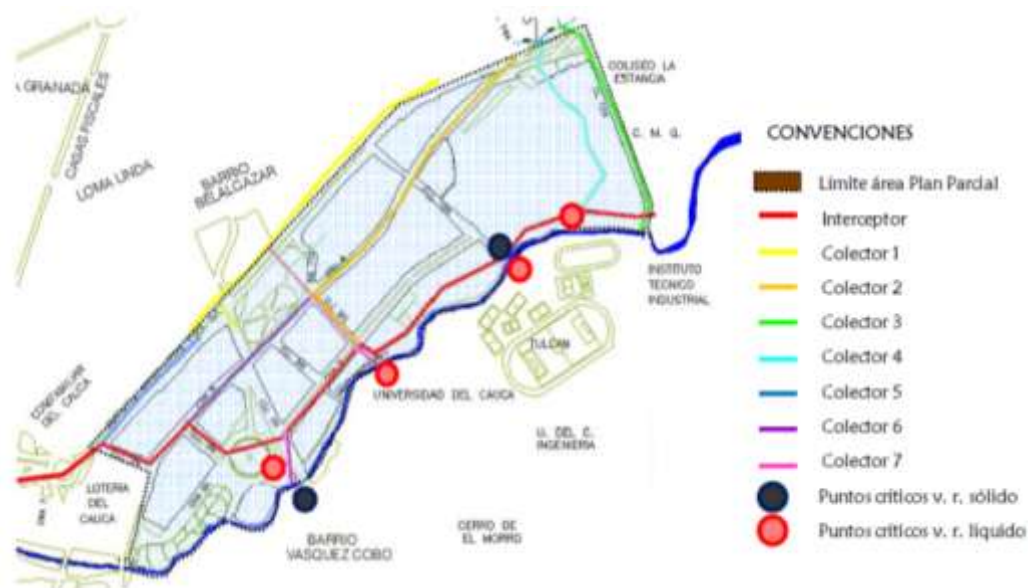
Fuente. [59]

Respecto al mismo tema, en el Plan Parcial del Barrio Bolívar [52], se realizó una observación bajo la metodología de percepción cualitativa, evidenciando las siguientes características:

- Color grisáceo de las aguas, a lo largo de todo el cauce de agua, lo cual puede ser indicativo de contaminación con aguas residuales domésticas, que presentan alta turbidez.
- Carencia de olores fétidos despedidos por el cuerpo de agua.
- Aspecto uniforme del cauce, con presencia de material vegetal y depósitos aluviales de tamaño heterogéneo, constituido por gravas, arenas y lodos.
- Material y desperdicios de origen antrópico visibles, con presencia de olor fétido sobre la ronda y taludes.
- Se pudo verificar que las salidas de los colectores de aguas lluvias, son utilizadas por indigentes como baño público, aportando así a la contaminación de las aguas.

Además, se determinaron puntos críticos de vertimientos (Figura 37), tanto sólidos como líquidos, que demuestran que el tramo objeto de estudio genera una alta disposición de residuos a la fuente hídrica que provocan directa o indirectamente su contaminación.

Figura 36. Puntos críticos de vertimientos en el área de estudio



Fuente. [52]

En el informe de caracterización de aguas superficiales y vertimientos líquidos de la ciudad de Popayán [60], la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán, S.A. E.S.P. y la CRC, expresan que el río Molino en el sector de Pueblillo presenta buenas características de calidad, de acuerdo a los resultados obtenidos en campo y laboratorio, buen oxígeno disuelto, baja DBO, pocos sólidos suspendidos y una baja carga de coliformes. Sin embargo, esta fuente hídrica en el sector del barrio Junín exhibe unas características de muy mala calidad, de acuerdo a los resultados obtenidos en campo y laboratorio, Oxígeno disuelto bajo, DBO alta, sólidos suspendidos altos, entre otras (Cuadro 31). Estas diferencias entre los dos puntos de muestreo y de acuerdo a los altos valores obtenidos en laboratorio para las variables DBO, DQO, SST, Coliformes, evidencia un fuerte impacto de aguas residuales domésticas sobre el río Molino, la cual por su caudal no tiene la capacidad de asimilación para la carga contaminante vertida.

