

FORTALECIMIENTO AL PROYECTO DE  
FORMULACIÓN ADOPCIÓN E IMPLEMENTACIÓN  
DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL  
POT DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA,  
SANTANDER.

**CONTRATO No. 3349-17**

ESTUDIO DE RIESGO Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO POR  
INUNDACIÓN EN EL ÁREA RURAL Y URBANA DEL MUNICIPIO DE  
BARRANCABERMEJA

Volumen II: Estudio del Área Urbana

*Barrancabermeja, Santander, Colombia - Febrero 2018*



BARRANCABERMEJA  
ES POSIBLE



## Gestores del Proyecto

**Darío Echeverri Serrano**

Alcalde Municipio de Barrancabermeja 2016-2019,  
Municipio de Barrancabermeja

**Elizabeth Lobo Gualdrón**

Asesora de Planeación  
Oficina Asesora de Planeación, Barrancabermeja

## Autores

**Gabriel Alberto Bayona Fetecua**

Geólogo, Universidad EAFIT • Magíster en Ciencias de la Tierra. Universidad EAFIT • Director de Proyecto,  
SAGGES S.A.S. • info@sagges.com.

**Andrés Felipe Duque Pérez**

Ingeniero Civil, Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia • Magíster En Ingeniería - Aprovechamiento De  
Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín • Coordinador de ingeniería hidrología,  
SAGGES S.A.S.

## Colaboradores

**Christian Camilo Herrera Uribe**

Ingeniero Civil, Universidad de Medellín • Especialista en Vías y Transporte, Universidad Nacional de Colombia  
•Ingeniero Especialista.

**Jhon Tylor Herrera Rodriguez,**

Ingeniero Civil, Universidad Industrial de Santander • Ingeniero Civil, SAGGES S.A.S

**Fabio Arley Barreto Iriarte,**

Ingeniero Civil, Universidad Industrial de Santander • Ingeniero Civil, SAGGES S.A.S.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	8
1 GENERALIDADES.....	10
1.1 Localización del Área de Estudio.....	10
1.1.1 Localización General.....	10
1.1.2 Descripción General de los Principales Sistemas Lénticos y Lóticos .....	11
1.1.3 Área de Estudio .....	13
1.2 Objetivos .....	14
1.2.1 Objetivo General.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos .....	14
1.2.3 Alcance del Estudio .....	15
1.2.4 Descripción de Actividades .....	15
2 MARCO CONCEPTUAL.....	16
2.1 Introducción .....	16
2.2 Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA).....	18
2.3 Análisis de Árbol de Eventos .....	21
2.4 Enfoque de Matriz de Riesgo.....	22
2.5 Enfoque Basado en Indicadores .....	23
2.6 Selección de la Metodología a Implementar .....	24
3 EVALUACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIÓN.....	26
3.1 Implementación de la Metodología de Matriz de Riesgo .....	26
3.1.1 Resultados .....	27
3.1.2 Zonas con condición de riesgo .....	29
3.1.3 Zonas con condición de amenaza .....	30
3.2 Caracterización de Eventos Amenazantes .....	31
3.2.1 Crecientes rápidas .....	32
3.2.2 Crecientes lentas .....	33
3.2.3 Consideraciones sociales.....	34
3.2.4 Unidades de Análisis.....	36
4 GESTIÓN DEL RIESGO .....	38
4.1 Medidas Generales para la Mitigación del Riesgo y la Amenaza .....	38
4.1.1 Medidas de prevención .....	39
4.1.2 Medidas de mitigación .....	42
4.2 Zonificación para la implementación de medidas de mitigación .....	45
4.2.1 Medidas generales .....	46
4.2.2 Cuenca Quebrada Las Lavanderas.....	47
4.2.3 Cuenca Quebrada Las Camelias .....	50
4.2.4 Cuenca Quebrada Pozo Siete.....	53
4.2.5 Cuenca Quebrada Zona Expansión Sur (Sin Nombre 1).....	56

4.2.6	Cuenca Quebrada Sin Nombre 2 .....	58
4.2.7	Cuenca Quebrada Sin Nombre 3 .....	61
4.2.8	Cuenca Quebrada Sin Nombre 4 .....	64
4.2.9	Cuenca Quebrada Sin Nombre 5 a 9 .....	67
4.2.10	Cuenca Ciénaga de San Silvestre .....	68
4.2.11	Cuenca Ciénaga de Juan Esteban .....	72
4.2.12	Cuenca Humedal El Castillo .....	74
4.2.13	Cuenca Río Magdalena.....	77
4.3	Jerarquización de zonas con condición de Amenaza y Riesgo .....	79
4.4	Marco general para el desarrollo de estudios detallado.....	80
4.4.1	Decreto 1077 de 2015.....	80
4.4.2	Condiciones específicas para la modelación hidrológica e hidráulica .....	81
4.4.3	Metodología para la evaluación del riesgo .....	81
4.4.4	Consideraciones sobre cambio climático.....	81
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
6	BIBLIOGRAFÍA .....	89

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1	Localización general del municipio de Barrancabermeja .....	10
Figura 1.2	Localización general del perímetro urbano y zonas de expansión.....	11
Figura 1.3	Área de estudio .....	14
Figura 2.1	Representación esquemática del riesgo.....	16
Figura 2.2	Principales componentes de las metodologías para la cuantificación del riesgo .....	18
Figura 2.3	Representación esquemática del método de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA).....	19
Figura 2.4	Método para incluir la incertidumbre al método de Evaluación Cuantitativa del Riesgo.....	21
Figura 2.5	Esquematación del modelo de Análisis de Árbol de Eventos.....	22
Figura 2.6	Matriz frecuencia-consecuencia para la evaluación del riesgo mediante el Enfoque de Matriz de Riesgo.....	23
Figura 2.7	Esquematación del Enfoque Basado en Indicadores.....	24
Figura 3.1	Matriz frecuencia-consecuencia para la evaluación del riesgo mediante el Enfoque de Matriz de Riesgo.....	26
Figura 3.2	Clasificación del riesgo para persona en el área urbana del municipio de Barrancabermeja .....	28
Figura 3.3	Clasificación del riesgo para edificaciones en el área urbana del municipio de Barrancabermeja .....	29
Figura 3.4	Zonas con condición de riesgo .....	30
Figura 3.5	Localización de las cuencas urbanas .....	32
Figura 4.1	Medidas para la gestión del riesgo por inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa.....	39
Figura 4.2	Esquema general de un tanque de tormenta .....	42
Figura 4.3	Recuperación fluvial de un cauce .....	44
Figura 4.4	Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Lavanderas .....	47
Figura 4.5	Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Las Camelias.....	50
Figura 4.6	Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Pozo Siete .....	53
Figura 4.7	Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Zona Expansión Sur .....	56
Figura 4.8	Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Sin Nombre 2 .....	58
Figura 4.9	Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Sin Nombre 3 .....	61
Figura 4.10	Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Sin Nombre 4 .....	64
Figura 4.11	Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Sin Nombre 5 a 9 .....	67

Figura 4.12	Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la Ciénaga San Silvestre .....	68
Figura 4.13	Condiciones de entrega del drenaje urbano en condiciones normales .....	70
Figura 4.14	Condiciones de entrega del drenaje urbano en condiciones de contraflujo ..	71
Figura 4.15	Condiciones de entrega del drenaje urbano con el sistema propuesto .....	71
Figura 4.16	Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de Ciénaga Juan Esteban .....	72
Figura 4.17	Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca del Humedal El Castillo .....	74
Figura 4.18	Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca del Río Magdalena ..	77
Figura 4.19	Cambios en la temperatura según IDEAM (2015) para los períodos 2011-2100 .....	82
Figura 4.20	Cambios en la precipitación según IDEAM (2015) para los períodos 2011-2100 .....	83
Figura 4.21	Tendencia de los eventos de precipitación de más de 20 mm al día .....	83
Figura 4.22	Análisis de la serie de niveles de la estación Puente Ferrocarril (río Opón)..	85
Figura 4.23	Análisis de la serie de niveles de la estación Puente Sogamoso .....	85
Figura 4.24	Análisis de la serie de niveles de la estación Maldonado .....	86
Figura 4.25	Análisis de la serie de niveles de la estación Peñas Blancas .....	86
Figura 4.26	Análisis de la serie de niveles de la estación Puente Ferrocarril (ciénaga San Silvestre) .....	87
Figura 4.27	Análisis de la serie de niveles de la estación Barrancabermeja Automática ..	87

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1	Escalas de análisis del riesgo relacionadas con objetivos y metodologías....	17
Tabla 2.2	Ventajas y desventajas de las metodologías para la evaluación del riesgo descritas.....	24
Tabla 3.1	Categorización de amenaza por inundación .....	26
Tabla 3.2	Descripción de clasificación de la vulnerabilidad de edificios .....	27
Tabla 3.3	Clasificación de la vulnerabilidad de personas .....	27
Tabla 3.4	Tiempo de concentración estimado para todas las cuencas estudiadas .....	33
Tabla 4.1	Nivel de priorización de estudios detallados .....	79
Tabla 4.2	Tendencia de los eventos de precipitación de más de 20 mm al día .....	84

## INTRODUCCIÓN

La gestión del riesgo es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de las políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible.

Mediante la ley 1523 de 2012, en la cual el gobierno de Colombia adopta la política nacional de riesgo, se constituye la gestión del riesgo como una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental sostenible, en todos los niveles del gobierno y la efectiva participación de la población.

Posteriormente con la implementación del decreto 1807 de 2014, siguiendo lo estipulado en el artículo 189 del decreto de ley 019 de 2012, se establecen los alcances, metodologías, información base y escalas de trabajo para la implementación de la gestión de riesgo en los planes de ordenamiento territorial, teniendo en cuenta las determinaciones del artículo 9 de la Ley 388 de 1997. Éste es incorporado al Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio mediante el decreto 1077 de 2015.

Al incorporar la gestión del riesgo al POT, definida como la herramienta para la planificación del territorio de cada municipio, se adicionan nuevos elementos y nuevo conocimiento, para una planeación, de corto y largo plazo, enmarcada en el desarrollo sostenible; contribuyendo efectivamente a la seguridad, el bienestar y el mejoramiento en la calidad de vida de las personas.

En el desarrollo de este proyecto, teniendo en cuenta los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015, se realiza la zonificación del riesgo de origen hidrológico (inundaciones y avenidas torrenciales) en el área rural y urbana del municipio de Barrancabermeja, la cual puede ser utilizada como una herramienta fundamental en la planificación de su territorio. Este estudio incluye un análisis de los factores antrópicos que pueden influir directamente sobre el riesgo de la población y la infraestructura.

Con el objetivo de describir detalladamente las metodologías utilizadas, la información base utilizada y los resultados del estudio de amenaza por inundación y avenidas torrenciales, el presente documento se estructura de la siguiente manera:

- **VOLUMEN I: ESTUDIO DEL ÁREA RURAL**
- **VOLUMEN II: ESTUDIO DEL ÁREA URBANA**
  - **Capítulo 1 - Generalidades:** se presenta la localización general del área de estudio, los objetivos y alcances definidos.
  - **Capítulo 2 - Marco Conceptual:** se presenta el marco teórico para la evaluación del riesgo, se discuten diferentes métodos para su cuantificación y se selecciona la metodología más adecuada según la información disponible y los alcances definidos en el acuerdo 1077 de 2015.
  - **Capítulo 3 - Análisis del Riesgo por Inundación:** se implementa la metodología definida sobre el área urbana, determinando las zonas con condición de riesgo y amenaza por inundación. Se realiza una caracterización de los eventos amenazantes que generan el riesgo con el objetivo de poder determinar medidas de reducción de la amenaza que se ajusten a las situaciones particulares de las unidades de análisis definidas.



- **Capítulo 4 – Gestión del Riesgo:** se plantean una serie de medidas de reducción del riesgo enfocadas a prevenir y mitigar la amenaza y la vulnerabilidad sobre cada una de las unidades de análisis definidas. Se jerarquiza la prioridad para el desarrollo de estudios de detalles y se definen las consideraciones mínimas que estos deberán tener al momento de su ejecución, teniendo en cuenta un componente de cambio climático.
- **Capítulo 5 – Conclusiones y Recomendaciones:** se presentan las principales conclusiones del estudio.

# 1 GENERALIDADES

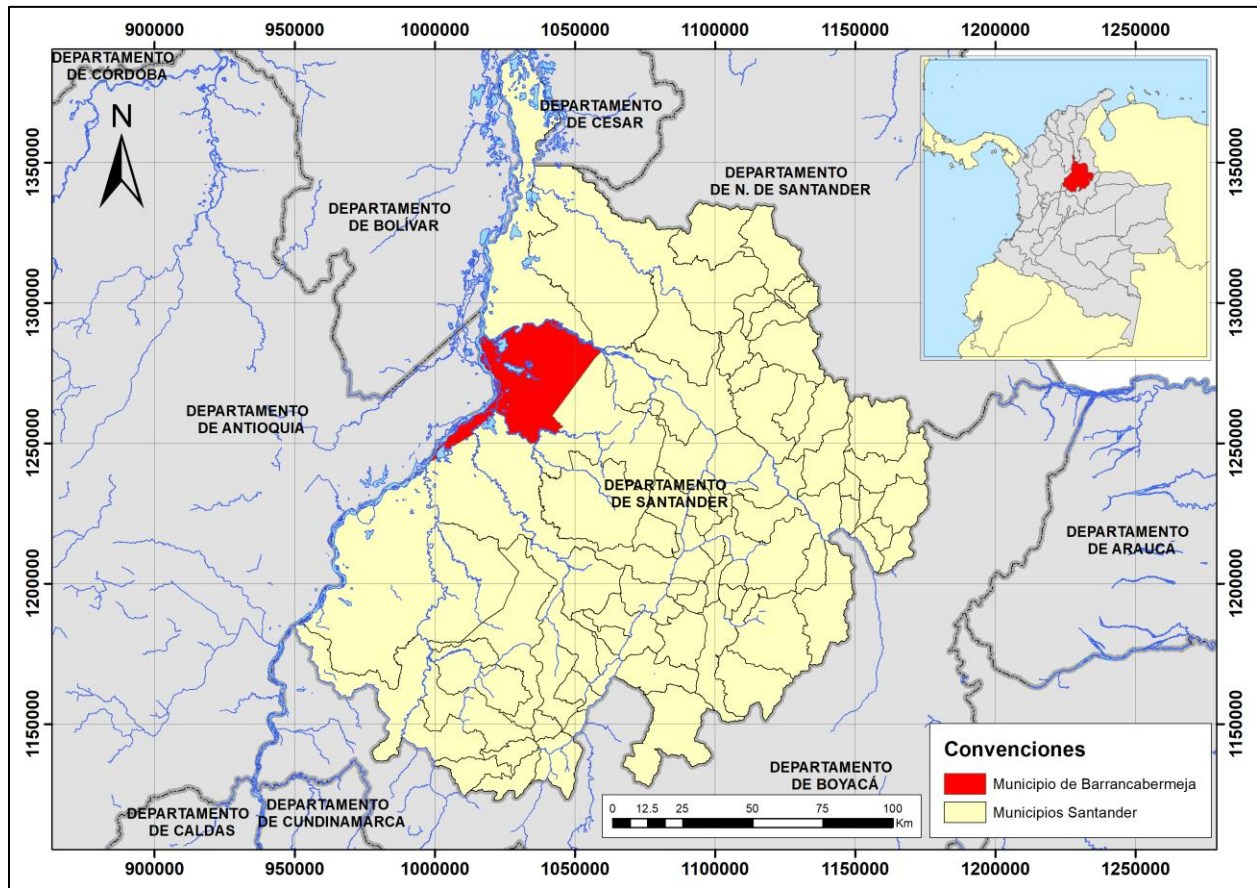
En el presente capítulo se describe la localización general del área de estudio, se realiza una descripción de los sistemas lénticos y lóticos en dicha área con el objetivo de delimitar el área objeto del estudio de amenaza por inundación y avenidas torrenciales. Posteriormente, se definen los objetivos generales y específicos, así como el alcance del estudio.

## 1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

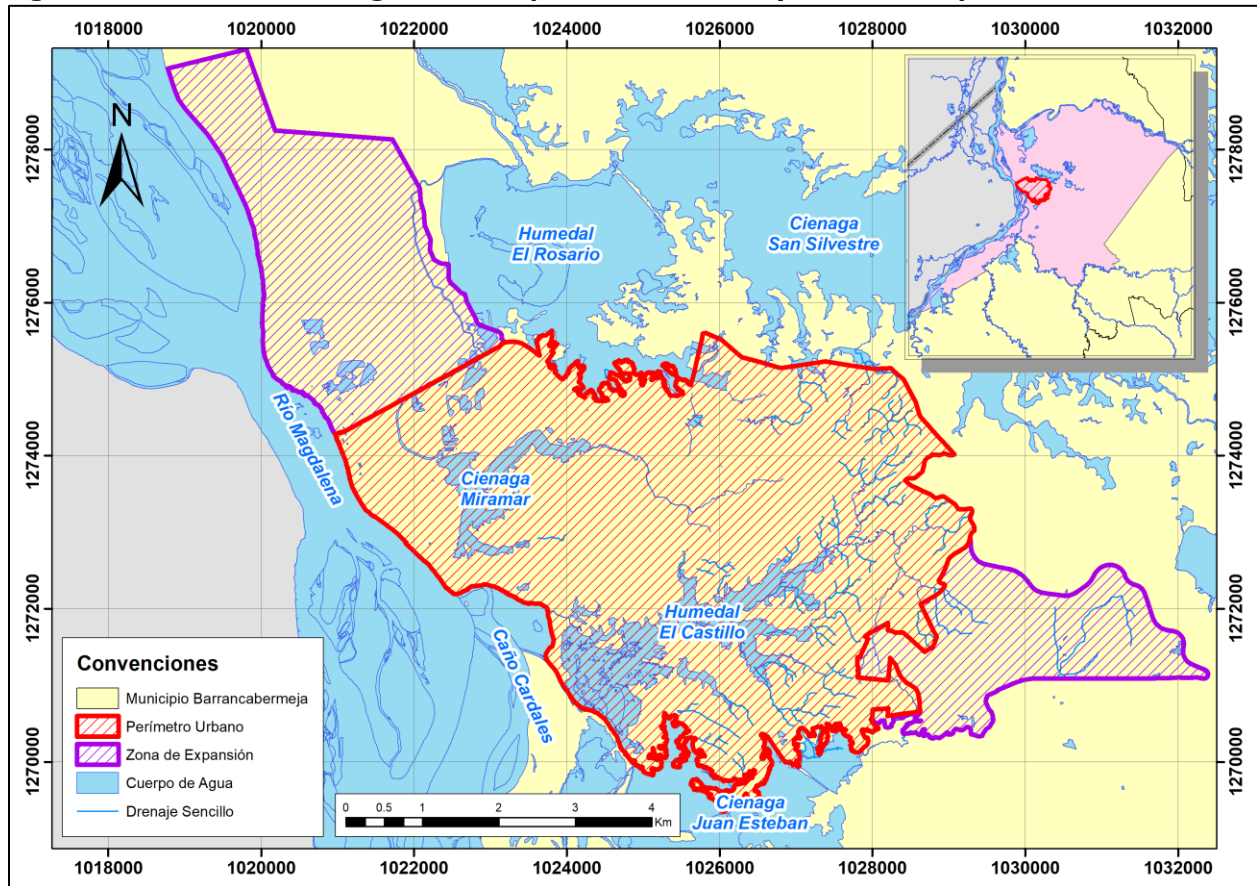
### 1.1.1 Localización General

El municipio de Barrancabermeja se encuentra localizado en la zona nororiental del país en el Departamento de Santander; está ubicada a 120 km al occidente de Bucaramanga, a orillas del Río Magdalena, en la región del Magdalena Medio, siendo el municipio más importante de ésta y segundo en todo el departamento. Limita al Norte con el municipio de Puerto Wilches, al Sur con los municipios de Puerto Parra, Simacota y San Vicente de Chucurí, al Oriente con el municipio de San Vicente de Chucurí y Girón, y al Occidente con el Río Magdalena.

**Figura 1.1 Localización general del municipio de Barrancabermeja**



**Figura 1.2 Localización general del perímetro urbano y zonas de expansión**



### 1.1.2 Descripción General de los Principales Sistemas Lénticos y Lóticos

Barrancabermeja está situada en el valle del Magdalena, en la margen derecha del río que da nombre al valle. Está rodeado de una gran cantidad de cuerpos lénticos y lóticos los cuales generan los eventos de inundaciones y avenidas objeto del presente estudio. En el Volumen I de este estudio, se presenta una descripción completa de la dinámica fluvial en todo el municipio de Barrancabermeja.