Cuadro 30. Características fisicoquímicas del río Molino

Variable	Unidad	Resultados	
		Río Molino, Pueblillo	Río Molino, Barrio Junín
Caudal	L/s	307	486
pH	Unidad de pH	7.43	6.81
Conductividad	µS/cm	72.7	387
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.04	0.93
Color	UPC	18	520
Turbiedad	UNT	2.2	110
Nitratos	mg NO ₃ -N/L	0.76	6.21
Nitritos	mg NO ₂ -N/L	< 0.01	0.94
Dureza	mgCaCO ₃ /L	40.4	65.4
DBO ₅	mg/L	1.0	43.1
DQO	mg/L	< 15	96.0
SST	mg/L	< 5	44.0
Coliformes Totales	Ufc/100ml	17800	1.1E6
Coliformes Fecales	Ufc/100ml	100	410000

Fuente. [60]

10 ¿Si existe algún tipo de contaminación hídrica, su nivel de contaminación sería perjudicial para la salud de los seres humanos?.

Comparando los valores de los parámetros mostrados con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto 475 de 1998 sobre las normas técnica de calidad del agua potable, se tienen las siguientes consideraciones:

Con base a los parámetros fisicoquímicos, se evidencia que la cantidad de sólidos suspendidos totales, el pH, la conductividad, nitratos, y las condiciones generales son adecuadas. Sin embargo, características como el color, turbiedad y nitritos, superan los niveles admisibles para agua potable. También es de resaltar la importancia en la carga microbiológica del agua, ya que el nivel indicado excede la norma, lo cual denota una contaminación de origen fecal propia de aguas residuales domésticas.

Los resultados de la carga contaminante, dados en función de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y de la demanda química de oxígeno (DQO), no representan un significativo resultado de materia orgánica presente en la muestra, por cuanto los valores de referencia establecidos por la CRC deben ser para DBO menores a 7 mg/l46. Sin embargo, en el POT y el POMCH del río Molino se manifiesta que en estudios anteriores, la condición del agua del río induce a catalogarlo como punto crítico que merece especial interés y monitoreo con el fin de plantear futuras medidas de mitigación de efectos producidos por los procesos de urbanización y de descontaminación de sus aguas.

Según la OMS [61], las enfermedades relacionadas con el uso de agua incluyen aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua potable; enfermedades como la esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua; la malaria, cuyos vectores están relacionados con el agua; el ahogamiento y otros daños, y enfermedades como la legionelosis transmitida por aerosoles que contienen microorganismos.

11 ¿Se evidencia algún tipo de explotación de los recursos naturales? Tal como se mencionó en el apartado de características geológicas y usos de suelo para la vulnerabilidad física, en el recorrido por la ronda hídrica del río Molino en el tramo comprendido entre la calle 15 norte y la carrera 6, se pudo determinar que hay zonas con vegetación abundante y en muy buen estado, y por el contrario, hay otras zonas en las cuales la incidencia del ser humano ha hecho que se pierda total control sobre la cobertura necesaria para la ronda. Sin embargo, estas características no se deben a una explotación de los recursos naturales, sino a la intervención de la ronda hídrica por las actividades antrópicas urbanas.

A pesar de que el recorrido del río Molino por la zona urbana de Popayán, no se evidencia algún tipo de explotación de los recursos naturales, cabe mencionar que en la zona rural se realizan actividades de extracción de material de arrastre y tala de árboles, que pueden haber influenciado en los desastres ocurridos que afectaron en el Barrio Bolívar.

12 ¿Se practica la deforestación en el sector de estudio? En el tramo objeto de estudio no se evidenció el desarrollo actividades de deforestación, sin embargo, se observó la ejecución de podas anti técnicas y una inadecuada disposición de los restos vegetales provenientes de dicha actividad.

13 ¿Existe nivel de contaminación de los recursos naturales? (cuáles) Dentro de los recursos naturales estudiados, se encontró que el recurso hídrico es el más afectado por las actividades antrópicas desarrolladas en la zona, a tal punto que algunos parámetros de calidad de agua sobrepasan los niveles admisibles.

El recurso aire, se ve influenciado por la emisión de fuentes móviles, al ser una zona de alta influencia vehicular, y de fuentes fijas como las calderas del Hospital Universitario San José con el aporte de óxido de nitrógeno al aire.

Otra actividad de gran influencia en los recursos naturales es la inadecuada disposición de residuos sólidos y líquidos en el tramo de estudio al presentar vertimientos sin tratamiento de aguas residenciales y un espacio insuficiente, sin separación en la fuente de los residuos provenientes de las actividades principales de la plaza de mercado.

Teniendo en cuenta la información suministrada en los interrogantes de la ficha técnica anteriormente expuestos, se procedió a calificar cada una de las variables arrojando los siguientes resultados.

Cuadro 31. Calificación de las variables de vulnerabilidad ambiental

Variable	Calificación	Valor	Descripción
Condición atmosférica	MEDIA	2	Niveles de temperatura y/o precipitación ligeramente superiores al promedio normal
Composición y calidad del aire	BAJA	1	Sin ningún grado de contaminación
Composición y calidad del agua	ALTA	3	Con grado de contaminación, niveles perjudiciales para la salud
Condiciones de los recursos ambientales	BAJA	1	Nivel moderado de explotación de los recursos naturales, nivel de contaminación leve, no se practica la deforestación
	MEDIA	TOTAL VULNERABILIDAD AMBIENTAL	

Al promediar la calificación de cada una de las variables componentes de la vulnerabilidad ambiental, se determinó dar una valoración MEDIA para la vulnerabilidad ambiental en el tramo del río Molino comprendido entre la calle 15 norte y la carrera 6.

4.3.2.3 Vulnerabilidad total. La determinación de la vulnerabilidad total se realizó mediante la fórmula:

$$V_t = V_f + V_a$$

Donde, V_t = vulnerabilidad total

V_f = vulnerabilidad física

V_a = vulnerabilidad ambiental

Los resultados se exponen en el Cuadro 33.

Cuadro 32. Ponderación de la vulnerabilidad

Tipo de Vulnerabilidad	Variable	Calificación	Valor	Total / Vulnerabilidad	Total
Física	Antigüedad de las edificaciones.	ALTA	3	12	19
	Materiales de construcción y estado de conservación	BAJA	1		
	Cumplimiento de la normatividad vigente	ALTA	3		
	Características geológicas y tipo de suelo	MEDIA	2		
	Localización de las edificaciones respecto a fuentes de agua y zonas de riesgo identificadas	ALTA	3		
Ambiental	Condición atmosférica	MEDIA	2	7	
	Composición y calidad del aire	BAJA	1		
	Composición y calidad del agua	ALTA	3		
	Condiciones de los recursos ambientales	BAJA	1		

Según la metodología planteada, para un valor sumatorio de 19 puntos, la calificación de la vulnerabilidad del tramo del río Molino entre la calle 15 norte y la carrera 6 tiene una valoración MEDIA donde describe un sector que presenta inundaciones esporádicas, con construcciones con materiales de buena calidad en regular estado de conservación (Cuadro 34).

Cuadro 33. Valoración de la vulnerabilidad

VM Vulnerabilidad Media	Sectores que presentan inundaciones muy esporádicas, construcciones con materiales de buena calidad, en regular y buen estado de conservación.	15 - 20
----------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------

4.3.3 Análisis del riesgo. Con el análisis previo de los factores del riesgo, amenaza y riesgo, se procedió a calificar el riesgo a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Amenaza} + \text{Vulnerabilidad} = \text{Riesgo}$$

Para efectos de un análisis adecuado, se estructuró la matriz de riesgo relacionada en el cuadro 35.