Dentro del área urbana se pueden encontrar numerosas corrientes entre las que destacan las quebradas Pozo Siete, Lavanderas y Las Camelias. El comportamiento de dichas corrientes se encuentra estrechamente relacionado con otros cuerpos de agua lénticos y lóticos de mayor orden de magnitud, como es el caso del humedal El Castillo que define las condiciones de descarga la quebrada Pozo Siete; la ciénaga Miramar recibe las aguas de las quebradas Las Lavanderas y Las Camelias.

Las inundaciones en el área occidental del perímetro urbano están definidas por las crecientes del río Magdalena, mientras que en la zona sur están relacionadas con los niveles en la ciénaga de Juan Esteban, Humedal El Castillo y El Caño Cardales, que a su vez dependen del régimen de caudales del río Magdalena.

Por otra parte, Las inundaciones en el área norte y noreste del perímetro urbano son controladas por los niveles de la ciénaga El Rosario y ciénaga de San Silvestre, las cuales se comunican a través del caño el rosario; y sus niveles están influenciados por el río Sogamoso.

- Quebrada Pozo Siete

Con un área de 8,9 km (hasta el sitio de cruce con la vía de entrada al casco urbano), es la corriente de mayor orden en el área urbana del municipio. Recorre el casco urbano en sentido oeste y la longitud de su cauce principal es de 7 km, el cual descarga sus aguas en el humedal el castillo.

- Quebrada Las Camelias

La quebrada Las Camelias se caracteriza por tener un grado de intervención antrópica cercano al 100%. La presión sobre el cauce ha sido tal, que sus aguas discurren por un canal artificial con viviendas ubicadas sobre el borde este. Recibe las aguas servidas de los barrios por donde discurre por lo que la calidad del agua es una problemática latente. Tiene un área de 4,2 km<sup>2</sup> y descarga sus aguas a la ciénaga Miramar a través de un cauce de 6,3 km.

- Humedales y Ciénagas

Las ciénagas son elemento constituyente básico del plano inundable, por tal razón sus formas y tamaños considerados en un año hidrológico, son función del nivel del agua en el sistema.

Las estructuras orgánicas de las ciénagas permiten agruparlas en 4 tipos:

**Ciénaga de tipo 1:** Es una ciénaga simple y primaria, conectada directamente con el río.

**Ciénaga de tipo 2:** Es el Conjunto o racimo de ciénagas, consiste en una ciénaga primaria (conectada directamente con el río) y una o más ciénagas secundarias conectadas directamente o indirectamente con la ciénaga primaria.

**Ciénaga tipo 3:** Una ciénaga primaria conectada indirectamente con el río.

**Ciénaga tipo 4:** Ciénaga aislada, sin conexión con el río.

En el área urbana se encuentran las ciénagas Miramar y Juan Esteban, las cuales se hayan en la actualidad en un alto grado de contaminación, merced a los vertimientos que reciben, producto de actividades humanas y actividades industriales (aguas servidas). Estas ciénagas fueron ecosistemas naturales, de alto potencial turístico y pesquero que generaban sustento a los habitantes de la región.

Dentro de las principales ciénagas y humedales localizados dentro o cerca del perímetro urbano del municipio de Barrancabermeja se tienen.

- **Ciénaga El Castillo**

El área está conformada por terrazas antiguas disecadas, sobre las que se asienta el municipio de Barrancabermeja y el Valle aluvial actual, compuesto por diques medios y bajos.

Sobre las terrazas, los ecosistemas terrestres se encuentran totalmente reemplazados por la zona urbana del municipio de Barrancabermeja y por praderas de pastos para la ganadería; en el valle aluvial reciente, los bacines más profundos alojan un complejo de ciénagas que permanecen con agua todo el año o la mayor parte de él; algunas de estas áreas inundadas, tienen gran extensión y mayor profundidad, es el caso de las Ciénagas de San Silvestre o la de Juan Esteban las cuales alcanzan profundidades hasta de unos seis metros.

El humedal, El Castillo es un sistema complejo de pantanos y esteros cuyo nivel de agua promedio anual es de 3,5 m. El nivel menor alcanzado en la época de sequía es de 1,5 metros, desaguan hacia el río Magdalena a través de drenajes menores que llegan al caño Cardales (Barrancabermeja, 2002).

- **Ciénaga de Juan Esteban**

El área de la ciénaga está ubicada en el suroriente de Barrancabermeja, con un espejo de agua de aproximadamente 10 Ha.

El área de la cuenca que drena a la ciénaga es de aproximadamente 120 hectáreas, donde el Caño La Cira es el principal afluente. Otros caños como el Agua Blanca y el Verdum que se encuentran sedimentados y taponados como resultado de la contaminación causada por los asentamientos humanos en la periferia del cuerpo de agua.

El caño eferente llamado Juan Esteban gestor del caño Cardales presenta problemas de sedimentación en épocas de verano que a veces es imposible entrar por este camino a la ciénaga según los pescadores y habitantes de la región.

Los habitantes de la zona son de bajos recursos económicos, algunos residen en los barrios periféricos de Barrancabermeja, la situación económica les ha conllevado a disponer de los recursos naturales de una forma inapropiada, causando la destrucción casi total de la vegetación y el desplazamiento de especies faunísticas de la región que se han desplazado a otros ambientes naturales.

La mayor parte de la vegetación ha sido reemplazada por pastizales y para el uso de la agricultura. Esto ha permitido grandes deslizamientos de suelo por escorrentía causados por el agua de lluvia que sin duda permite el avance de la erosión incontrolable. Este desplazamiento y la caza está por terminar lo poco que queda de fauna fuertemente amenazadas en los últimos años (Barrancabermeja, 2002).

- **Ciénaga El Llanito y San Silvestre**

Se encuentran ubicada en una depresión inundable, sobre el margen derecho del río Magdalena, en el municipio de Barrancabermeja y a la confluencia del río Sogamoso. Esta ciénaga está formada por un sistema de cuerpos de agua, que están unidos por estrechos caños, constituyendo un área aproximada de 280 hectáreas. Los caños Jeringas y el Llanito alimentan la ciénaga con las aguas provenientes de los terrenos ondulados de origen petrolero, el caño de Jeringas se encuentra parcialmente obstruido disminuyendo su aporte a la ciénaga.

Es importante destacar la estrecha relación que existe con la Ciénaga San Silvestre, esta cubre un área de 9 Km<sup>2</sup> está unida a otras ciénagas como La Brava, El Zarzal y El Sábalo; este sistema es alimentado por las aguas provenientes de los caños Zarzal, La Tigra, La Vizcaína, esta última proveniente de los caños petroleros.

Esta ciénaga vierte sus aguas al río Sogamoso por el caño San Silvestre, el cual a cincuenta metros aproximadamente de su desembocadura, se le unen las aguas de la ciénaga El Llanito. Estos humedales forman un sistema amortiguador de las crecientes durante la época de lluvias de los ríos Sogamoso y Magdalena siendo visibles los procesos de refugio y remanso, dándose la inundación de la cuenca. Hay una clara influencia del caño el Rosario el cual vierte sus aguas contaminantes provenientes de los afluentes industriales de la petroquímica de Barrancabermeja; determinando el mecanismo hidrológico de la contaminación para estas ciénagas (Barrancabermeja, 2002).

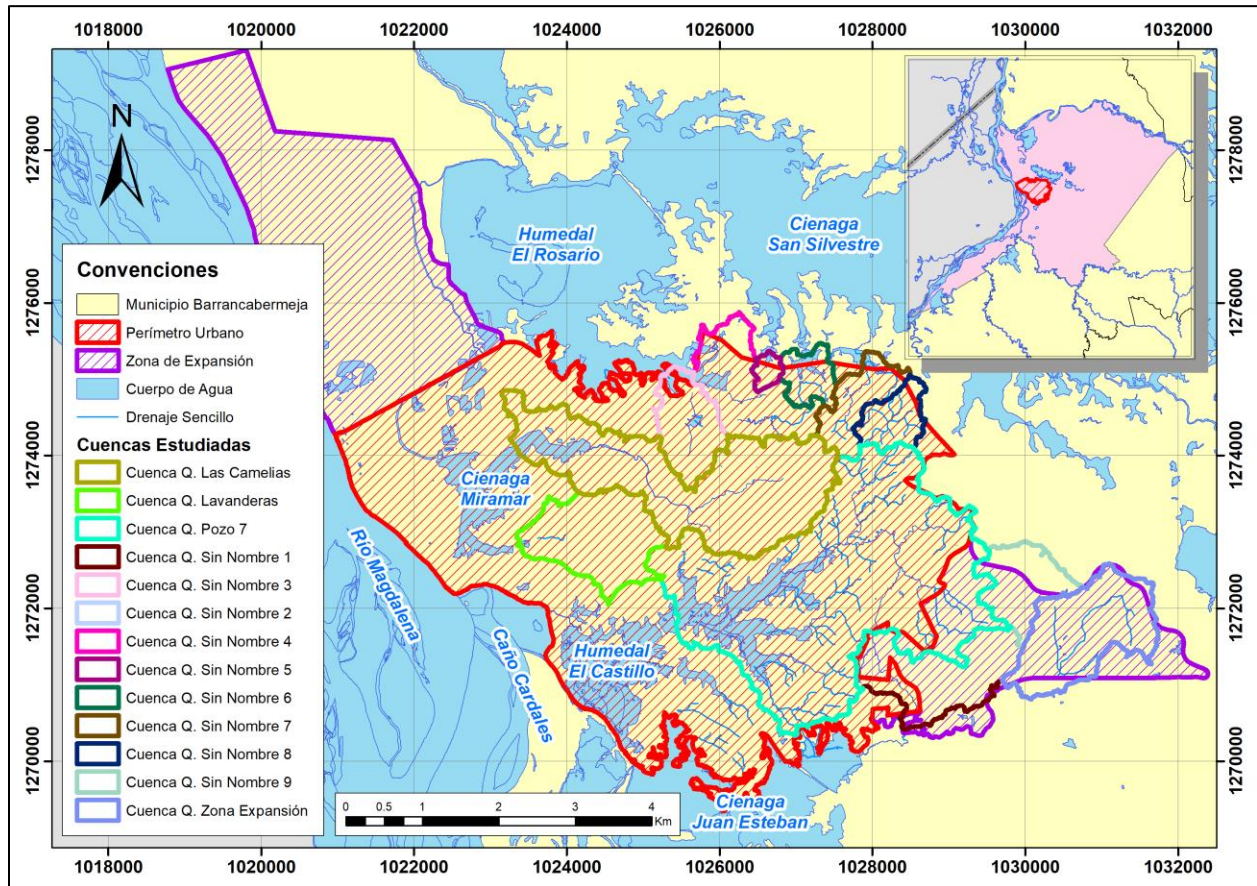
- **Ciénaga Miramar**

Situada al Lado del Complejo Industrial de Barrancabermeja, se alimenta de las quebradas Las Lavanderas y Las Camelias que llevan las aguas servidas de Barrancabermeja y junto a los crudos que recibe del complejo, es una de las ciénagas más contaminadas de la zona (Barrancabermeja, 2002).

### 1.1.3 Área de Estudio

El área de estudio corresponde a todos los cuerpos de agua superficiales y sus respectivas cuencas hidrográficas localizadas dentro del área urbana del municipio de Barrancabermeja.

**Figura 1.3 Área de estudio**



## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo General

Delimitar y zonificar el grado de riesgo por inundación y avenidas torrenciales en el área urbana del municipio de Barrancabermeja.

Proponer un plan de gestión del riesgo para los eventos de inundación y avenidas torrenciales.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar la metodología adecuada para la evaluación del riesgo en función de la información disponible en el desarrollo de los estudios de amenaza y vulnerabilidad.
- Definir las unidades básicas de análisis sobre las cuales se realizará la gestión del riesgo.
- Proponer medidas de reducción (prevención y mitigación) del riesgo en el área urbana del municipio.
- Priorizar las zonas que requieren el desarrollo de estudios detallados.
- Definir las condiciones mínimas para la ejecución de los estudios detallados.

### 1.2.3 Alcance del Estudio

Considerando lo expuesto en el decreto 1077 de 2015, el estudio de zonificación de riesgo por inundación y avenidas torrenciales en el área urbana del municipio de Barrancabermeja contempla los siguientes aspectos:

#### 1.2.3.1 Estudios básicos

▪ Escala de trabajo

La escala de trabajo para el área urbana y zonas de expansión corresponde a 1:5.000.

▪ Área de estudio

Corresponde al área en las cuales exista alguna posibilidad de presentarse inundación, sean aledaños o no a ríos, caños, quebradas, humedales y otros cuerpos de agua o aquellas que hagan parte de su área de influencia.

▪ Insumos mínimos

- Estudio de Amenaza
- Estudio de Vulnerabilidad

▪ Productos

- Mapas de condición de amenaza
- Mapas de condición de riesgo
- Documento técnico que contenga las metodologías empleadas y los resultados obtenidos

### 1.2.4 Descripción de Actividades

Las actividades planteadas para el desarrollo del presente trabajo se pueden agrupar de la siguiente manera:

#### 1.2.4.1 Preparación de la información

Se define la información requerida para el desarrollo de todas las actividades (cartografía, estudio de amenaza, estudio de vulnerabilidad, entre otros)

#### 1.2.4.2 Diseño de la metodología de trabajo

Con base en la información disponible y la problemática identificada se plantean las metodologías y modelos que se ajusten a las necesidades planteadas en los alcances del estudio.

#### 1.2.4.3 Zonificación del riesgo

Se delimitarán las áreas con condición de:

- **Amenaza:** corresponde a las zonas sin ocupar del suelo urbano y de expansión urbana con amenaza media y alta
- **Riesgo:** corresponde a las zonas con amenaza alta donde se presenten elementos expuestos, urbanizaciones e infraestructura.

## 2 MARCO CONCEPTUAL

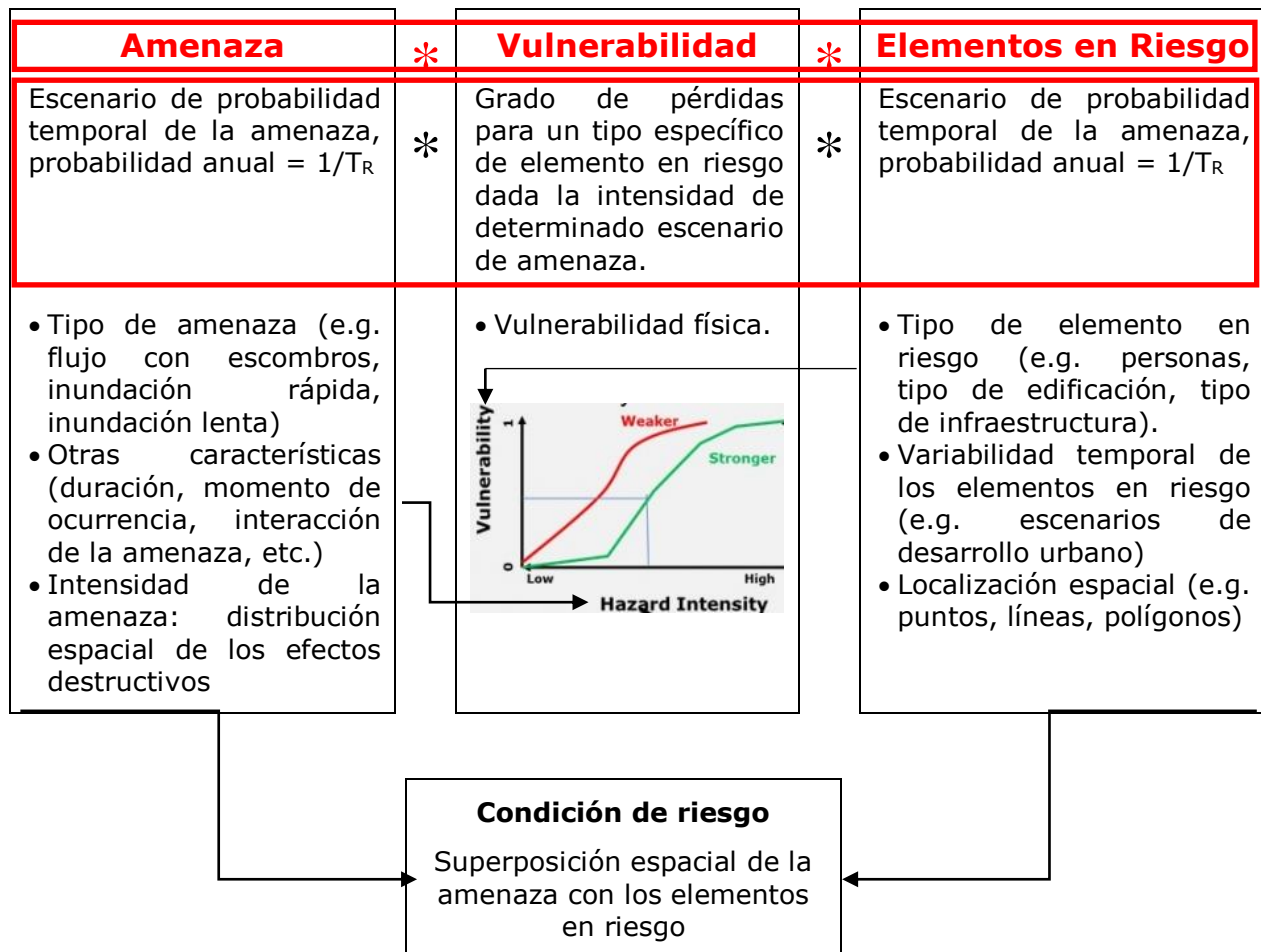
En esta sección se presentan diferentes metodologías disponibles para el cálculo y la evaluación del riesgo por eventos de inundación, de las cuales se selecciona la metodología adecuada para su implementación en el área urbana del municipio de Barrancabermeja.

### 2.1 INTRODUCCIÓN

El riesgo puede ser definido como la probabilidad de ocurrencia de un evento con consecuencias destructivas, o de pérdidas esperadas (muertes, heridos, propiedad, vivienda, interrupción de actividades económicas o daños en los ecosistemas) resultantes de la interacción de condiciones (naturales o antrópicas) amenazantes y condiciones de vulnerabilidad (Banco Mundial, 2017). El riesgo puede representarse de forma conceptual con base en la ecuación que se ilustra en la siguiente figura.

**Figura 2.1 Representación esquemática del riesgo.**

$$\text{RIESGO} = \text{PROBABILIDAD DE PÉRDIDAS} =$$



**Fuente: Banco Mundial (2017)**

La evaluación de riesgos es un proceso para determinar la probabilidad de pérdidas mediante el análisis de peligros potenciales y la evaluación de condiciones de vulnerabilidad



existentes que podrían representar una amenaza o daño a la propiedad, las personas, los medios de subsistencia y el medio ambiente del que dependen (Banco Mundial, 2017).

La norma ISO 31000 define la evaluación de riesgos como un proceso compuesto por tres procesos: identificación de riesgos, análisis de riesgos y evaluación de riesgos; **La identificación del riesgo** es el proceso que se utiliza para encontrar, reconocer y describir los riesgos que podrían a la población o la infraestructura; **El análisis del riesgo** es el proceso que se utiliza para comprender la naturaleza, las fuentes y las causas de los riesgos que se han identificado y para estimar o cuantificar su respectiva magnitud. También se usa para estudiar los impactos y las consecuencias y para examinar los controles que existen actualmente; **La evaluación del riesgo** es el proceso que se utiliza para comparar los resultados del análisis con los criterios definidos para determinar si un nivel específico de riesgo es aceptable o tolerable.

El presente trabajo abarca los componentes de análisis del riesgo y evaluación del riesgo, teniendo en cuenta que para el análisis de riesgo se han desarrollado previamente los estudios de amenaza y vulnerabilidad.

La escala de trabajo para la evaluación del riesgo puede variar según los objetivos definidos. En la Tabla 2.1 se presenta la relación entre las escalas de trabajo, los objetivos buscados y la aplicabilidad de diferentes metodologías disponibles de evaluación del riesgo. En las secciones siguientes se analizarán cuatro metodologías para la clasificación del riesgo: Evaluación Cuantitativa de Riesgos (QRA, por sus siglas en inglés), Análisis de Árbol de Eventos (ETA), Enfoque de Matriz de Riesgos (RMA) y Enfoque Basado en Indicadores (IBA).