Cuadro 34. Calificación del riesgo en el tramo de estudio

Amenaza = frecuencia (f)+intensidad (i)+territorio afectado (t)			Grado de peligrosidad y valoración de la amenaza	Análisis de vulnerabilidad = V.física (Vf) + V.ambiental (Va)		Grado de peligrosidad y valoración de la vulnerabilidad	Valoración del riesgo							
(f)	(i)	(t)		Vf	Va									
Baja	1	Media	2	Baja	1	Media	4	Alta	12	Media	7	Media	19	MEDIA

Respecto al cuadro anterior, se determinó que en el tramo del río Molino en la zona urbana del municipio de Popayán, comprendido entre la calle 15 norte y la carrera 6 presenta un riesgo de inundación MEDIO, es decir, que la probabilidad de que se presente regularmente es baja pero los episodios anteriores demuestran que la intensidad es moderada ya que ha causado altas pérdidas económicas y afectaciones en las redes de servicios públicos. Lo anterior, también se explica desde la vulnerabilidad, al presentarse en la zona una vulnerabilidad física alta, es decir, que la ronda hídrica en el tramo de estudio ha sido altamente intervenida.

Lo anterior demuestra que, al implementar acciones encaminadas a disminuir la vulnerabilidad física, existe la probabilidad de minimizar el riesgo en esta zona.

CONCLUSIONES

En la ronda hídrica del tramo del río Molino comprendido entre la calle 15 norte y la carrera 6 en la zona urbana del municipio de Popayán se identificó como principal amenaza, el evento de inundación dado los antecedentes históricos que señalan nueve (9) episodios con diferentes grados de afectación, siendo los de mayor intensidad los presentados en los años 1938, 2011 y 2013.

La calificación de la amenaza para el tramo de estudio obtuvo una valoración MEDIA, con frecuencia y territorio afectados de calificación baja y una intensidad moderada. Lo anterior, nos indica que la probabilidad de repetición del evento es baja, pero las afectaciones pueden significar altas pérdidas económicas en un territorio específico del área.

Se determinó que existe una vulnerabilidad MEDIA, en la cual hay una alta valoración para la vulnerabilidad física al encontrar zonas fuertemente intervenidas por las actividades comerciales y de servicios en el área. Además, en cuanto a la vulnerabilidad ambiental, se evidencia un manejo inadecuado de impactos ambientales, carencia de conexiones transversales sobre la ronda del río, la ausencia de un plan de manejo ambiental y la falta de apropiación de zonas verdes.

Mediante el análisis de los factores que componen el riesgo, se logró determinar que existe en el tramo objeto de estudio una probabilidad MEDIA de riesgo de desastre por inundación, siendo el factor con mayor valoración la vulnerabilidad física, lo que permite plantear la posibilidad de plantear acciones encaminadas a disminuir la vulnerabilidad física que minimicen el riesgo en el área.

El poder conocer qué tipo de eventos pueden presentarse en el futuro, aunque no se conozca con exactitud cuándo exactamente pueden ocurrir, es una actividad de

fundamental importancia para orientar, de tal manera que el impacto de dichos eventos sea el mínimo posible y que no signifiquen un trastorno para el desarrollo social y económico.

RECOMENDACIONES

El municipio de Popayán aún no cuenta con una estructura definida para el acopio de la información referente a la gestión del riesgo de desastres, lo que impide agilizar los estudios al respecto. Esto conlleva a recomendar el establecimiento de un centro de acopio de la información relacionada con los principales eventos de desastres en el municipio.

Dado que la mayoría de los eventos de inundación presentados en el tramo de estudio, según los antecedentes históricos, han ocurrido por avenidas torrenciales, se recomienda fortalecer los planes de mitigación en la zona alta y media de la cuenca del río Molino.

Con el propósito de disminuir el impacto ambiental en el recurso hídrico que esta fuente representa, es necesario establecer un plan de manejo ambiental en la ronda hídrica que contemple la ejecución de actividades con regularidad.

Según la información recolectada y analizada, el puente Vásquez Cobo representa un obstáculo para el flujo normal del cauce cuando se incrementa su volumen, por lo que se recomienda estudiar a futuro estrategias de modificación del puente.