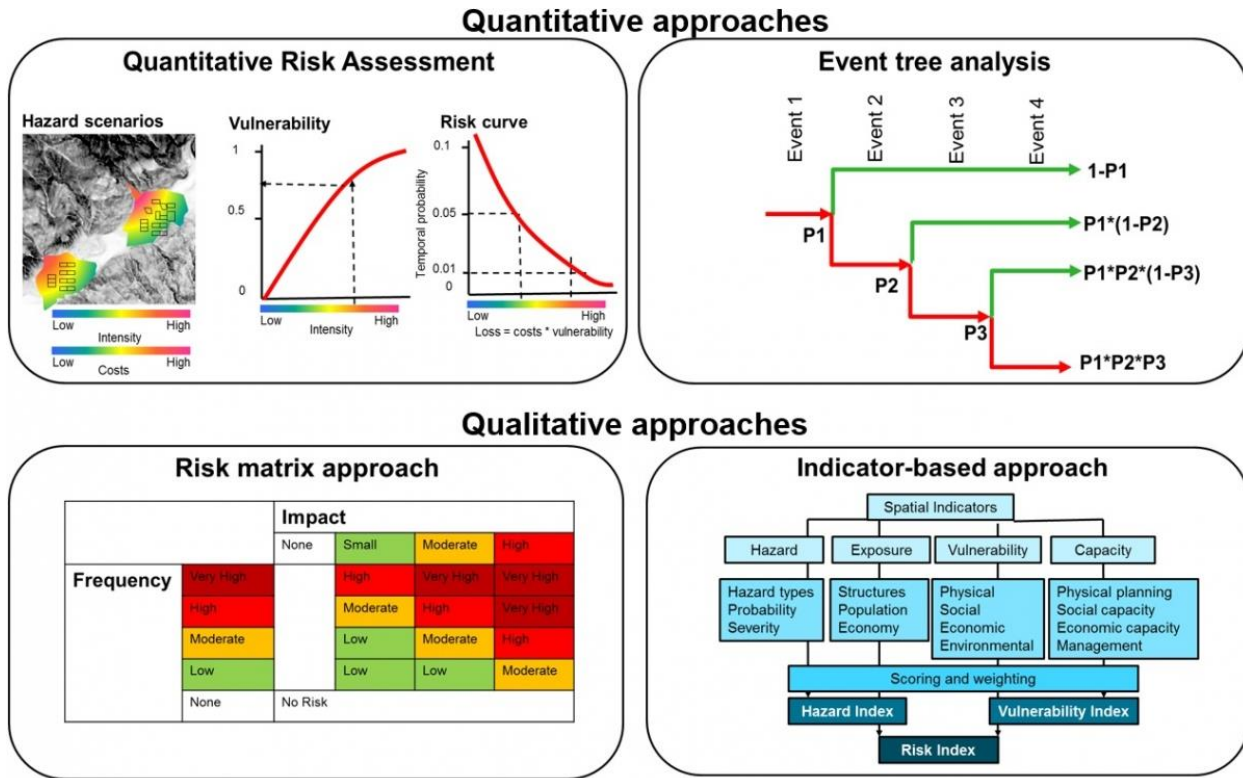
**Tabla 2.1 Escalas de análisis del riesgo relacionadas con objetivos y metodologías**

Escala de Análisis	Escala de Trabajo	Objetivos	Posibles Metodologías
Global, Internacional	<1:1'000.000	Priorización para países;/ Alertas tempranas	RMA (simplificado) & IBA
Pequeña: escala departamental	< 1:100.000	Priorización de regiones; Análisis de eventos detonantes; Implementación de programas nacionales	EVA (simplificado), RMA & IBA
Media: municipios y corregimientos	1:100.000 a 1:25.000	Análisis del efecto de cambios; Análisis de detonantes; Evaluaciones de impacto ambiental; Diseño de medidas de mitigación del riesgo	RMA / IBA
Local: municipal urbano	1:25.000 a 1:5.000	Zonificación de usos del suelo; Análisis de efectos de cambios; Evaluaciones de impacto ambiental; Diseños de medidas de mitigación	QRA / EVA / RMA/IBA
Sitios específicos	Mayores que 1:5.000	Diseño de medidas de mitigación; Sistemas de alerta temprana; zonificación detallada de los usos del suelo	QRA / EVA / RMA

**Fuente: Banco Mundial (2017)**

En la figura siguiente se presentan los componentes relevantes de las diferentes metodologías para la cuantificación del riesgo, las cuales se describen con mayor detalle en las siguientes secciones.

**Figura 2.2 Principales componentes de las metodologías para la cuantificación del riesgo**



Fuente: Banco Mundial (2017)

## 2.2 EVALUACIÓN CUANTITATIVA DEL RIESGO (QRA)

Si los diversos componentes que conforman el riesgo pueden ser cuantificados espacialmente para un conjunto dado de escenarios de riesgo y elementos en riesgo, este puede ser cuantificado mediante la siguiente ecuación:

$$Riesgo = \sum_{Amenazas} \left( \int_{P_T=0}^{P_T=1} P_{(T|ES)} \cdot \sum_{ER} P_{(S|HS)} \cdot (A_{(ER|HS)} \cdot V_{(ER|HS)}) \right) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

donde:

$P_{(T|ES)}$  es la probabilidad de ocurrencia temporal de determinado escenario de amenaza (HS). Un escenario de amenaza está definido la naturaleza de un evento (e.g. inundación, movimientos en masa, entre otros) el cual tiene una magnitud asociada para una frecuencia determinada.

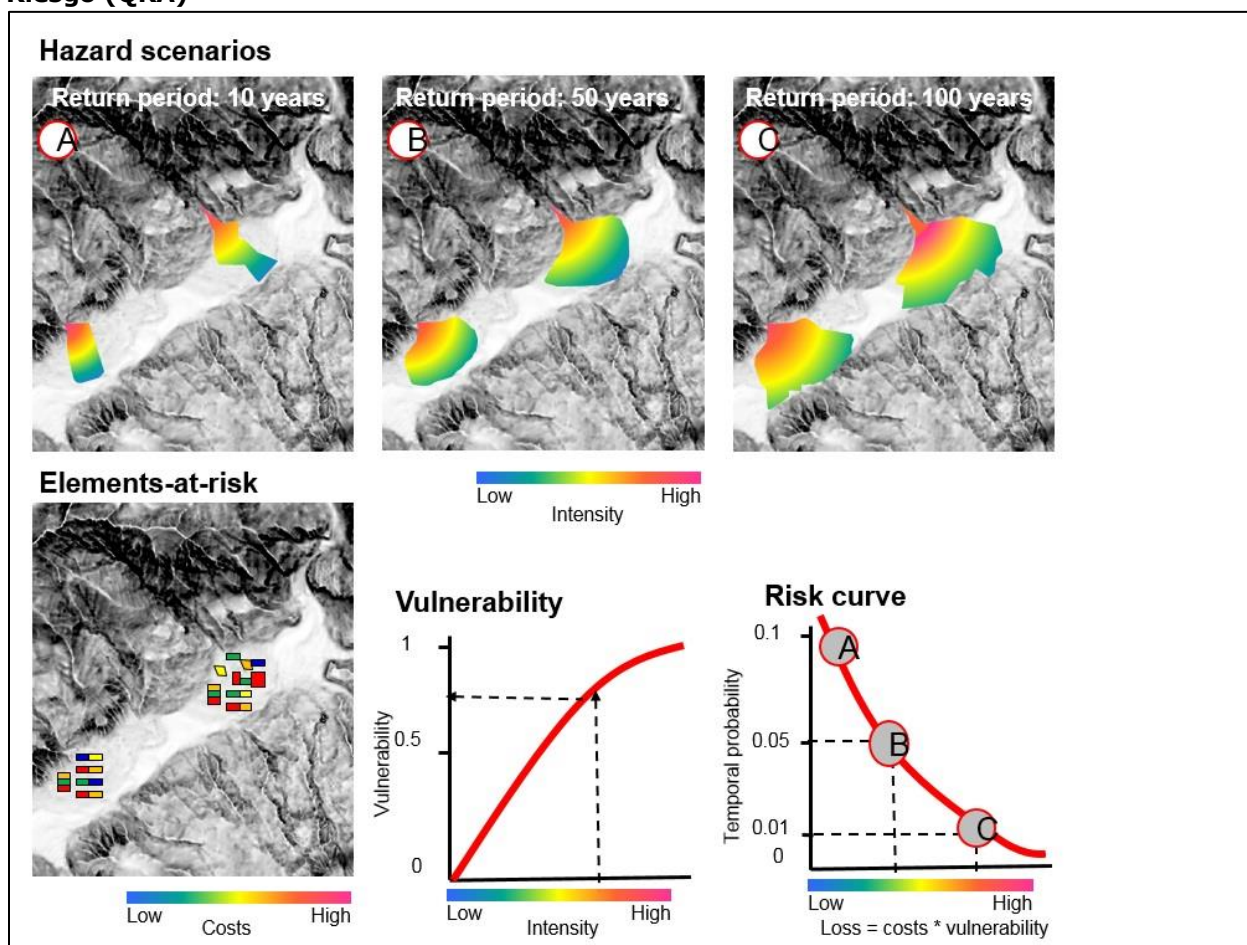
$P_{(S|HS)}$  es la probabilidad de ocurrencia espacial que un sitio particular sea afectado dado un escenario de amenaza.

$A_{(ER|HS)}$  cuantificación de la cantidad de elementos expuestos a riesgo, dado determinado escenario de amenaza (e.g. número de personas, número de edificios, valor monetario de la infraestructura, hectáreas de tierra, entre otros)

$V_{(ER|HS)}$  es la vulnerabilidad de los elementos en riesgo dada la intensidad de la amenaza en determinado escenario (varía entre 0 y 1).

El método se indica esquemáticamente en la Figura 2.3; las operaciones SIG se utilizan para analizar el grado de exposición, así como la intersección entre los elementos en riesgo y el área amenazada para cada escenario de riesgo. Para cada elemento en riesgo también se registra el nivel de intensidad a través de una operación de superposición SIG. Estos valores de intensidad se usan en combinación con el tipo de elemento en riesgo para encontrar la curva de vulnerabilidad correspondiente, que luego se usa como una tabla de búsqueda para encontrar el valor de vulnerabilidad.

**Figura 2.3 Representación esquemática del método de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA)**



**Fuente: Banco Mundial (2017)**

La forma en que se caracteriza la cantidad de elementos en riesgo (por ejemplo, el número de edificios, el número de personas, el valor económico) también define la forma en que se cuantifica el mismo. La multiplicación de las cantidades expuestas y la vulnerabilidad se deben hacer para todos los elementos en riesgo para el mismo escenario. Los resultados se multiplican por la probabilidad espacial de que la mancha de amenaza se cruza con el elemento para el escenario de riesgo  $P_{(S|HS)}$  para dar cuenta de las incertidumbres en su cuantificación.

El valor resultante representa las pérdidas, que se grafica contra la probabilidad temporal de ocurrencia del escenario en la llamada curva de riesgo. Esto se repite para todos los escenarios disponibles. Se deben usar al menos tres escenarios individuales, aunque se prefiere usar al menos 6 eventos con diferentes períodos de retorno (FEMA, 2004) para representar mejor la curva de riesgo. El área bajo la curva se calcula integrando todas las

pérdidas con sus respectivas probabilidades anuales. Es posible crear curvas para toda el área de estudio, o para diferentes unidades espaciales, como unidades administrativas.

El riesgo puede presentarse de diferentes maneras, dependiendo de los objetivos de la evaluación. Puede expresarse en términos absolutos o relativos; el riesgo absoluto de la población puede expresarse como riesgo individual (la probabilidad anual de que muera una sola persona expuesta) o como riesgo social (la relación entre la probabilidad anual y el número de personas que podrían morir). El riesgo económico absoluto puede expresarse en términos de pérdida anual promedio, pérdida máxima probable u otros índices que se calculan a partir de una serie de escenarios de pérdida, cada uno con una relación entre la frecuencia y las pérdidas monetarias esperadas Banco Mundial (2017).

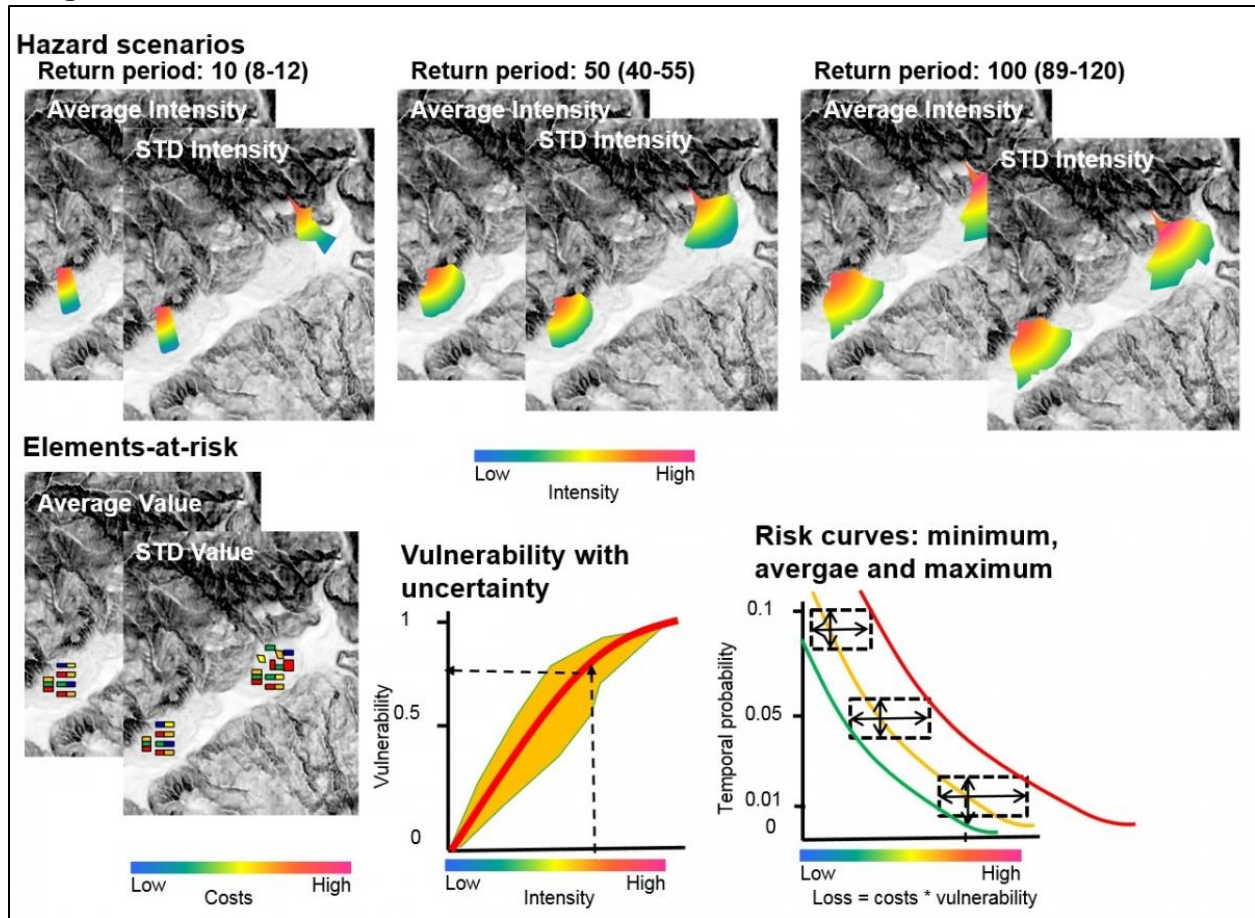
Los componentes que están involucrados en la evaluación de riesgos tienen un alto grado de incertidumbre, la cual se asocia con la variación de los datos de entrada utilizados en la evaluación de riesgos. Por ejemplo, las variaciones en las características del suelo utilizadas para modelar la probabilidad de derrumbes, características superficiales, características del edificio, etc. Normalmente se incorporan en el análisis de riesgo probabilístico que calcula miles de escenarios de riesgo y riesgo tomando las variaciones de los factores de entrada y calcular las probabilidades de excedencia usando técnicas como la simulación de Monte Carlo.

La incertidumbre epistémica se refiere a la incertidumbre asociada con el conocimiento incompleto o imperfecto sobre los procesos involucrados, y la falta de datos suficientes. Este suele ser un problema grave, ya que puede no haber suficientes datos disponibles para determinar los escenarios de riesgo individuales, o no existen curvas de vulnerabilidad para los tipos de elementos en riesgo dentro del área de estudio. La evaluación de riesgo probabilística toma en cuenta todos los posibles escenarios de riesgo y la incertidumbre de los factores de entrada, ejecutando miles de escenarios de pérdida, y calcula finalmente la curva de superación de la pérdida.

Para una serie de riesgos, como derrumbes o inundaciones, es muy complicado desarrollar una gran cantidad de escenarios de riesgo debido a la gran incertidumbre epistémica causada por la falta de datos. En tales casos, puede tenerse en cuenta la incertidumbre utilizando el método ilustrado en la Figura 2.4. En este método, se utilizan datos que muestran el rango de valores posibles para la probabilidad temporal, la probabilidad espacial, la intensidad del riesgo, el valor de los elementos en riesgo y vulnerabilidad. El rango de incertidumbre en la probabilidad temporal del escenario de riesgo se refleja en un rango de valores posibles en el eje Y de la curva de riesgo.

La incertidumbre en la intensidad del evento amenazante (e.g. altura y velocidad del agua para inundaciones, presión de impacto para deslizamientos de tierra) combinada con la incertidumbre en la curva de vulnerabilidad generará mayores rangos de incertidumbre, esta que luego se multiplicarán por el rango de incertidumbre de la cuantificación de elementos en riesgo (e.g. costos de construcción). Esto luego da un rango de valores para las pérdidas esperadas. Entonces, en lugar de un único punto en la curva de riesgo, cada escenario de riesgo dará como resultado un rectángulo, definido por la variación en probabilidad y pérdidas. Las esquinas superiores derechas del rectángulo están conectadas para estimar la curva de riesgo más pesimista, y las esquinas inferiores derechas están conectadas para proporcionar la curva de riesgo más optimista. Al calcular el área bajo las curvas, es posible mostrar el rango en las pérdidas esperadas anuales.

**Figura 2.4 Método para incluir la incertidumbre al método de Evaluación Cuantitativa del Riesgo**

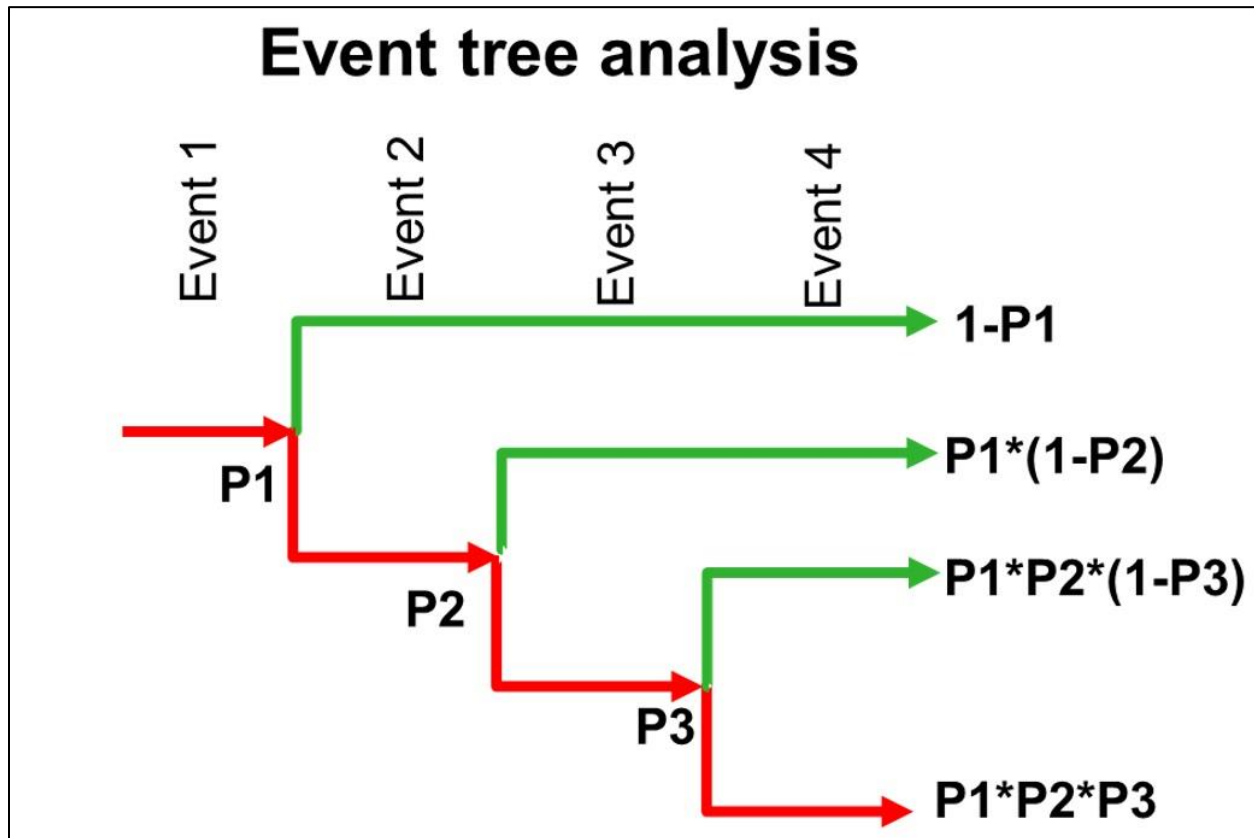


Fuente: Banco Mundial (2017)

### 2.3 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE EVENTOS

Algunos eventos amenazantes pueden ocurrir de forma secuencial, es decir que un evento desata otro. Este tipo de fenómeno se conoce como efecto dominó. Estos son los tipos de evento más problemáticos para analizar en una evaluación de multi-riesgo. El mejor enfoque para analizar tales cadenas de peligro es usar los llamados árboles de eventos. Un árbol de eventos es un sistema que se aplica para analizar todas las combinaciones (y la probabilidad asociada de ocurrencia) de los parámetros que afectan al sistema bajo análisis. Todos los eventos analizados están vinculados entre sí por medio de nodos (ver Figura 6). Se consideran todos los estados posibles del sistema en cada nodo y cada estado (rama del árbol de eventos) se caracteriza por un valor definido de probabilidad de ocurrencia.

Figura 2.5 Esquematación del modelo de Análisis de Árbol de Eventos



Fuente: Banco Mundial (2017)

## 2.4 ENFOQUE DE MATRIZ DE RIESGO

Las evaluaciones de riesgos a menudo son complejas y no permiten desarrollar un enfoque numérico completo, ya que muchos aspectos no son totalmente cuantificables o tienen un alto grado de incertidumbre. Esto puede estar relacionado con la dificultad de definir escenarios de riesgo, mapear y caracterizar los elementos en riesgo o definir la vulnerabilidad utilizando curvas. Para superar estos problemas. Frecuentemente, el riesgo se evalúa utilizando las denominadas matrices de riesgo o matrices de consecuencia - frecuencia (CFM, por sus siglas en inglés), que son diagramas con clases de consecuencia y frecuencia en los ejes (véase Figura 2.6). Permiten clasificar los riesgos basados en el conocimiento experto con datos cuantitativos limitados.

La matriz de riesgos se compone de clases de frecuencia de los eventos amenazantes en un eje y las consecuencias (o pérdidas esperadas) en el otro eje. **En lugar de usar valores fijos, el uso de clases permite una mayor flexibilidad e incorporación de la opinión de expertos.** Dichos métodos se han aplicado ampliamente en la evaluación de riesgos de amenazas naturales. Este enfoque también permite visualizar los efectos y las consecuencias de las medidas de reducción de riesgos y proporcionar un marco para comprender la evaluación de riesgos. El sistema depende de la calidad del grupo de expertos que se forma para identificar los escenarios de riesgo, y que lleva a cabo el filtrado y clasificación de peligros en varias subetapas caracterizadas por frecuencia (probabilidad) y clases de impacto y sus límites correspondientes.

**Figura 2.6 Matriz frecuencia-consecuencia para la evaluación del riesgo mediante el Enfoque de Matriz de Riesgo**

		IMPACTO			
		Nulo	Bajo	Medio	Alto
FRECUENCIA	Muy Alta	Sin Riesgo	Alto	Muy Alto	Muy Alto
	Alta		Moderado	Alto	Muy Alto
	Media		Bajo	Moderado	Alto
	Baja		Bajo	Bajo	Moderado
	Nula	Sin Riesgo			

Fuente: Banco Mundial (2017)

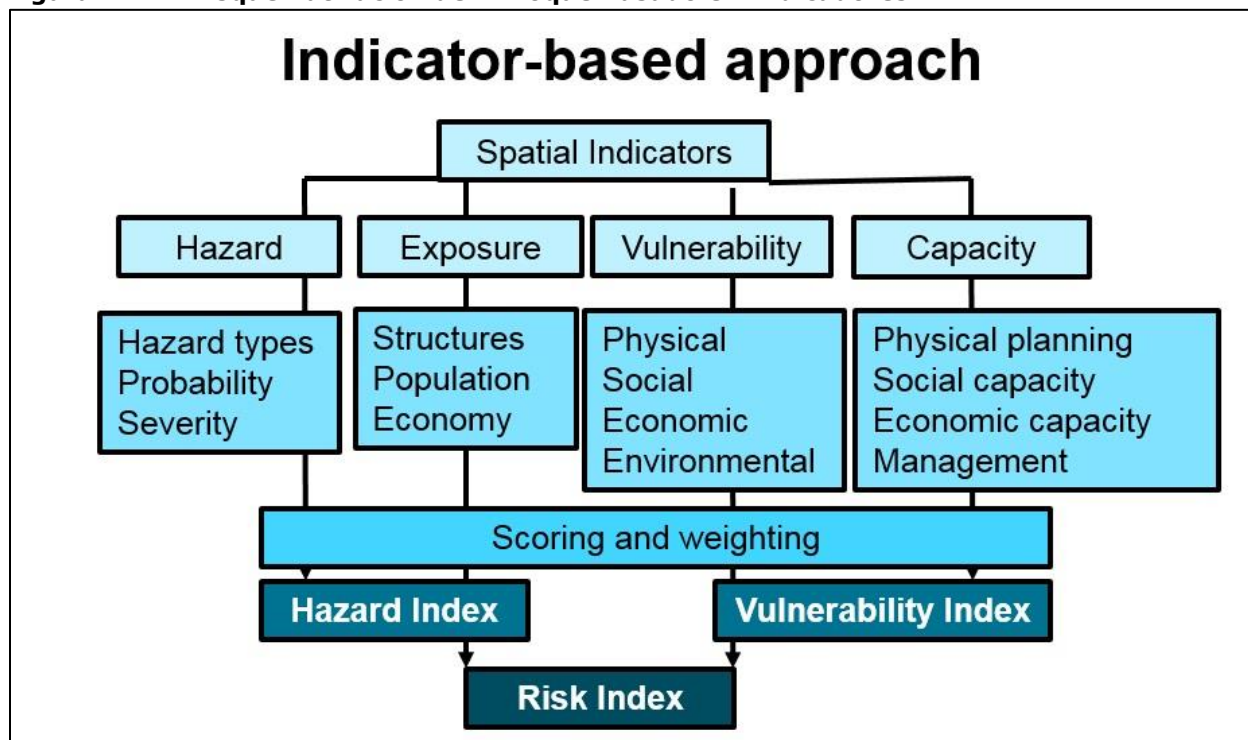
## 2.5 ENFOQUE BASADO EN INDICADORES

Hay muchas situaciones en las que los métodos (semicuantitativos) para el mapeo de riesgos no son apropiados. Esto podría deberse a la falta de información para cuantificar los componentes, como la frecuencia, la intensidad y la vulnerabilidad física del peligro. Por ejemplo, cuando la evaluación de riesgos se lleva a cabo en áreas extensas o en áreas con datos limitados. Otra razón, es que sería ideal tener en cuenta una serie de componentes de la vulnerabilidad que no están incorporados en los métodos (semi) cuantitativos, como la vulnerabilidad social, la vulnerabilidad y la capacidad ambiental.

En esos casos, es común seguir un enfoque basado en indicadores para medir el riesgo y la vulnerabilidad a través de indicadores comparativos seleccionados de forma cuantitativa a fin de poder comparar diferentes áreas o comunidades. El proceso de evaluación del riesgo de desastres se divide en una serie de componentes, como riesgo, exposición, vulnerabilidad y capacidad (ver Figura 2.7), a través de un árbol de criterios, que enumera la subdivisión en objetivos, subobjetivos e indicadores. Los datos para cada uno de estos indicadores se recopilan en un nivel espacial particular, por ejemplo, por unidades administrativas.

Estos indicadores se estandarizan (por ejemplo, reclasificándolos entre 0 y 1), luego se ponderan internamente dentro de un sub-objeto y luego los diversos subobjetivos también se ponderan entre sí. Aunque los indicadores individuales normalmente consisten en datos cuantitativos (por ejemplo, estadísticas de población), los resultados de vulnerabilidad y riesgo resultantes se escalan entre 0 y 1. Estos datos relativos permiten comparar los indicadores para las diversas unidades administrativas. Estos métodos se pueden llevar a cabo en diferentes niveles, desde comunidades locales, por ejemplo, ciudades hasta países.

**Figura 2.7 Esquemización del Enfoque Basado en Indicadores**



## 2.6 SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA A IMPLEMENTAR

Los cuatro métodos de evaluación de riesgos descritos en este capítulo tienen ciertas ventajas y desventajas que se resumen en la Tabla 2.1. El método de evaluación cuantitativa de riesgos es el mejor para evaluar varias alternativas para la reducción de riesgos, a través de un análisis comparativo del riesgo y después de la implementación seguida de un análisis de costo-beneficio. El análisis de árbol de eventos es el mejor enfoque para analizar cadenas complejas de eventos y las probabilidades asociadas. Los métodos cualitativos para la evaluación de riesgos son útiles como un proceso de selección inicial para identificar amenazas y riesgos. También se usan cuando el nivel de riesgo asumido no justifica el tiempo y el esfuerzo de recopilar la gran cantidad de datos necesarios para una evaluación de riesgos cuantitativa, y cuando la posibilidad de obtener datos numéricos es limitada. El enfoque de la matriz de riesgos suele ser el más frecuente. Es un enfoque práctico como base para la planificación espacial, donde el efecto de los métodos de reducción de riesgos puede verse como cambios en las clases dentro de la matriz de riesgos. El enfoque basado en indicadores, finalmente, es el mejor cuando no hay suficientes datos para llevar a cabo un análisis cuantitativo, sino también como un seguimiento de un análisis cuantitativo, ya que permite tener en cuenta otros aspectos aparte del daño físico.

**Tabla 2.2 Ventajas y desventajas de las metodologías para la evaluación del riesgo descritas**

Método	Ventajas	Desventajas
Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA)	Proporciona información cuantitativa de riesgos que se puede utilizar en el análisis de costo-beneficio de las medidas de reducción de riesgos.	Datos muy exigentes. Difícil cuantificar la probabilidad temporal, la intensidad de la amenaza y la vulnerabilidad.



Método	Ventajas	Desventajas
Análisis de Árbol de Eventos (ETA)	Permitir el modelado de una secuencia de eventos.	Las probabilidades para los diferentes nodos son difíciles de evaluar, y la implementación espacial es muy difícil debido a la falta de información.
Enfoque de Matriz de Riesgo (MRA)	Permite expresar el riesgo utilizando clases en lugar de valores exactos, y es una buena base para comparar medidas de mitigación de riesgos.	El método no proporciona valores cuantitativos que puedan utilizarse en un análisis de costo-beneficio de las medidas de reducción de riesgos. La evaluación de impactos y frecuencias es difícil, y un área puede tener diferentes combinaciones de impactos y frecuencias.
Enfoque Basado en Indicadores (IBA)	Único método que permite llevar a cabo una evaluación holística de riesgos, incluida la vulnerabilidad y capacidad social, económica y ambiental.	El riesgo resultante es relativo y no proporciona información sobre las pérdidas esperadas reales.

Teniendo en cuenta la información disponible para la cuantificación de los eventos de amenaza por inundación (profundidad y velocidad de flujo) y caracterizar la vulnerabilidad de los elementos expuestos, y considerando los objetivos y alcances planteados en el decreto 1077 de 2015, se seleccionó el Enfoque de Matriz de Riesgo como la metodología para la evaluación del riesgo en el área urbana del municipio de Barrancabermeja.

Las principales consideraciones para tomar dicha decisión son:

- La escala de trabajo utilizada (1:5.000) para el estudio de amenaza, definida para los estudios básicos de amenaza y riesgo por inundación y avenidas torrenciales, conlleva a la obtención de resultados con un alto grado de incertidumbre en la estimación de las intensidades de los eventos asociados a diferentes períodos de retorno, así como de la representación espacial de los mismos.
- Es un enfoque práctico como base para la planificación espacial, donde el efecto de los métodos de reducción de riesgos puede verse como cambios en las clases dentro de la matriz de riesgos.
- Permite identificar de forma adecuada las zonas expuestas a eventos de amenaza y asociar una clase para toda el área urbana.
- Según el alcance planteado en el decreto 1077 de 2015, la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo por inundación deben ser agrupados en tres clases (Baja, Media y Alta).
- No se cuenta con información suficiente para la elaboración de un método cuantitativo tal como el QRA.

### 3 EVALUACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIÓN

En este capítulo se presentan los resultados de la evaluación del riesgo por inundación, mediante la implementación de la metodología de matriz de riesgo, se presentan las zonas con condición de amenaza y zonas con condición de riesgo, se caracteriza la naturaleza de los eventos de inundación (rápidas o lentas), con el objetivo de determinar cuales de las medidas de prevención y mitigación del riesgo son aplicables o no a las diferentes unidades de análisis del riesgo definidas para el área urbana.

#### 3.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MATRIZ DE RIESGO

Como se describió anteriormente, la metodología seleccionada para la evaluación del riesgo corresponde a un enfoque matricial. Considerando que los niveles de amenaza y vulnerabilidad definidos en el decreto 1077 de 2015 deben ser clasificados en tres categorías: Alta, Media y Baja. Se propone la siguiente matriz para la evaluación del riesgo.

**Figura 3.1 Matriz frecuencia-consecuencia para la evaluación del riesgo mediante el Enfoque de Matriz de Riesgo**

		Categoría vulnerabilidad			
		Nulo	Bajo	Medio	Alto
Categoría amenaza	Alta	Sin Riesgo	Moderado	Alto	Muy Alto
	Media		Bajo	Moderado	Alto
	Baja		Bajo	Bajo	Moderado
	Nula	Sin Riesgo			

En la Figura 3.5 se presenta la tabla de categorización de eventos amenazantes en función de la frecuencia de ocurrencia temporal.

**Tabla 3.1 Categorización de amenaza por inundación**

Categoría de Amenaza	Descripción de la inundación
Alta	Probabilidad de ocurrencia alta. Inundaciones generadas por los niveles máximos asociados a un período de retorno menor que 10 años.
Media	Probabilidad de ocurrencia media. Inundaciones generadas por los niveles máximos asociados a un período de retorno entre 10 y 100 años.
Baja	Probabilidad de ocurrencia baja. Inundaciones generadas por los niveles máximos asociados a un período de retorno entre 100 y 500 años.
Nula	Probabilidad de ocurrencia baja. Inundaciones generadas por los niveles máximos asociados a un período de retorno mayor que 500 años.

**Fuente: WALMART, 2018**

En el estudio de vulnerabilidad (WALMART, 2018) se definieron dos clases. La primera corresponde a la vulnerabilidad de personas la cual se clasifica en el tipo de lesión que pueden sufrir las personas ante la ocurrencia de inundación. La segunda corresponde a la

vulnerabilidad de edificios, mediante la cual se clasifican los posibles daños sufridos por parte de los elementos de infraestructura expuestos al riesgo.

**Tabla 3.2 Descripción de clasificación de la vulnerabilidad de edificios**

Clasificación de la Vulnerabilidad	Edificaciones
Alta	Colapso parcial o total de la estructura. Rotura de muros. Destrucción total de acabados y accesorios.
Media	Grietas anchas y profundas. Plastificación local de los elementos estructurales. Posible colapso de elementos no estructurales. Daños en los muros. Daño grave de acabados.
Baja	Grietas grandes y profundas. Daños graves en elementos no estructurales. Quiebre de ventanas. Entrada de material a la edificación. Daños en pisos.
	Grietas pequeñas. Despegues de pequeños pedazos de pañete, despegue de algunos ladrillos.

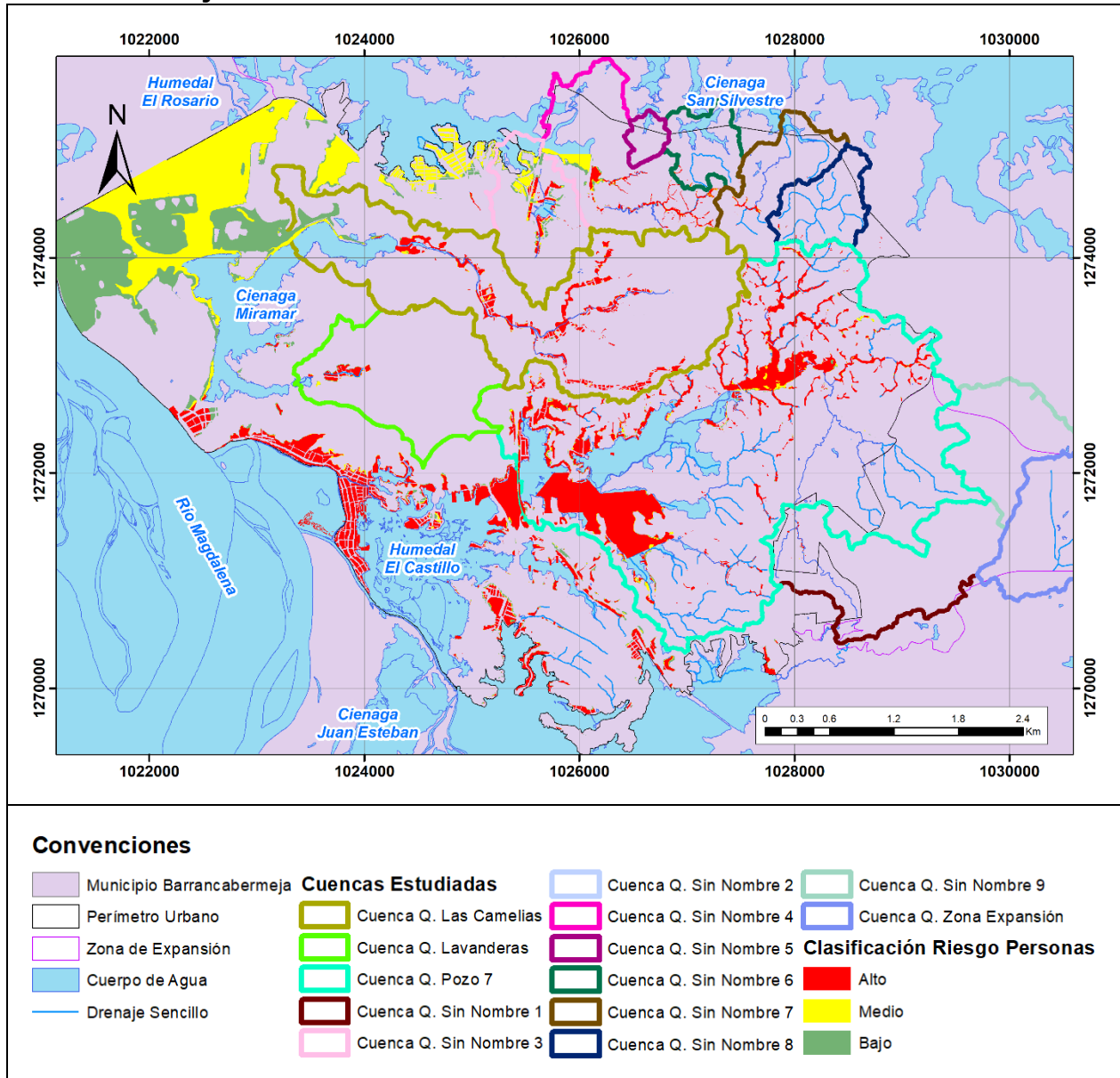
**Tabla 3.3 Clasificación de la vulnerabilidad de personas**

Clasificación de la Vulnerabilidad	Rango de Vulnerabilidad	Descripción
Alta	0,5-1	Alta posibilidad de muerte o lesiones serias.
Media	0,2-0,5	Alta posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes.
Baja	0-0,2	Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes.