Analizar la probabilidad de canalizar el río y construir muros de contención en el tramo de la calle 15 norte al puente Vásquez Cobo, con el fin de incrementar la velocidad de flujo que permita evitar inundaciones en la zona de mayor afectación del tramo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. C. Solanas, «Gestión del riesgo climático: mitigación, adaptación y transferencia,» de XVII Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública, Cartagena, 2012.
- [2] Ley No. 1523 de 2012. Política nacional de Gestión del Riesgo y Desastres
- [3] S. Avendaño, «Sobre el río Molino,» El Nuevo Liberal, p. 1, 11 Enero 2014.
- [4] M. Á. Gutierrez y A. R. Ayala, Hidrología Urbana: Efectos de la Impermeabilización en las Cuencas Urbanas de la Ciudad de Posadas, Argentina: Universidad Nacional del Nordeste, s.f..
- [5] Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) y Fundación pro cuenca río Las Piedras, Plan de ordenamiento y manejo de la subcuenca Río Molino - Quebrada Pubús, Popayán, 2006.
- [6] L. Recaman, «Acuerdo de voluntades Subcuenca Río Molino,» 2015.
- [7] Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., «Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P.,» s.f.. [En línea]. Available: <http://www.acueductopopayan.com.co/gestion-ambiental/fundacion-procuenca-rio-las-piedras/fuentes-de-abastecimiento/cuenca-molino/>. [Último acceso: Abril 2015].
- [8] Fundación pro cuenca río Las Piedras - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), «Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático en la Parte Media y Alta de la Subcuenca Rio Molino Municipio de Popayán,» 2010.

- [9] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), «Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático,» 2010.
- [10] A. Lavell, «Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición,» Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, 2004.
- [11] Alcaldía Municipal de Popayán, «División Ambiental,» de Plan de Ordenamiento Territorial, Popayán, 2002.
- [12] Alcaldía Municipal de Popayán, «Plan de Ordenamiento Territorial,» de Crecimiento Urbano, Tramas y Morfología, Popayán, 2002.
- [13] A. MENDOZA, «Sistema de alerta temprana comunitario cuenca Río Molino, Popayán-Cauca,» Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Popayán, Cauca, 2014.
- [14] Centro Humbolt, Consejería en proyectos (PCS) & OXFAM International, «Fundamentos conceptuales de la gestión del riesgo,» de El ABC de la Gestión de Riesgos., Colombia, 2004, p. 4.
- [15] S. Mora, «The impact of Natural Hazards on Socioeconomic Development in Costa Rica. Bull.,» Environmental & Engineering Geoscience, vol. No. 3, pp. 291-298, 1995.
- [16] M. Mora y R. Barrios, «Estrategia, política y práctica para reducir el riesgo ante los peligros naturales y la vulnerabilidad,» XVI Seminario Venezolano de Geotecnica, 2000.
- [17] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, «Historia del sistema nacional para la atención y prevención de desastres,» 2014. [En

- línea]. Available:
<http://www.gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/pagina.aspx?id=79>. [Último
acceso: 29 Enero 2016].
- [18] G. Duque-Escobar, Gestión del riesgo y el caso de Colombia, U. N. d. Colombia, Ed., Manizales, 2008.
- [19] Á. Cordoba, «La silenciosa caída del puente del Humilladero,» Agenda propia, 27 Marzo 2012.
- [20] Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., «Cuenca Pisojé,» s.f.. [En línea]. Available: <http://www.acueductopopayan.com.co/gestion-ambiental/fundacion-procuenca-rio-las-piedras/fuentes-de-abastecimiento/cuenca-pisoje/>. [Último acceso: 04 diciembre 2016].
- [21] CRC, «Implementación de acciones de restauración ecológica, como aporte a la gestión del riesgo para la prevención de desastres, en la cuenca Río Molino - Municipio de Popayán - Departamento del Cauca,» Subdirección de Gestión Ambiental, Popayán, Cauca, 2014.
- [22] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Popayán ya cuenta con Sistema de Alerta Temprana para inundaciones, Colombia, 2015.
- [23] A. AGUDELO, «Visita técnica a Pueblillo,» INGEOMINAS, Popayán, 1991.
- [24] P. TORRES, «Visita técnica a la cuenca del Río Molino,» INGEOMINAS, Popayán, 2000.
- [25] CRC, «Análisis de la amenaza por avenidas torrenciales en la cuenca del Río Molino,» Popayán, Cauca, 2014.

- [26] IDEAM, «Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático,» 2010.
- [27] Banco Mundial - Sistema Nacional para la prevención y atención de desastres, Guía Municipal para la gestión del riesgo, Bogotá D.C., 2010, p. 6.
- [28] Fundación pro cuenca río Las Piedras - PNUD, «Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático en la Parte Media y Alta de la Subcuenca Rio Molino Municipio de Popayán,» 2010.
- [29] Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo Colombia (PNUD) & Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), Guía metodológica para la elaboración de planes departamentales para la gestión del riesgo, Colombia: PNUD, 2012.
- [30] Ley 1523 de 2012. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.
- [31] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, ABC Gestión del Riesgo, Colombia, 2013.
- [32] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, «Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres,» Unidad Nacional para la gestión del riesgo de desastres, s.f.. [En línea]. Available: http://issuu.com/ungrd/docs/abc_gestionriesgo_edici__n3/3?e=0/4894277. [Último acceso: 5 Abril 2015].
- [33] G. Wilches Chaux, Auge, caída y levantada de Felipe Pinillo, mecánico y soldador o yo voy a correr el riesgo. Guía de La Red para la Gestión Local del Riesgo., La Red, 1998.

- [34] Corporación Autónoma Regional del Cauca, «Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hídrica del Río Molino-Pubus,» de Diagnóstico, Popayán, 2013, p. 67.
- [35] Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA), Determinantes y asuntos ambientales a considerar en los planes de ordenamiento territorial, Tolima, 2013.
- [36] Constitución Política, 1991.
- [37] Fundación Secretos para Contar, «Colombia y su biodiversidad,» 2011. [En línea]. Available: http://www.secretosparacontar.org/Lectores/Contenidosytemas/Colombiaysu_biodiversidad.aspx?CurrentCatId=110. [Último acceso: 9 Enero 2016].
- [38] Federación Nacional de Cafeteros, «Cauca, denominación de origen,» 2010. [En línea]. Available: http://cauca.cafedecolombia.com/es/cauca/el_departamento/informacion_general_de_cauca/. [Último acceso: 9 Enero 2016].
- [39] Alcaldía de Popayán, «Nuestra geografía,» s.f.. [En línea]. Available: <http://popayan.gov.co/ciudadanos/popayan/nuestra-geografia>. [Último acceso: 9 Enero 2016].
- [40] CRC - Fundación pro cuenca río Las Piedras, Plan de ordenamiento y manejo de la subcuenca río Molino - quebrada Pubús, Popayán, 2006.
- [41] Ley 1523 de 2012. Política de Gestión del Riesgo y Desastres

- [42] Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.
- [43] A. Perez, «La integración de la gestión de riesgos en la gestión del desarrollo local desde la perspectiva de la vulnerabilidad ambiental en los territorios,» Desarrollo Local Sostenible - DELOS, vol. 5, nº 13, 2012.
- [44] Universidad del Cauca y Alcaldía Municipal de Popayán, Estudio preliminar (afectación y daños) asociados a fenómenos de inundación lenta y súbita (avenida torrencial) en la zona urbana y rural el municipio de Popayán, Popayán: Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Hidráulica, 2015.
- [45] J. González, O. Chávez y M. Hermelín, Aspectos geomorfológicos de la avenida torrencial del 31 de enero de 1994 en la cuenca del Río Fraile y sus fenómenos asociados, Desastres de origen natural en Colombia 1979-2004., Medellín: Universidad Eafit, 2005.
- [46] Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y Alcaldía de Popayán, Implementación de fase II de fase de mitigación de amenaza por avenida torrencial como aporte a la gestión del riesgo para la prevención de desastres, en la cuenca del Río Molino - Municipio de Popayán - Departamento del Cauca, Popayán, 2016.
- [47] Corporación Autónoma Regional del Cauca, Comité Local Prevención y Atención de Desastres, Instituto Colombiano de Geología y Minería y Fundación Procuencia Río Las Piedras, Evaluación preliminar del evento de

inundación subcuenca Río Molino, Municipio de Popayán, Cauca, Popayán: Municipio de Popayán, 2011.