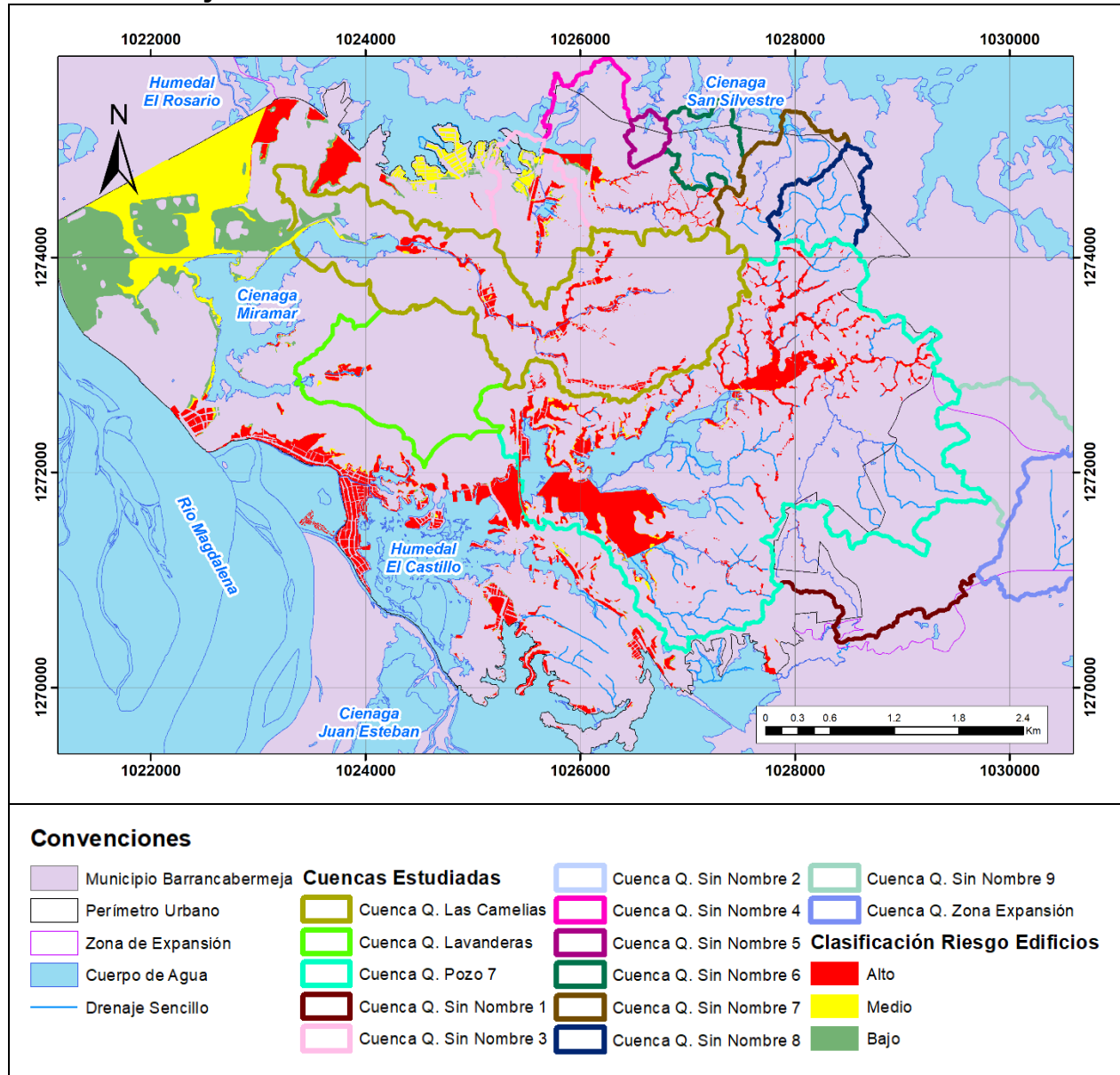
### 3.1.1 Resultados

Mediante la aplicación implementación del Enfoque de Matriz de Riesgo, utilizando los mapas resultados en los estudios de amenaza por inundación y avenidas torrenciales y vulnerabilidad de los elementos expuestos al riesgo, se obtuvieron los mapas de riesgo para personas y edificaciones como se muestra en las [Figuras 3.2 y 3.3](#).

**Figura 3.2 Clasificación del riesgo para persona en el área urbana del municipio de Barrancabermeja**



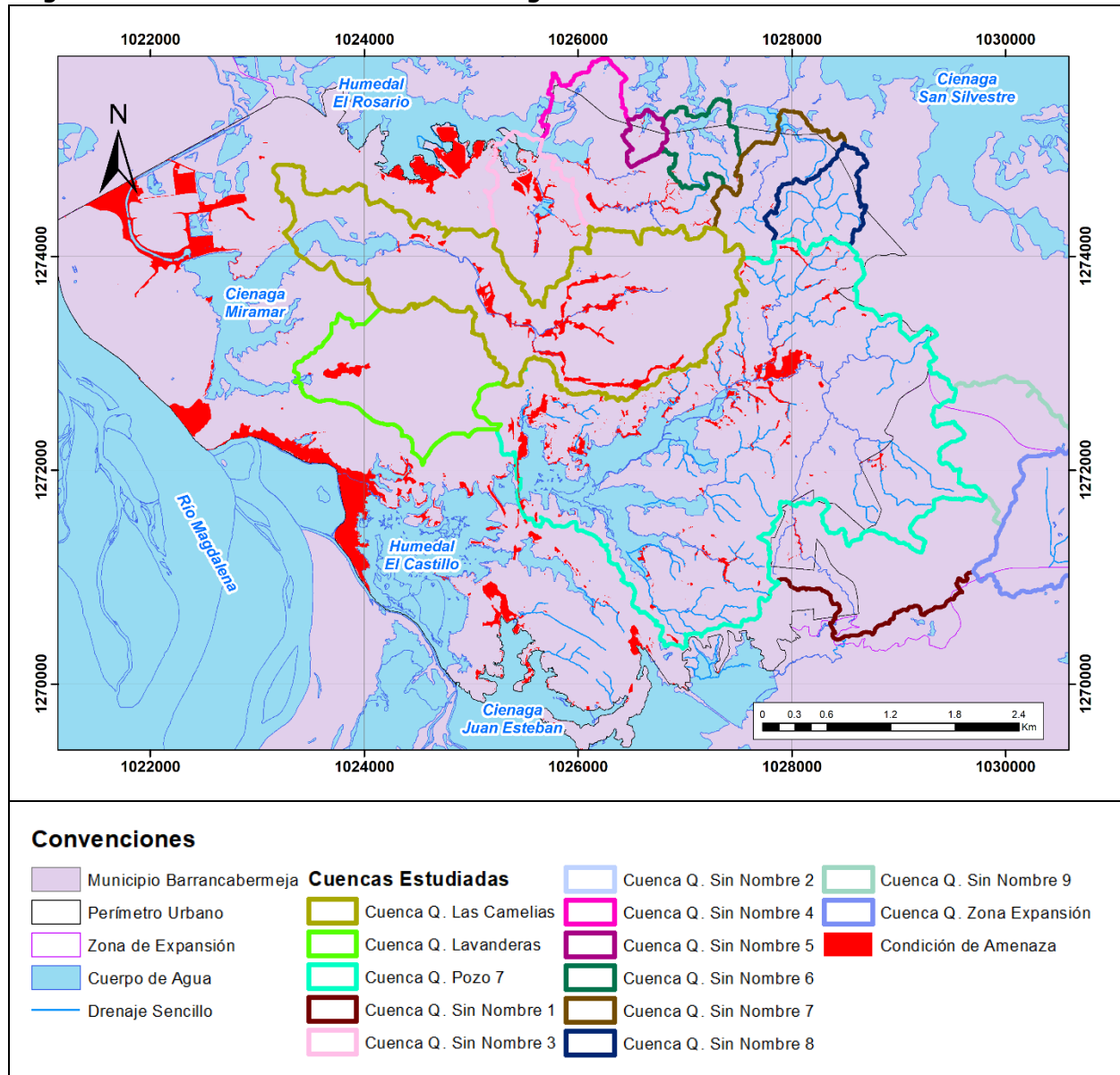
**Figura 3.3 Clasificación del riesgo para edificaciones en el área urbana del municipio de Barrancabermeja**



### 3.1.2 Zonas con condición de riesgo

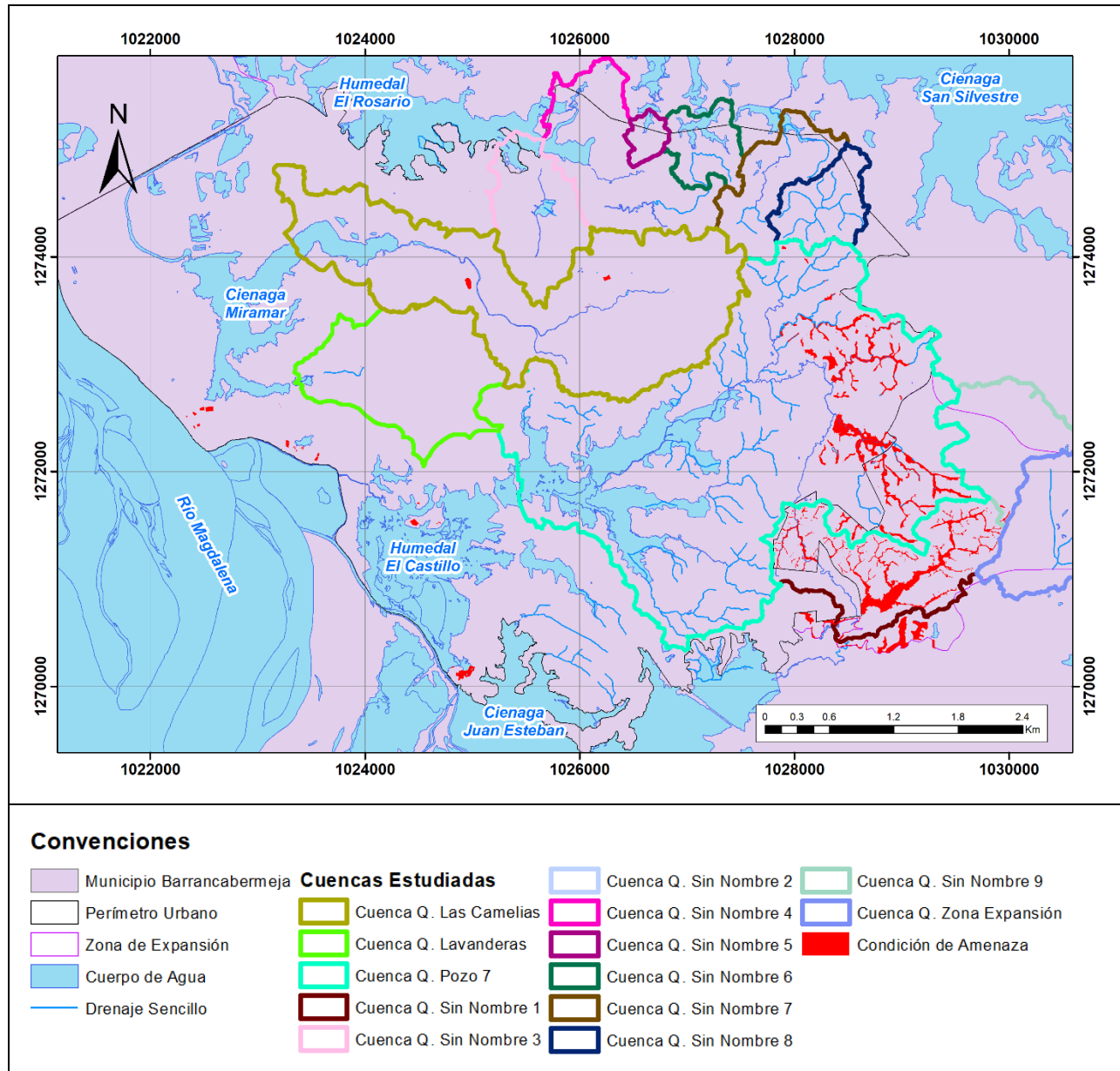
Las zonas con condición de riesgo por inundación corresponden a aquellas donde se presenta cualquier categoría de amenaza y se encuentren construidas (ya sean viviendas u otro tipo de infraestructura).

**Figura 3.4 Zonas con condición de riesgo**



### 3.1.3 Zonas con condición de amenaza

Corresponden a zonas donde se presenta cualquier categoría de amenaza y tienen un uso de suelo planificado dentro del plan del ordenamiento para la construcción de proyectos de vivienda o desarrollo de infraestructura.



### 3.2 CARACTERIZACIÓN DE EVENTOS AMENAZANTES

Para una gestión adecuada del riesgo por inundación y avenidas torrenciales se hace necesario caracterizar el tipo de evento amenazante, esto con el objetivo de que las medidas diseñadas para la reducción del riesgo (prevención y mitigación), y la cuantificación de las pérdidas se ajusten a las condiciones locales de la problemática. De esta forma, con base en los resultados del estudio de amenaza por inundación y avenidas torrenciales en el área urbana del municipio de Barrancabermeja, se clasificaron en dos tipos de eventos: crecientes rápidas y crecientes lentas, tal como se describen a continuación.

En la sección 1.1.2 se presenta una descripción detallada de los cuerpos de agua lénticos y lóticos presentes en el área de estudio.

### 3.2.1 Crecientes rápidas

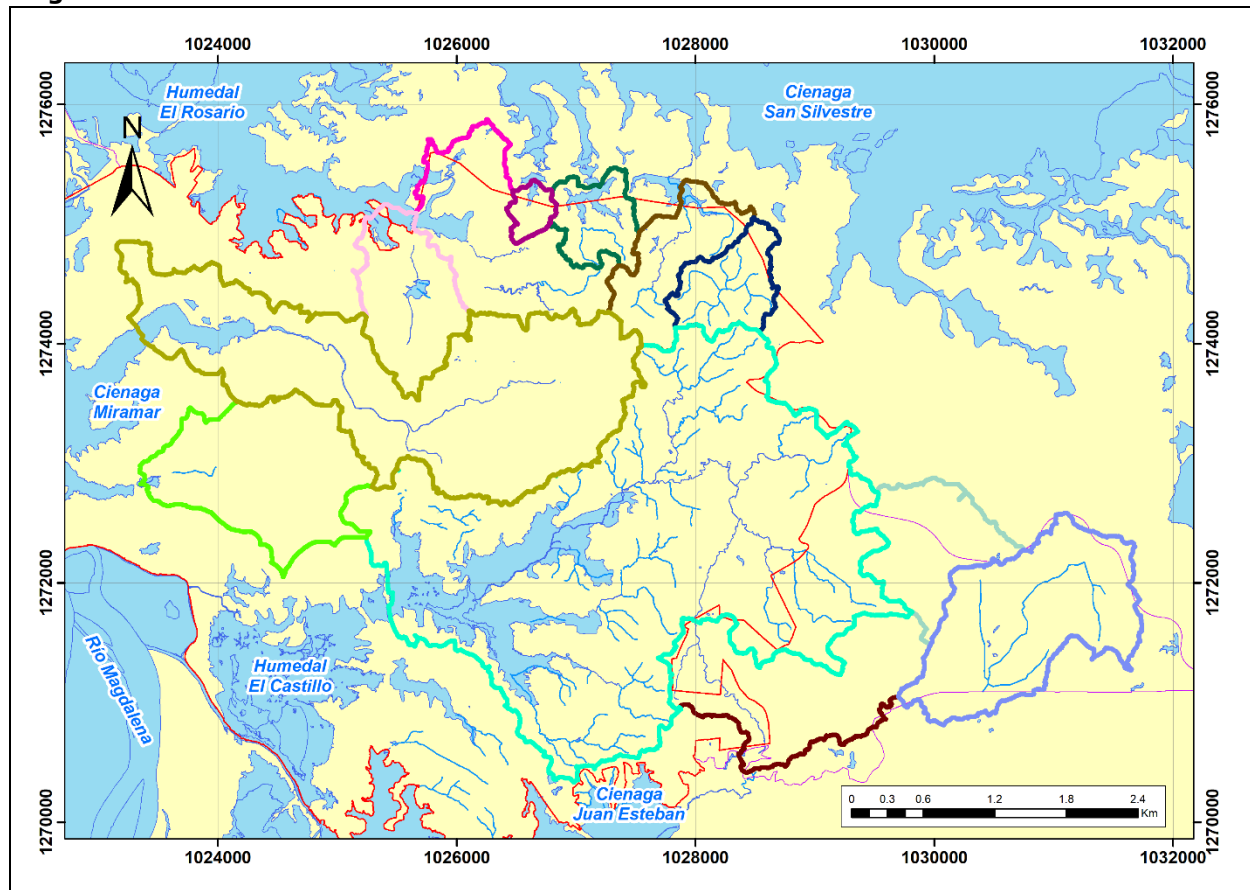
Una **inundación repentina** es un evento que ocurre en un plazo (generalmente menor que 6 horas) después del final del evento causante (lluvias fuertes, deshielo o roturas de presas) que potencialmente puede resultar en muertes, lesiones y/o daños significativos a la propiedad. En general, los eventos de inundación repentina se desarrollan rápidamente y pueden ocurrir en cualquier lugar donde se acumule agua, especialmente en áreas de terreno escarpado y cursos de agua. Las inundaciones repentinas rara vez duran más de 12 horas.

Por otra parte, en un contexto de gestión del riesgo, una creciente rápida puede ser considerada como aquellos eventos para los cuales el tiempo para el desarrollo del evento sea menor que el tiempo necesario para la activar las medidas de advertencia, defensa contra inundaciones o mitigación hacia aguas abajo.


















Con base en los resultados del estudio de amenaza por inundación y avenidas torrenciales en el municipio de Barrancabermeja, se considera que los eventos de inundación generados en las quebradas Las Camelias, Lavanderas, Pozo Siete, Zona Expansión (sur) y el resto de las quebradas menores (nueve quebradas sin nombre), corresponde a crecientes rápidas.

En la Figura 3.5 se presenta la localización de las cuencas de las quebradas que presentan eventos de inundación clasificadas como crecientes rápidas. Mientras que en la Tabla 3.4 se presentan los tiempos de concentración de las cuencas asociadas a las corrientes estudiadas, donde se observa que los tiempos de entre la ocurrencia del evento generador de la inundación y el evento de desastre es menor que dos horas para todos los casos.

**Figura 3.5 Localización de las cuencas urbanas**





Convenciones		
	Municipio Barrancabermeja	 Cuenca Q. Sin Nombre 1
	Perímetro Urbano	 Cuenca Q. Sin Nombre 3
	Zona de Expansión	 Cuenca Q. Sin Nombre 2
	Cuerpo de Agua	 Cuenca Q. Sin Nombre 4
	Drenaje Sencillo	 Cuenca Q. Sin Nombre 5
	<b>Cuencas Estudiadas</b>	 Cuenca Q. Sin Nombre 6
	Cuenca Q. Las Camelias	 Cuenca Q. Sin Nombre 7
	Cuenca Q. Lavanderas	 Cuenca Q. Sin Nombre 8
	Cuenca Q. Pozo 7	 Cuenca Q. Sin Nombre 9

Fuente: SAGES S.A.S (2018)

**Tabla 3.4 Tiempo de concentración estimado para todas las cuencas estudiadas**

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Tc (min)
Q. Las Camelias	4,24	110
Q. Las Lavanderas	1,72	55
Q. Pozo Siete	8,85	110
Q. Zona Expansión	1,94	55
Q. Sin Nombre 1	1,67	50
Q. Sin Nombre 2	0,17	20
Q. Sin Nombre 3	0,96	40
Q. Sin Nombre 4	1,44	50
Q. Sin Nombre 5	0,14	10
Q. Sin Nombre 6	0,45	20
Q. Sin Nombre 7	0,75	30
Q. Sin Nombre 8	0,56	20
Q. Sin Nombre 9	0,95	35

### 3.2.2 Crecientes lentas

Las inundaciones por desborde de cauces en general no son fenómenos súbitos, avanzan en forma progresiva en las áreas bajas. Para el presente trabajo se consideró que una **inundación lenta** es un evento que ocurre en un plazo (generalmente mayor que 6 horas) después del final del evento causante (lluvias fuertes, deshielo o roturas de presas) que potencialmente puede resultar en muertes, lesiones y/o daños significativos a la propiedad.