- [48] Corporación Autónoma Regional del Cauca, Instituto Nacional de Vías, Alcaldía Municipal de Popayán, Gobernación del Cauca, Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. y Fundación Procuenca Río Las Piedras, Eventos presentados en la subcuenca del Río Molino - Municipio de Popayán, Departamento del Cauca, 2013.
- [49] M. Pachajoa Burbano, «Popayán: inundación de 1938,» 15 Julio 2013. [En línea]. Available: <http://mariopbe.com/a3inu.htm>. [Último acceso: 22 Octubre 2015].
- [50] El Tiempo, «Un Muerto dejó inundación en Popayán,» Archivo, 06 Febrero 1996.
- [51] M. E. Guevara, «HIDRONOTAS. Continuación Inundaciones del Río Molino en el siglo XX,» Departamento de Hidráulica. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad del Cauca, s.f.. [En línea]. Available: <file:///F:/NUEVO%20RIO%20MOLINO/REFERENTES/Resultados/Info%20Eventos/Evento%201996.html>. [Último acceso: 11 Septiembre 2016].
- [52] Oficina de Planeación - Alcaldía Municipal de Popayán, Plan parcial del Barrio Bolívar, Popayán: CIDETER Ltda, 2010.
- [53] A. I. Olano, «Los suelos han perdido capacidad de filtración y almacenamiento,» La Campana, 21 Abril 2014.
- [54] Noticias RCN, «Una creciente súbita afecto 14 barrios en Popayán,» 25 Diciembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.noticiasrcn.com/nacional->

regiones-pacifico/una-creciente-subita-afecto-14-barrios-popayan. [Último acceso: 22 Octubre 2015].

- [55] Instituto Geológico Agustín Codazzi, Mapa de la Ciudad de Popayán en 1961, Popayán, 2016.
- [56] Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Reglamento Colombiano de Construcción sismo resistente, Colombia, 2010.
- [57] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Estación meteorológica Guillermo León Valencia, Popayán, 2015.
- [58] Universidad del Cauca, Estación Meteorológica, Popayán: Facultad de Ingeniería civil, 2015.
- [59] Acueducto y Alcantarillado de Popayán, Análisis de calidad de agua del río Molino, Popayán, 2009.
- [60] Corporación Autónoma Regional del Cauca, CRC y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán, Informe de caracterización de aguas superficiales y vertimientos líquidos de la ciudad de Popayán, Popayán: CRC, 2016.
- [61] Organización Mundial de la Salud, Agua, saneamiento y salud, 2016.
- [62] Ley 1450 de 2011. Plan Nacional de Desarrollo
- [63] Ley 1450 de 2011. Plan Nacional de Desarrollo
- [64] Ley 2811 de 1974. Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y protección al Medio Ambiente.

- [65] República de Colombia, Ley 1450 de 2011, Colombia, 2011.
- [66] República de Colombia, Ley 2811 de 1974, Colombia, 1974.
- [67] Decreto 1640 de 2012. Reglamenta los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferas.
- [68] H. Valdivia y D. Núñez, «EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL DE TIPO FÍSICO NATURAL Y SU RELACIÓN CON EL PLANEAMIENTO URBANO. CASO: DISTRITO DE COMAS,» Instituto de Investigación FIGMMG, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, vol. 7, nº 13, pp. 45-57, 2004.
- [69] Corporación autónoma regional de las cuencas de los ríos Negro-Nare (CORNARE) - Gobernación de Antioquia , Evaluación y zonificación de riesgos por avenida torrencial, inundación y movimientos en masa y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de San Roque, Antioquia: Municipio de San Roque, 2012.
- [70] La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, «Terminología sobre Reducción de Riesgo de Desastres 2009 para los conceptos de Amenaza, vulnerabilidad y riesgo.,» 2009. [En línea]. Available:
http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&id=84&layout=blog&Itemid=111&lang=es. [Último acceso: 02 Mayo 2015].
- [71] El Tiempo, «Emergencia en Popayán por desbordamiento del río Molino,» Archivo, 25 Diciembre 2013.