Los cuerpos de agua que generan inundaciones lentas son:

- Río Magdalena
- Río Opón
- Caño Cardales
- Ciénaga de San Silvestre
- Ciénaga Juan Esteban
- Ciénaga Miramar

### 3.2.3 Consideraciones sociales

Normalmente el riesgo se presenta en zonas donde la población ocupa zonas inundables de los cuerpos de agua en la zona urbana de Barrancabermeja. Sin embargo, hay situaciones donde el riesgo se genera debido a la construcción de estructuras hidráulicas sobre las quebradas, las cuales, al no tener capacidad hidráulica suficiente, elevan los niveles de inundación hacia aguas arriba y aceleran las velocidades de flujo hacia aguas abajo, aumentando considerablemente la extensión de las zonas con amenaza hasta llegar a sitios ocupados, donde en condiciones naturales no debería existir riesgo. Por lo tanto, como se describe más adelante en el presente documento, es necesario tomar medidas de reducción del riesgo debido a esta problemática. A continuación, se ilustran la problemática mencionada.

**Fotografía 3.1 Zona inundable sector quebrada Lavanderas**



**Fotografía 3.2 Zona inundable sector quebrada Sin Nombre 2 (ciénaga del Rosario)**



**Fotografía 3.3 Lleno con escombros en zona inundable (humedal)**



**Fotografía 3.4 Invasión del cauce quebrada Pozo Siete**



**Fotografía 3.5 Canalización en ramal de quebrada Las Camelias**



**Fotografía 3.6 Invasión llanura quebrada Las Camelias**



### **3.2.4 Unidades de Análisis**

Con el objetivo de definir medidas de reducción del riesgo (prevención y mitigación) que se adapten a las condiciones específicas de la problemática en las diferentes zonas del área urbana, se deben definir las unidades básicas de análisis.

La cuenca constituye una unidad adecuada para la planificación ambiental del territorio, dado que sus límites fisiográficos se mantienen en un tiempo considerablemente mayor a otras unidades de análisis, además involucra una serie de factores y elementos tanto espaciales como sociales, que permiten una comprensión integral de la realidad del territorio (MADS, 2014). Algunas de las razones que explican este contexto son:

- *"Las cuencas constituyen un área donde interactúan, en un proceso permanente y dinámico, el agua con los sistemas físicos (recursos naturales) y bióticos (flora y fauna). Los cambios en el uso de los recursos naturales, principalmente tierra, acarrearán aguas arriba una modificación del ciclo hidrológico dentro de la cuenca aguas abajo en cantidad, calidad, oportunidad y lugar."*
- *"En las cuencas, se produce la interrelación e interdependencia entre los sistemas físicos y bióticos y el sistema socio económico (...) La dependencia de un sistema hídrico compartido y de los caminos y vías de acceso y el hecho de que deban enfrentar riesgos similares, confieren a los habitantes de una cuenca características socioeconómicas y culturales comunes."*

De esta forma, se define que las cuencas de los diferentes cuerpos lénticos y lóticos en el área urbana del municipio deberán ser consideradas como las unidades básicas de análisis en la gestión del riesgo. Estas unidades son:

- **Cuenca Quebrada Las Lavanderas:** hasta la descarga en la ciénaga Miramar.
- **Cuenca Quebrada Las Camelias:** hasta la descarga en la ciénaga Miramar.
- **Cuenca Quebrada Pozo Siete:** hasta la descarga en el humedal El Castillo.
- **Cuenca Quebrada Zonas Expansión Sur:** hasta la descarga en la ciénaga Juan Esteban.
- **Cuenca Quebrada Sin Nombre 1:** hasta la descarga en la ciénaga Juan Esteban.
- **Cuenca Quebrada Sin Nombre 2:** hasta la descarga en la ciénaga San Silvestre.
- **Cuenca Quebrada Sin Nombre 3:** hasta la descarga en la ciénaga San Silvestre.
- **Cuenca Quebrada Sin Nombre 4:** hasta la descarga en la ciénaga San Silvestre.
- **Cuenca Quebrada Sin Nombre 5:** hasta la descarga en la ciénaga San Silvestre.
- **Cuenca Quebrada Sin Nombre 6:** hasta la descarga en la ciénaga San Silvestre.
- **Cuenca Quebrada Sin Nombre 7:** hasta la descarga en la ciénaga San Silvestre.
- **Cuenca Quebrada Sin Nombre 8:** hasta la descarga en la ciénaga San Silvestre.
- **Cuenca Quebrada Sin Nombre 9:** hasta la descarga en la ciénaga San Silvestre.
- **Cuenca Ciénaga San Silvestre:** excluyendo las cuencas que las cuencas de las quebradas sin nombre 2 a 9.
- **Cuenca Ciénaga Miramar:** excluyendo la cuenca de la quebrada Las Lavanderas y Las Camelias
- **Cuenca Ciénaga Juan Esteban**
- **Cuenca Humedal El Castillo:** excluyendo la cuenca de la quebrada Pozo Siete
- **Cuenca Río Magdalena:** que se intercepta con el área urbana del municipio, pero que no pertenece a las demás cuencas ya mencionadas.

## 4 GESTIÓN DEL RIESGO

La Gestión del Riesgo consiste en una serie de actividades diseñadas para reducir las pérdidas de vida humanas y la destrucción de propiedades e infraestructuras. Los resultados de este proceso continuo de manejo o gestión de riesgos contemplan las siguientes medidas:

- **Medidas para disminuir** el riesgo de desastres a largo plazo (**prevención y mitigación**), eliminando sus causas como la intensidad de los fenómenos, la exposición y el grado de vulnerabilidad.
- **Medidas para preparación** cuyo objetivo es asegurar una respuesta apropiada en caso de necesidad, incluyendo alertas tempranas oportunas y eficaces, así como evacuación temporal de la población y bienes de zona amenazadas.
- **Medidas de respuesta** cuando está sucediendo o ha sucedido un desastre (manejo o gestión de desastres, recuperación y reconstrucción).

En el presente trabajo se plantean una serie de medidas requeridas para la gestión del riesgo en todo el territorio estudiado y posteriormente se especifica las zonas donde son aplicables cada una de las actividades requeridas para la gestión del riesgo en cada unidad territorial las cuales se definieron anteriormente como las cuencas hidrográficas.

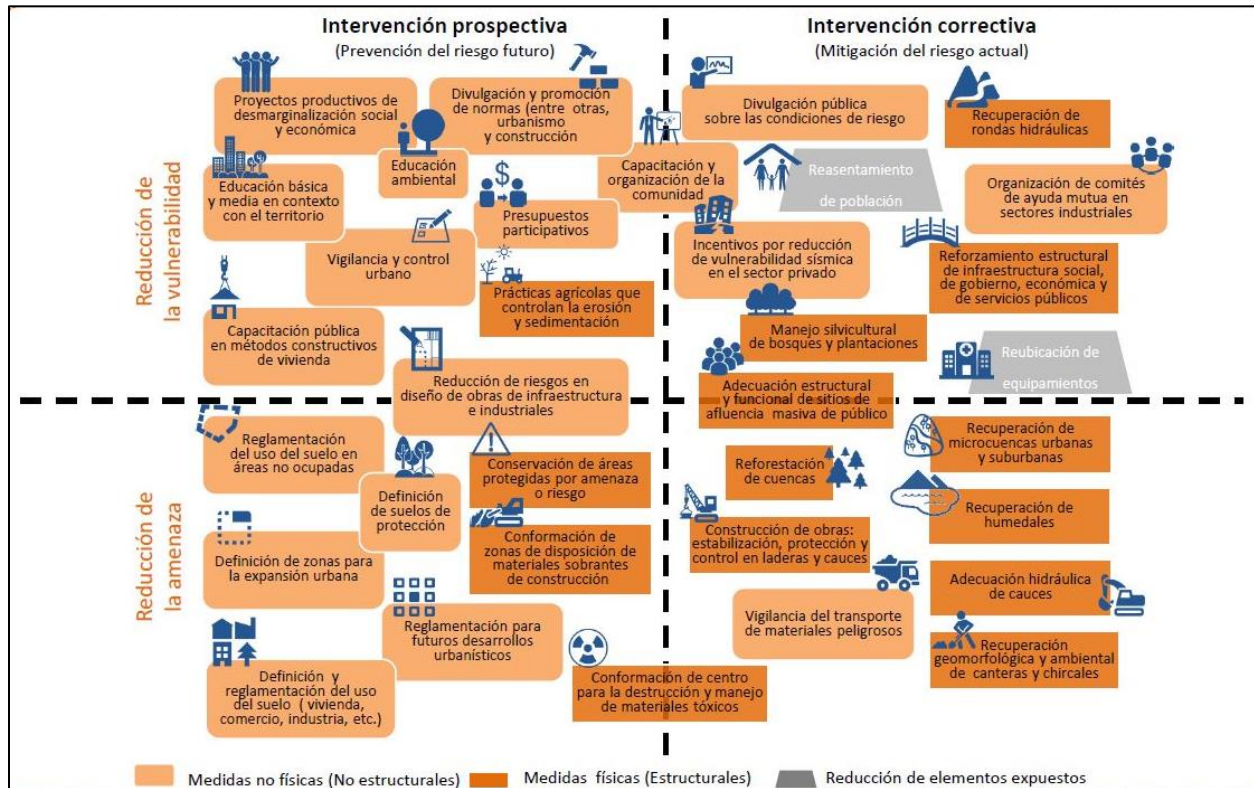
### 4.1 MEDIDAS GENERALES PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO Y LA AMENAZA

En la literatura existen diversas medidas para la gestión del riesgo por inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, entre otros. Estas medidas son aplicables según el contexto ambiental y social del territorio, el cual corresponde al área urbana del municipio de Barrancabermeja. En la Figura 4.1 se presentan diversas medidas para la gestión del riesgo y la forma en la que se relacionan. Estas se clasifican en:

- **Medidas prospectivas:** corresponden a medidas enfocadas a evitar que se generen condiciones de riesgo a futuro. Están enfocadas en la planeación de las zonas en condición de amenaza, ya sea para la reducción de esta o de la vulnerabilidad de los elementos expuestos.
- **Medidas correctivas:** son medidas enfocadas a mitigar el riesgo actual, esta está enfocada en la reducción de la amenaza y de la vulnerabilidad en las zonas con condición de riesgo.

En el presente trabajo, dado que el alcance corresponde a estudios básicos, se plantean medidas no estructurales, aunque se propone, en algunos casos, el posible desarrollo de algunas medidas estructurales para la mitigación de las zonas con condición de riesgo.

**Figura 4.1 Medidas para la gestión del riesgo por inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa**



Fuente: UNGRD

#### 4.1.1 Medidas de prevención

A continuación, se describen las medidas enfocadas a la prevención del riesgo, las cuales son aplicables en zonas con condición de amenaza (ver 3.1.3).

##### 4.1.1.1 Reducción de la amenaza

- Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas
  1. Definición de suelos de protección: se plantea para cada unidad de análisis con base en el tipo de amenaza y la viabilidad de utilizarla para el desarrollo de ciertas actividades
  2. Reglamentación de usos del suelo: posibles usos del suelo con sus respectivas restricciones.
  3. Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos: definir densidades, ocupación y edificabilidad.
  4. Definición y delimitación de rondas hídricas: la corporación autónoma regional debe definir las rondas hídricas de cada una de las quebradas en el municipio, o en su defecto aprobar los estudios realizados.
- Reducción de riesgo en diseño de obras de infraestructura

El diseño de obras hidráulicas, tales como puentes, box culverts, tuberías, entre otros, se realizarán con base en modelos hidráulicos detallados, integrados a un modelo de desarrollo urbano, que consideren de una forma adecuada las condiciones de borde de los cauces

estudiados, y que permitan evaluar el impacto de la construcción de la obra sobre las demás obras localizadas hacia aguas arriba y aguas abajo; garantizando que el desarrollo de ésta no incremente las condiciones de amenaza y riesgo en todo el tramo de influencia.

El diseño de las obras debe considerar escenarios de cambio climático, con el objetivo de que las obras no presenten insuficiencia hidráulica en el medio y largo plazo.

Una de las grandes problemáticas generalizadas a todo el municipio corresponde la insuficiencia hidráulica de las obras de cruce (puentes, box culverts y tuberías), la cual puede deberse al incremento en los caudales máximo como consecuencia de los cambios en los usos del suelo no proyectados. De esta forma, el municipio debe plantear los diferentes escenarios de crecimiento (cambio de uso del suelo) para los cuales se deben estimar los caudales de diseño.

#### **4.1.1.2 Reducción de la vulnerabilidad**

- Divulgación pública sobre las condiciones de amenaza y riesgo

La gestión del riesgo de desastres debe aumentar la resiliencia de las comunidades ante los desastres mediante la información y participación de todos sus integrantes, orientándose de acuerdo con las características diferenciales, culturales, y de género. Se busca la participación social con enfoques proactivos, integrados, multisectoriales y previsores para fomentar una cultura ante los desastres y una fuerte participación comunitaria en campañas constantes de educación de la ciudadanía y en consultas públicas a todos los niveles de la sociedad.

Mediante esta actividad se busca mejorar el entendimiento de la comunidad sobre los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, así como de las medidas de prevención y mitigación que se ejecutarán en el corto, mediano y largo plazo.

Se organizarán talleres participativos, foros, mesas de trabajo, seminarios y cursos, en los cuales hagan presencia las entidades encargadas de la gestión de riesgo (alcaldía, cuerpo de bomberos, cruz roja, consejo del riesgo, policía nacional, ejército) y la población, especialmente la potencialmente afectada.

La mejora en el entendimiento de estos conceptos permitirá involucrar a la población en los planes de gestión de riesgo; reporte de eventos, monitoreo de zonas con amenaza, ejecución adecuada de los planes de contingencia en caso de presentarse un evento, entre otros.

- Educación ambiental

Realizar campañas de educación ambiental, en las cuales se concientice a las personas, acerca de las graves implicaciones que tienen la disposición inadecuada de basuras y escombros en cauces y llanuras aluviales de las quebradas sobre los eventos de inundación.

Una de las grandes problemáticas generalizadas a todo el municipio corresponde la insuficiencia hidráulica de las obras de cruce (box culverts y tuberías), la cual en muchas ocasiones se debe a la obstrucción por parte de elementos de gran tamaño (colchones y muebles) arrastrados durante los eventos de creciente.

Realizar jornadas periódicas de limpieza de cauces y estructuras hidráulicas (mínimo cada seis meses).

- Presupuestos participativos

Se deben crear, por parte de las entidades territoriales (municipio y corporación autónoma), presupuestos participativos, mediante los cuales los actores sociales implicados, puedan



exponer de una manera adecuada sus problemáticas y decidir sobre las posibles acciones a desarrollar para la prevención del riesgo.

El mecanismo más eficiente corresponde al desarrollo de mesas de trabajo para los actores sociales localizados en cada una de las unidades territoriales (cuencas hidrográficas) definidas para la gestión del riesgo.

▪ Capacitación pública en métodos constructivos de vivienda

Con base en la reglamentación definida para los usos del suelo y el desarrollo urbanístico según el POT, se debe realizar capacitaciones sobre los métodos constructivos de vivienda adecuados según las condiciones de amenaza y riesgo. Los parámetros mínimos que deben de cumplir los métodos constructivos de vivienda son:

- Cumplimiento de la norma sismorresistente NSR10
- Conocidas las condiciones de amenaza, se debe garantizar el desarrollo estructuras con un índice de vulnerabilidad de bajo y el planteamiento de las respectivas medidas de mitigación del riesgo, sin que estas afecten desfavorablemente las condiciones de riesgo de las zonas aledañas.

▪ Vigilancia y control

Si no existen, se deben generar herramientas mediante las cuales los actores sociales involucrados en la gestión del riesgo puedan realizar una vigilancia y control del desarrollo de todas las medidas planteadas para la gestión del riesgo por inundación. Si ya existen dichas herramientas, se debe garantizar el acceso a las mismas.

▪ Capacitación y organización de la comunidad

Se conformarán comités locales de gestión del riesgo, los cuales deberán estar compuestos preferiblemente por los miembros más activos e influyentes de la comunidad, los cuales deberán ser capacitados en diversos aspectos de la gestión del riesgo tales como:

- Cooperación en el desarrollo de presupuestos participativos.
- Vigilancia y control del desarrollo de las medidas propuestas en el plan de gestión del riesgo.
- Se capacitarán en los planes de educación ambiental para que de esta forma puedan educar a sus respectivas comunidades en la conservación de los cauces y sus respectivas llanuras de inundación. Podrán encargarse de la coordinación de actividades de limpieza de las corrientes de agua.
- Empoderamiento durante el desarrollo y la ejecución del plan de movilización ante la ocurrencia de eventos de desastre.

▪ Cuantificación del riesgo

Elaboración de estudios de riesgo detallado en zonas identificadas como prioritarias debido a los altos costos, ya sea en infraestructura o pérdidas humanas, generados por eventos de desastre.

En la sección 0, del presente trabajo se definen las zonas que requieren con mayor urgencia la elaboración de estudios detallados de riesgo, los cuales deberán cumplir con los alcances especificados en el decreto 1077 de 2015.

▪ Divulgación de planes de movilización

Se divulgarán los planes de movilización desarrollados por las entidades encargadas de las medidas de reacción ante la ocurrencia de un evento de desastre (bomberos, policía, ejército, entre otras), en las cuales se les deberá dar claridad a la comunidad sobre las respectivas rutas de evacuación, sitios de encuentro y alberges.

#### 4.1.2 Medidas de mitigación

A continuación, se describen las medidas enfocadas a la mitigación del riesgo, las cuales son aplicables en zonas con condición de riesgo (ver 3.1.2).

##### 4.1.2.1 Reducción de la amenaza

- Reforestación de cuencas hidrográficas

Se reforestarán las unidades del suelo con aptitud de uso adecuada, preferiblemente en las partes altas de las cuencas. Esto con el objetivo de disminuir la cantidad de escorrentía directa que genera los eventos de inundación.

- Recuperación de cuencas urbanas y suburbanas

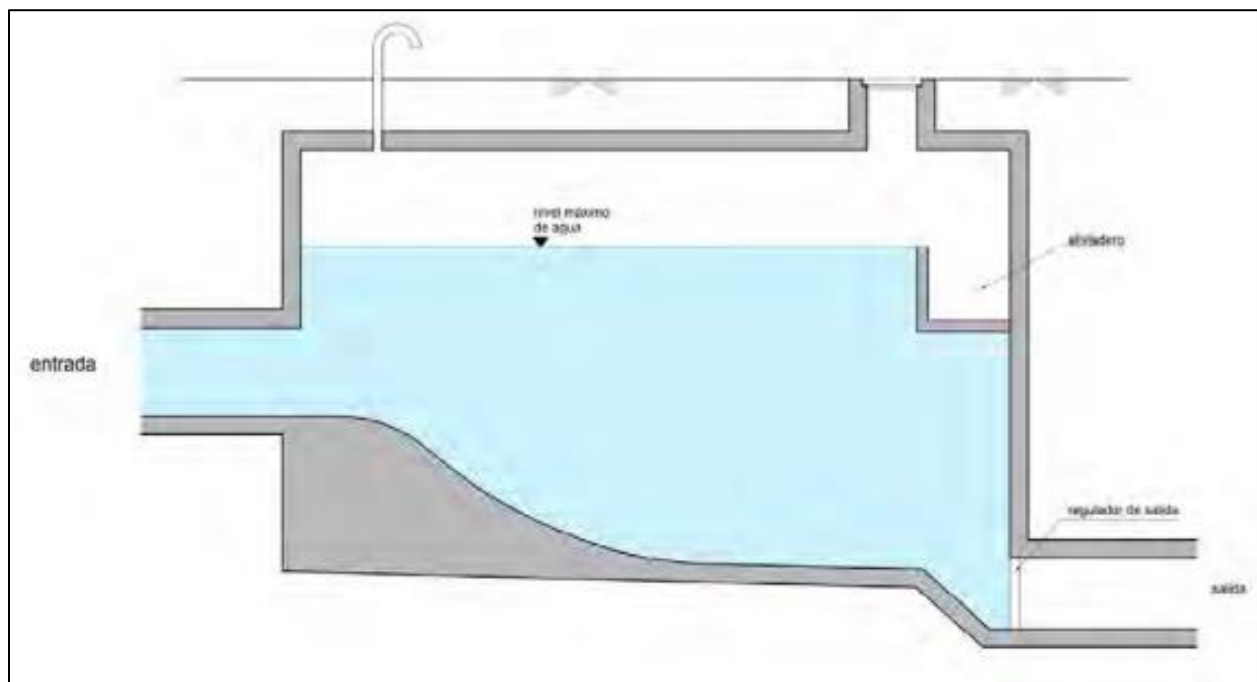
Las zonas identificadas como de riesgo no mitigable se declararán áreas de protección y serán utilizadas para el desarrollo de un plan de recuperación de cuencas urbanas el cual consiste en el desarrollo de las siguientes actividades:

- Reforestación de las partes altas de las cuencas
- Eliminación de estructuras hidráulicas como presas que o diques de captación que interfieran con la dinámica fluvial de la quebrada.
- Restauración de cauces.

- Amortiguación de crecientes

Dada la naturaleza de algunas quebradas del municipio, es factible proponer medidas de amortiguación de las crecientes. Para ello se plantea el desarrollo de una serie de tanques de tormenta o tanques de retención, los cuales se pueden distribuir a lo largo de la red de drenaje para amortiguar el pico de los caudales de creciente, cuando el cauce exhibe una insuficiencia hidráulica, generalmente debido a la canalización de un tramo o a la existencia de estructuras hidráulicas deficientes. Para la implementación de esta medida se debe realizar un estudio hidráulico de detalle.

**Figura 4.2 Esquema general de un tanque de tormenta**



▪ Recuperación y mantenimiento de humedales

Las zonas delimitadas físicamente como humedales deberán ser consideradas zonas de protección y no se le dará un uso diferente al de conservación.

Para las zonas de amortiguamiento de los cauces se definirán los siguientes usos:

- Recreación: parques ecológicos, parques lineales y zonas recreativas
- Vivienda: se debe evaluar mediante estudios de detalle la viabilidad de permitir la permanencia de proyectos de vivienda en las zonas de amortiguamiento, esto teniendo en cuenta que las comunidades han interactuado por un largo plazo con dichas zonas. Sin embargo, no se deberá permitir el desarrollo urbanístico en estas zonas

Dentro del plan de recuperación y mantenimiento de humedales se desarrollarán las siguientes actividades:

- Talleres de educación ambiental sobre la importancia de la conservación de humedales y su importancia en la regulación de caudales durante eventos de creciente y sequía.
- Jornadas de limpieza de los humedales.
- Mantenimiento de los cauces afluentes a los humedales
- Garantizar la no afectación sobre las características ecológica de los humedales (para el caso de Barrancabermeja, la problemática obedece a un tema de saneamiento)

Con el objetivo de proteger los humedales de una forma eficiente se construirán barreras vivas con vegetación propia de las zonas de amortiguamiento.

▪ Recuperación fluvial

Se realizará la restitución de las condiciones naturales del cauce, eliminando estructuras de control sobre el mismo y permitiendo que este retome su cauce natural, respetando las llanuras de inundación delimitadas mediante un estudio geomorfológico de detalle.

Estas medidas apuntan a restablecer el estado natural y el funcionamiento de los ríos y sus ambientes de ribera, proporcionando el marco para un uso sostenible, procurando satisfacer al mismo tiempo los objetivos socioeconómicos de la población. Para ello es necesario como medida complementaría el reasentamiento de la población.

**Figura 4.3** Recuperación fluvial de un cauce



Fuente: <http://www.eawag.ch/>

- Construcción de obras de estabilización, protección y control

Para la determinación de las zonas donde se requiera la construcción de obras de estabilización, protección y control, se deberá desarrollar un estudio de detalle.

#### **4.1.2.2 Reducción de la vulnerabilidad**

- Sistemas de alerta temprana y predicción de inundaciones

Se instalará un sistema de alerta acoplado a un modelo de predicción de inundaciones que permitirá dar un aviso inmediato ante la ocurrencia de un evento de inundación y ejecutar los planes de movilización para la prevención de pérdidas de vidas humanas y, de ser posible, minimizar las pérdidas materiales.

- Reforzamiento estructural de la infraestructura y redes de servicios públicos

Se deberá garantizar que las estructuras hidráulicas existentes tengan la capacidad para evacuar los caudales de diseño asociados a los diferentes niveles de amenaza, así mismo, estas no deben afectar el funcionamiento de otras estructuras hacia aguas arriba o aguas abajo. Esta medida, por ser de tipo estructural, solo puede ser definida con un estudio de detalle.

Las redes de servicio público, en lo posible deben evitar pasar por zonas en condición de amenaza y riesgo. De no ser posible evitar tal situación, se debe garantizar una vulnerabilidad baja o nula, mediante el diseño de medidas de mitigación de la amenaza.

- Elaboración y actualización de censos

Se elaborará como mínimo un censo de la población localizada en las zonas de condición de amenaza, con el objetivo de que, en los estudios de riesgo detallados, sea posible cuantificar de una manera adecuada las afectaciones sobre las personas (lesiones personales, pérdida de vidas y pérdidas socioeconómicas).

Estos censos serán de gran utilidad para la definición de medidas de reacción ante la ocurrencia de eventos de inundación ya que permiten estimar el número de personas afectadas de

- Reasentamiento de la población

Entre las diferentes estrategias de prevención de riesgo que se adelantan en el país se encuentra el reasentamiento de poblaciones localizadas en áreas de riesgo no mitigable, es decir, aquellos riesgos que no pueden reducirse con ninguna otra medida o que su costo resulta tan alto que es más económico reasentar a la población.

Entre los reasentamientos preventivos que se han llevado a cabo, se destacan los del municipio San Cayetano, en Cundinamarca, con 10.000 personas, los reasentamientos en la ciudad de Medellín, de 45.000 personas, y los de Bogotá, de 65.000 personas, aproximadamente (Banco Mundial, 2011).

- Recuperación de rondas hídricas

Anteriormente, se describió la medida de manejo de delimitación de rondas hídricas, en la cual se establece que, con base en estudios de detalle se deben delimitar las rondas hídricas de las quebradas localizadas en el área urbana. La presente medida de manejo plantea el reasentamiento de la población localizada en las llanuras de inundación de las quebradas en combinación con un plan recuperación fluvial, el cual consiste en el desmonte de las estructuras hidráulicas que afectan las condiciones naturales del cauce y sus respectivas llanuras de inundación.

- Protección o reubicación de equipamientos

Los equipamientos tales como hospitales, clínicas, colegios, sedes administrativas de gobierno, estaciones de policía y bomberos, subestaciones eléctricas, plantas de potabilización y plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros, deben permanecer operativos durante la ocurrencia de un evento de desastre. De esta manera se define que todos los equipamientos localizados en zonas de riesgo no mitigable deben ser relocalizadas en zonas con riesgo nulo, ya sea por inundación, avenidas torrenciales o movimientos en masa.

En caso tal de que el equipamiento se encuentre localizado en zonas de riesgo mitigable, se debe dar prioridad al estudio detallado de riesgo y planteamiento de medidas de reducción del riesgo que garantiza que éste será nulo.

## **4.2 ZONIFICACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN**

En la sección anterior se describieron todas posibles medidas de reducción del riesgo que pueden ser implementadas en el área urbana de Barrancabermeja. Estas medidas pueden ser aplicables o no aplicables en cada una de las unidades de análisis definidas (cuencas hidrográficas urbanas).

A continuación, se describen cuales medidas pueden ser aplicadas en ~~cada una~~ una de las zonas de análisis, detallando medidas adicionales que se requieran para su implementación específica según la naturaleza del evento amenazante (sección 3.2).

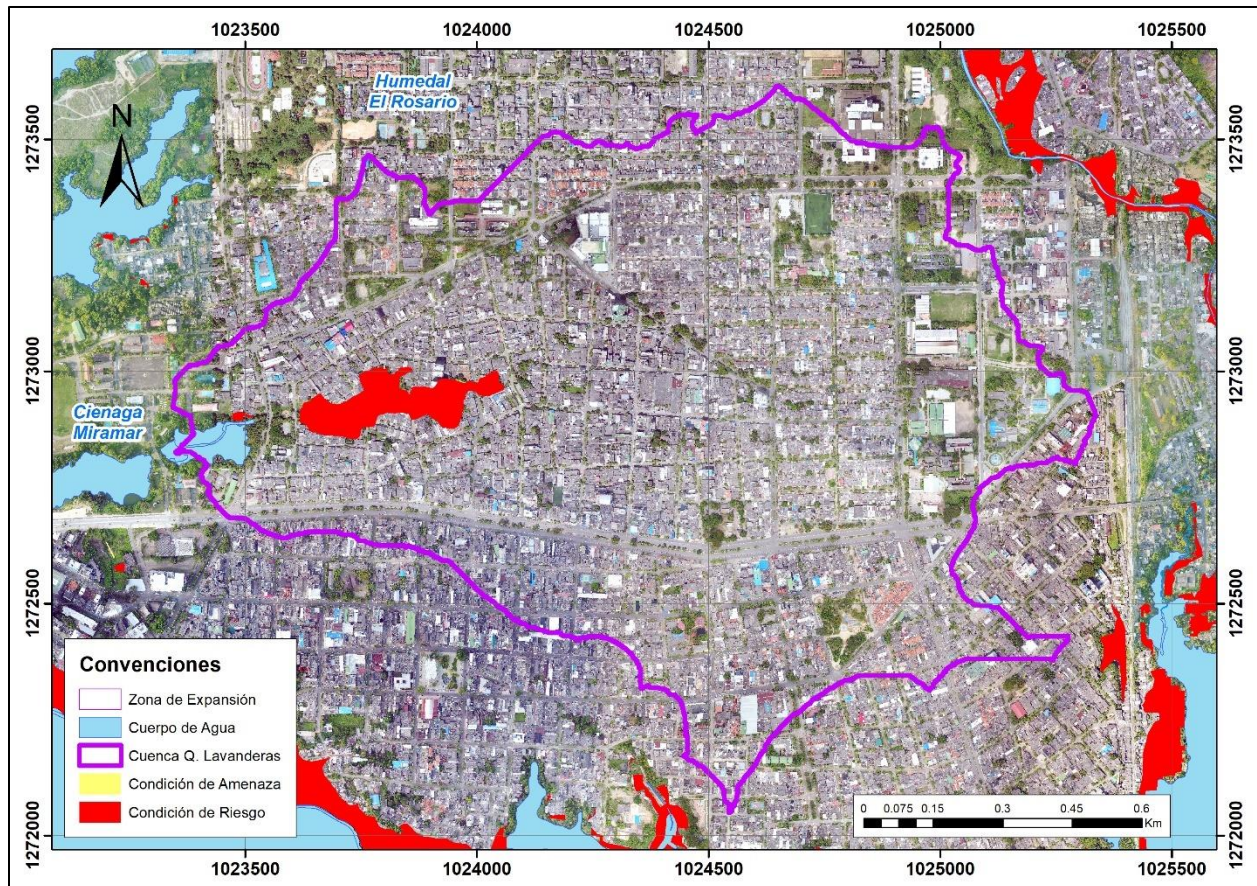
#### 4.2.1 Medidas generales

Se han definido algunas medidas de reducción del riesgo que deben ser aplicadas de manera general para cualquiera de las unidades de análisis:

- **Medidas de Prevención (4.1.1)**
  - **Reducción de la vulnerabilidad (4.1.1.2)**
    - Divulgación pública sobre las condiciones de amenaza y riesgo
    - Educación ambiental
    - Presupuestos participativos
    - Capacitación pública en métodos constructivos
    - Vigilancia y control
    - Capacitación y organización de la comunidad
    - Divulgación de planes de movilización
- **Medidas de Mitigación (4.1.2)**
  - **Reducción de la vulnerabilidad (4.1.2.2)**
    - Reforzamiento estructural de la infraestructura y redes de servicios
    - Elaboración y actualización de censos
    - Reubicación de equipamiento

## 4.2.2 Cuenca Quebrada Las Lavanderas

**Figura 4.4 Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Lavanderas**



### 4.2.2.1 Generales

- *Cuantificación del riesgo*

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado de la quebrada Lavanderas en la zona definida con condición de riesgo. Dicho estudio deberá cumplir con los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015 y las recomendaciones descritas en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente a las zonas identificadas en el presente estudio, se deberá analizar las unidades cartográficas que sean identificables a la escala de trabajo mínima del estudio detallado (1:2.000).

La cuantificación del riesgo se deberá realizar mediante la metodología de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA) descrita en la sección 2.2 del presente trabajo.

### 4.2.2.2 Zonas en condición de amenaza

- *Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas*

**Definición de suelos de protección:** no se definen zonas de protección para esta unidad de análisis.

**Reglamentación de usos del suelo:** para las zonas con condición de amenaza, para las categorías media y alta, se debe asignar un uso diferente al de construcción de infraestructura, tales como reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

Para las zonas de amenaza baja se deberá garantizar que los diseños de los proyectos a desarrollar presenten una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos:** se recomienda desarrollar únicamente desarrollos urbanísticos en zonas con amenaza baja donde se garantice una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Definición y delimitación de rondas hídricas:** con base en la reglamentación vigente se deben definir las rondas hídricas de las quebradas y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- Reducción del riesgo en diseño de obras de infraestructura

Cualquier zona susceptible al desarrollo de un proyecto de infraestructura, deberá considerar dentro de sus diseños hidráulicos, los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

#### **4.2.2.3 Zonas en condición de riesgo**

- Reforestación de cuencas hidrográficas

Como se observa en la Figura 4.4, la mayor parte de la cuenca se encuentra urbanizada, no se considera que la reforestación sea una medida efectiva para la mitigación de la amenaza.

- Recuperación de cuencas urbanas y suburbanas

Como se observa en la Figura 4.4, la mayor parte de la cuenca se encuentra urbanizada, no se considera factible desarrollar un proyecto de recuperación de cuenca.

- Amortiguación de crecientes

Dadas las condiciones de presión social sobre el cauce de la quebrada, es probable que, en el estudio detallado de riesgo, mediante la evaluación cuantitativa del riesgo, éste deba ser mitigado mediante obras de estabilización, protección y control.

Dada la complejidad de la problemática de inundación, sumada a las bajas pendientes del terreno, lo cual dificulta el drenaje de la escorrentía y favorece al retro-flujo por el sistema de alcantarillado, es probable que un sistema de amortiguación de crecientes mediante un sistema de tanque de tormentas sea una medida efectiva para la reducción de la amenaza. Por lo tanto, debe considerarse como una alternativa de mitigación en el desarrollo de los estudios detallados.

- Recuperación y mantenimiento de humedales

Esta medida no aplica para esta unidad de análisis

- Recuperación fluvial

Dada la densidad de ocupación sobre el cauce y la llanura de inundación de las quebradas Las Lavanderas, no se considera viable, en el corto plazo, realizar una recuperación fluvial de su cauce.



▪ Construcción de obras de estabilización, protección y control

Como se describió anteriormente, los cauces del municipio se encuentran obstruidos por obras con insuficiencia hidráulica. De esta manera se plantea que, durante los estudios detallados de riesgo, dentro del apartado de modelación hidráulica, se evalué la suficiencia hidráulica de cada una de estas obras y se plante, dentro de las posibles alternativas de mitigación, el remplazo de las obras hidráulicas existentes y que el diseño de las nuevas estructuras considere los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

▪ Sistemas de alerta temprana y predicción de inundaciones

Se instalará un sistema de alerta temprana el cual debe cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

- Instalación de un sensor de nivel en la parte media de la cuenca, el cual deberá enviar los datos en tiempo real al organismo encargado de ejecutar los planes de contingencia ante la posible ocurrencia de un evento de desastre.
- Instalación de un pluviógrafo en la parte alta de la cuenca, el cual deberá enviar datos en tiempo real.
- Instalación de medidores de niveles freáticos (opcional)
- Desarrollo de un modelo hidrológico/hidráulico para la predicción de eventos extremos, el cual se debe alimentar con los datos en tiempo real y emitir señales de alerta en caso de ser necesario.
- Sistema de alerta mediante alarmas que den aviso a la comunidad en los tiempos definidos en los planes de contingencia ante la ocurrencia de un evento extremo.
- El sistema puede ser integrado con los sistemas de alerta definidos para las otras unidades de planeación.

▪ Reasentamiento de la población

Se debe evaluar mediante un análisis cuantitativo del riesgo y la viabilidad de desarrollar alguna de las alternativas planteadas para su mitigación; de ser inviables se debe plantear el reasentamiento de la población en zonas sin riesgo.

Esta medida se realizará únicamente con base en un estudio detallado, ya que mediante este análisis no se encontró una razón válida para sugerir el reasentamiento de población en esta unidad de planeación dentro de la gestión del riesgo.

▪ Recuperación de rondas hídricas

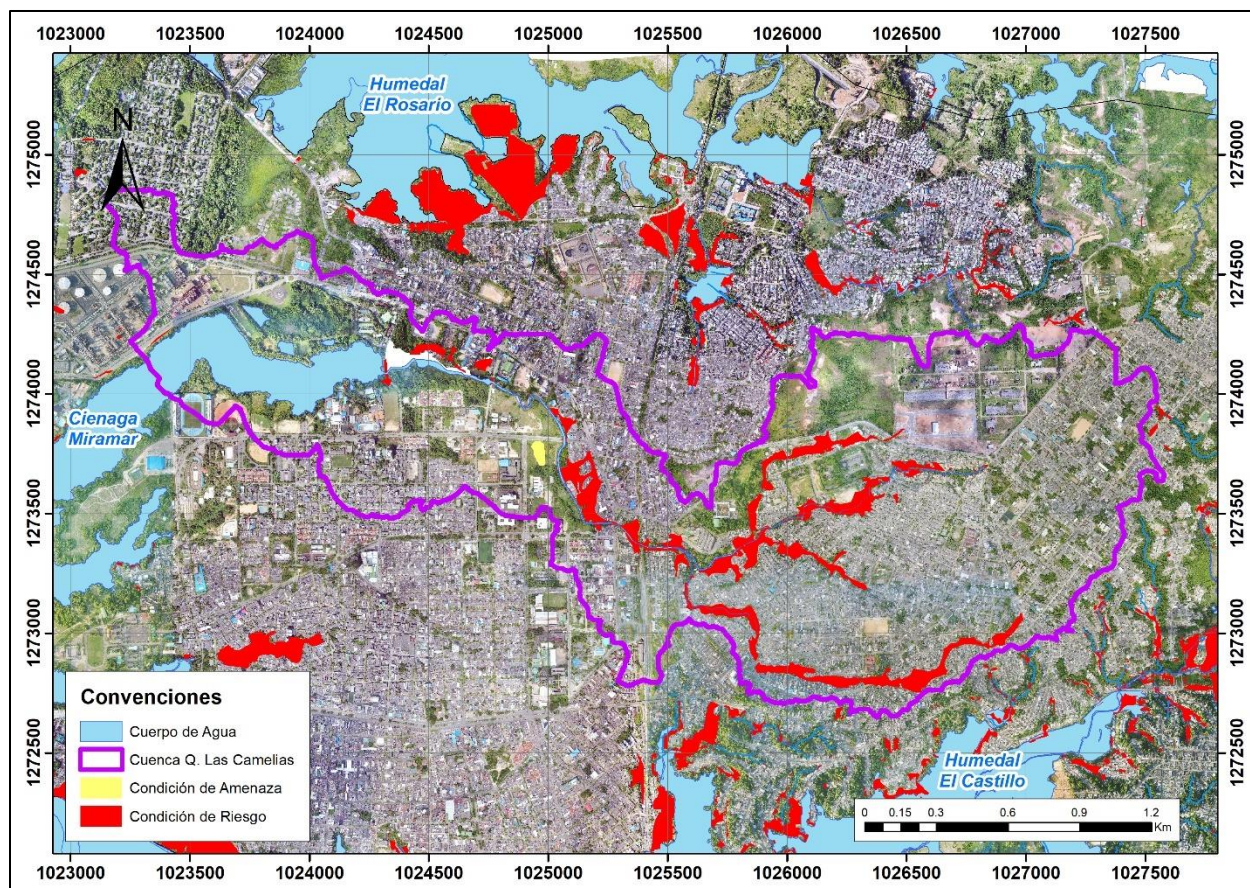
La recuperación de rondas hídricas corresponde a la ejecución de un conjunto de medidas ya definidas como lo son:

- Delimitación de las rondas hídricas
- Reasentamiento de la población localizada en las rondas hídricas
- Definición de suelos de protección y conservación de las rondas hídricas
- Recuperación fluvial
- Desarrollo de proyectos de reforestación

Sin embargo, se considera una medida compleja de ejecutar en la cuenca de la quebrada Las Lavanderas.

### 4.2.3 Cuenca Quebrada Las Camelias

**Figura 4.5 Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Las Camelias**



#### 4.2.3.1 Generales

- *Cuantificación del riesgo*

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado de la quebrada Las Camelias en la zona definida con condición de riesgo. Dicho estudio deberá cumplir con los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015 y las recomendaciones descritas en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente a las zonas identificadas en el presente estudio, se deberá analizar las unidades cartográficas que sean identificables a la escala de trabajo mínima del estudio detallado (1:2.000).

La cuantificación del riesgo se deberá realizar mediante la metodología de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA) descrita en la sección 2.2 del presente trabajo.

#### 4.2.3.2 Zonas en condición de amenaza

- *Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas*

**Definición de suelos de protección:** no se definen zonas de protección para esta unidad de análisis.

**Reglamentación de usos del suelo:** para las zonas con condición de amenaza, para las categorías media y alta, se debe asignar un uso diferente al de construcción de infraestructura, tales como reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

Para las zonas de amenaza baja se deberá garantizar que los diseños de los proyectos a desarrollar presenten una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos:** se recomienda desarrollar únicamente desarrollos urbanísticos en zonas con amenaza baja donde se garantice una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Definición y delimitación de rondas hídricas:** con base en la reglamentación vigente se deben definir las rondas hídricas de las quebradas y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- Reducción del riesgo en diseño de obras de infraestructura

Cualquier zona susceptible al desarrollo de un proyecto de infraestructura, deberá considerar dentro de sus diseños hidráulicos, los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

#### **4.2.3.3 Zonas en condición de riesgo**

- Reforestación de cuencas hidrográficas

Como se observa en la Figura 4.5, aunque la mayor parte de la cuenca se encuentra urbanizada, hay algunos sectores que aún se encuentran conservados, siendo zonas aptas para la reforestación o la conservación de esta.

- Recuperación de cuencas urbanas y suburbanas

Como se observa en la Figura 4.5, aunque la mayor parte de la cuenca se encuentra urbanizada, hay algunos sectores que aún se encuentran conservados, siendo factible realizar un proyecto de recuperación de cuenca sobre la parte alta de esta.

- Amortiguación de crecientes

Dadas las condiciones de presión social sobre el cauce de la quebrada, es probable que, en el estudio detallado de riesgo, mediante la evaluación cuantitativa del riesgo, éste deba ser mitigado mediante obras de estabilización, protección y control.

Dada la complejidad de la problemática de inundación, sumada a las bajas pendientes del terreno, lo cual dificulta el drenaje de la escorrentía y favorece al retro-flujo por el sistema de alcantarillado, es probable que un sistema de amortiguación de crecientes mediante un sistema de tanque de tormentas sea una medida efectiva para la reducción de la amenaza. Por lo tanto, debe considerarse como una alternativa de mitigación en el desarrollo de los estudios detallados.

- Recuperación y mantenimiento de humedales

Esta medida no aplica para esta unidad de análisis

- Recuperación fluvial

Dada la densidad de ocupación sobre el cauce y la llanura de inundación de las quebradas Las Camelias, no se considera viable, en el corto plazo, realizar una recuperación fluvial de su cauce.

▪ Construcción de obras de estabilización, protección y control

Como se describió anteriormente, los cauces del municipio se encuentran obstruidos por obras con insuficiencia hidráulica. De esta manera se plantea que, durante los estudios detallados de riesgo, dentro del apartado de modelación hidráulica, se evalué la suficiencia hidráulica de cada una de estas obras y se plante, dentro de las posibles alternativas de mitigación, el remplazo de las obras hidráulicas existentes y que el diseño de las nuevas estructuras considere los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

▪ Sistemas de alerta temprana y predicción de inundaciones

Se instalará un sistema de alerta temprana el cual debe cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

- Instalación de un sensor de nivel en la parte media de la cuenca, el cual deberá enviar los datos en tiempo real al organismo encargado de ejecutar los planes de contingencia ante la posible ocurrencia de un evento de desastre.
- Instalación de un pluviógrafo en la parte alta de la cuenca, el cual deberá enviar datos en tiempo real.
- Instalación de medidores de niveles freáticos (opcional)
- Desarrollo de un modelo hidrológico/hidráulico para la predicción de eventos extremos, el cual se debe alimentar con los datos en tiempo real y emitir señales de alerta en caso de ser necesario.
- Sistema de alerta mediante alarmas que den aviso a la comunidad en los tiempos definidos en los planes de contingencia ante la ocurrencia de un evento extremo.
- El sistema puede ser integrado con los sistemas de alerta definidos para las otras unidades de planeación.

▪ Reasentamiento de la población

Se debe evaluar mediante un análisis cuantitativo del riesgo y la viabilidad de desarrollar alguna de las alternativas planteadas para su mitigación; de ser inviables se debe plantear el reasentamiento de la población en zonas sin riesgo.

Esta medida se realizará únicamente con base en un estudio detallado, ya que mediante este análisis no se encontró una razón válida para sugerir el reasentamiento de población en esta unidad de planeación dentro de la gestión del riesgo.

▪ Recuperación de rondas hídricas

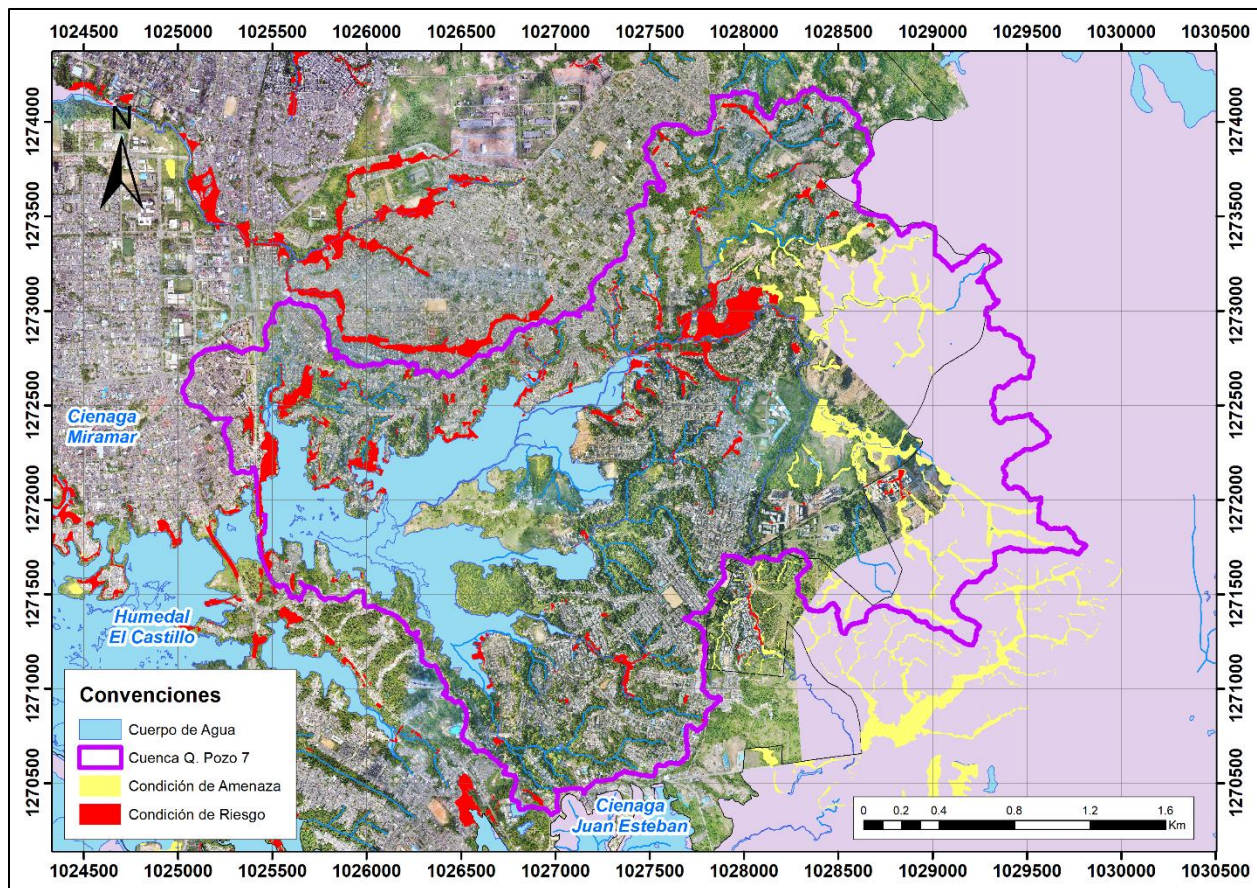
La recuperación de rondas hídricas corresponde a la ejecución de un conjunto de medidas ya definidas como lo son:

- Delimitación de las rondas hídricas
- Reasentamiento de la población localizada en las rondas hídricas
- Definición de suelos de protección y conservación de las rondas hídricas
- Recuperación fluvial
- Desarrollo de proyectos de reforestación

Sin embargo, se considera una medida compleja de ejecutar en la cuenca de la quebrada Las Camelias.

#### 4.2.4 Cuenca Quebrada Pozo Siete

**Figura 4.6 Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Pozo Siete**



##### 4.2.4.1 Generales

- *Cuantificación del riesgo*

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado de la quebrada Pozo Siete en la zona definida con condición de riesgo. Dicho estudio deberá cumplir con los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015 y las recomendaciones descritas en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente a las zonas identificadas en el presente estudio, se deberá analizar las unidades cartográficas que sean identificables a la escala de trabajo mínima del estudio detallado (1:2.000).

La cuantificación del riesgo se deberá realizar mediante la metodología de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA) descrita en la sección 2.2 del presente trabajo.

#### **4.2.4.2 Zonas en condición de amenaza**

- *Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas*

**Definición de suelos de protección:** se definirán como zonas de protección aquellas zonas inundables por el humedal el castillo. Para su definición se deberá realizar un estudio de detalle o en su defecto delimitar las zonas inundables con base en cartografía 1:2.000.

**Reglamentación de usos del suelo:** para las zonas con condición de amenaza, para las categorías media y alta, se debe asignar un uso diferente al de construcción de infraestructura, tales como reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

Para las zonas de amenaza baja se deberá garantizar que los diseños de los proyectos a desarrollar presenten una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

Con base en un estudio ambiental se deberá definir un área de amortiguación del humedal, sobre la cual se deberá definirán usos dereforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

**Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos:** se recomienda desarrollar únicamente desarrollos urbanísticos en zonas con amenaza baja donde se garantice una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Definición y delimitación de rondas hídricas:** con base en la reglamentación vigente se deben definir las rondas hídricas de las quebradas y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- *Reducción del riesgo en diseño de obras de infraestructura*

Cualquier zona susceptible al desarrollo de un proyecto de infraestructura, deberá considerar dentro de sus diseños hidráulicos, los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

#### **4.2.4.3 Zonas en condición de riesgo**

- *Reforestación de cuencas hidrográficas*

Como se observa en la Figura 4.6, gran parte de la cuenca se encuentra conservada, siendo zonas aptas para la reforestación o la conservación de esta.

- *Recuperación de cuencas urbanas y suburbanas*

Como se observa en la Figura 4.6, gran parte de la cuenca se encuentra conservada, sin embargo, hay una ocupación importante de zonas inundables por parte de población vulnerable, por lo que esta zona es apta para el desarrollo de un proyecto de recuperación de cuenca, el cual consiste en:

- Reforestación
- Delimitación de ronda hídrica
- Recuperación fluvial
- Recuperación de la ronda hídrica
- Reasentamiento de población
- Reasentamiento de equipamiento

- Amortiguación de crecientes

Dadas las condiciones de presión social sobre el cauce de la quebrada, es probable que, en el estudio detallado de riesgo, mediante la evaluación cuantitativa del riesgo, éste deba ser mitigado mediante obras de estabilización, protección y control.

De no ser posible el desarrollo de la medida de recuperación de cuenca urbana, es probable que un sistema de amortiguación de crecientes mediante un sistema de tanque de tormentas sea una medida efectiva para la reducción de la amenaza. Por lo tanto, debe considerarse como una alternativa de mitigación en el desarrollo de los estudios detallados.

- Recuperación y mantenimiento de humedales

Se ejecutarán las medidas para la recuperación y mantenimiento de humedales descrita en la sección 4.1.2.1 del presente trabajo.

- Recuperación fluvial

Como se describió anteriormente, dadas las condiciones de la cuenca, se considera factible el desarrollo de un proyecto de recuperación fluvial, el cual se debe plantear con base en estudios detallados.

- Construcción de obras de estabilización, protección y control

Como se describió anteriormente, los cauces del municipio se encuentran obstruidos por obras con insuficiencia hidráulica. De esta manera se plantea que, durante los estudios detallados de riesgo, dentro del apartado de modelación hidráulica, se evalué la suficiencia hidráulica de cada una de estas obras y se planteé, dentro de las posibles alternativas de mitigación, el remplazo de las obras hidráulicas existentes y que el diseño de las nuevas estructuras considere los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

- Sistemas de alerta temprana y predicción de inundaciones

Se instalará un sistema de alerta temprana el cual debe cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

- Instalación de un sensor de nivel en la parte media de la cuenca, el cual deberá enviar los datos en tiempo real al organismo encargado de ejecutar los planes de contingencia ante la posible ocurrencia de un evento de desastre.
- Instalación de un pluviógrafo en la parte alta de la cuenca, el cual deberá enviar datos en tiempo real.
- Instalación de medidores de niveles freáticos (opcional)
- Desarrollo de un modelo hidrológico/hidráulico para la predicción de eventos extremos, el cual se debe alimentar con los datos en tiempo real y emitir señales de alerta en caso de ser necesario.
- Sistema de alerta mediante alarmas que den aviso a la comunidad en los tiempos definidos en los planes de contingencia ante la ocurrencia de un evento extremo.
- El sistema puede ser integrado con los sistemas de alerta definidos para las otras unidades de planeación.

- Reasentamiento de la población

Se debe evaluar mediante un análisis cuantitativo del riesgo y la viabilidad de desarrollar alguna de las alternativas planteadas para su mitigación; de ser inviables se debe plantear el reasentamiento de la población en zonas sin riesgo.

Esta medida se realizará con base en un estudio detallado, el cual debe ser prioritario dada la vulnerabilidad de la población.

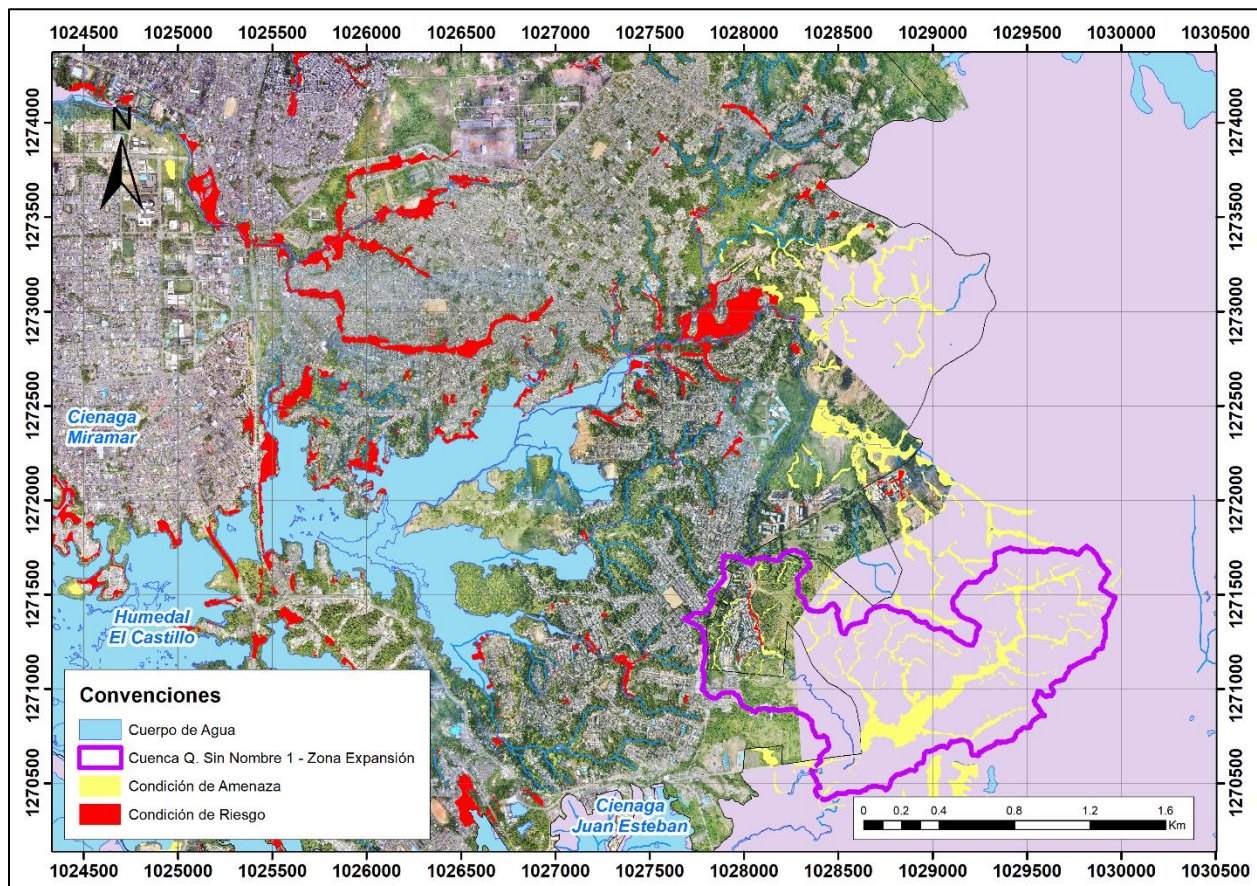
- Recuperación de rondas hídricas

La recuperación de rondas hídricas corresponde a la ejecución de un conjunto de medidas ya definidas como lo son:

- Delimitación de las rondas hídricas
- Reasentamiento de la población localizada en las rondas hídricas
- Definición de suelos de protección y conservación de las rondas hídricas
- Recuperación fluvial
- Desarrollo de proyectos de reforestación

#### 4.2.5 Cuenca Quebrada Zona Expansión Sur (Sin Nombre 1)

**Figura 4.7 Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Zona Expansión Sur**



##### 4.2.5.1 Generales

- Cuantificación del riesgo

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado de la quebrada afluente a que presenta condición de riesgo. Dicho estudio deberá cumplir con los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015 y las recomendaciones descritas en la sección 4.4 del presente trabajo.

La cuantificación del riesgo se deberá realizar mediante la metodología de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA) descrita en la sección 2.2 del presente trabajo.



#### **4.2.5.2 Zonas en condición de amenaza**

- Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas

**Definición de suelos de protección:** no se definen zonas de protección para esta unidad de análisis.

**Reglamentación de usos del suelo:** para las zonas con condición de amenaza, para las categorías media y alta, se debe asignar un uso diferente al de construcción de infraestructura, tales como reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

Para las zonas de amenaza baja se deberá garantizar que los diseños de los proyectos a desarrollar presenten una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos:** se recomienda desarrollar únicamente desarrollos urbanísticos en zonas con amenaza baja donde se garantice una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Definición y delimitación de rondas hídricas:** con base en la reglamentación vigente se deben definir las rondas hídricas de las quebradas y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- Reducción del riesgo en diseño de obras de infraestructura

Cualquier zona susceptible al desarrollo de un proyecto de infraestructura, deberá considerar dentro de sus diseños hidráulicos, los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

#### **4.2.5.3 Zonas en condición de riesgo**

- Reforestación de cuencas hidrográficas

Dado que la cuenca no presenta desarrollo urbanístico significativo, se considera una zona apta para la reforestación o su conservación.

- Recuperación de cuencas urbanas y suburbanas

Dado que la cuenca no presenta desarrollo urbanístico significativo, no se considera necesario elaborar un plan de recuperación de cuenca.

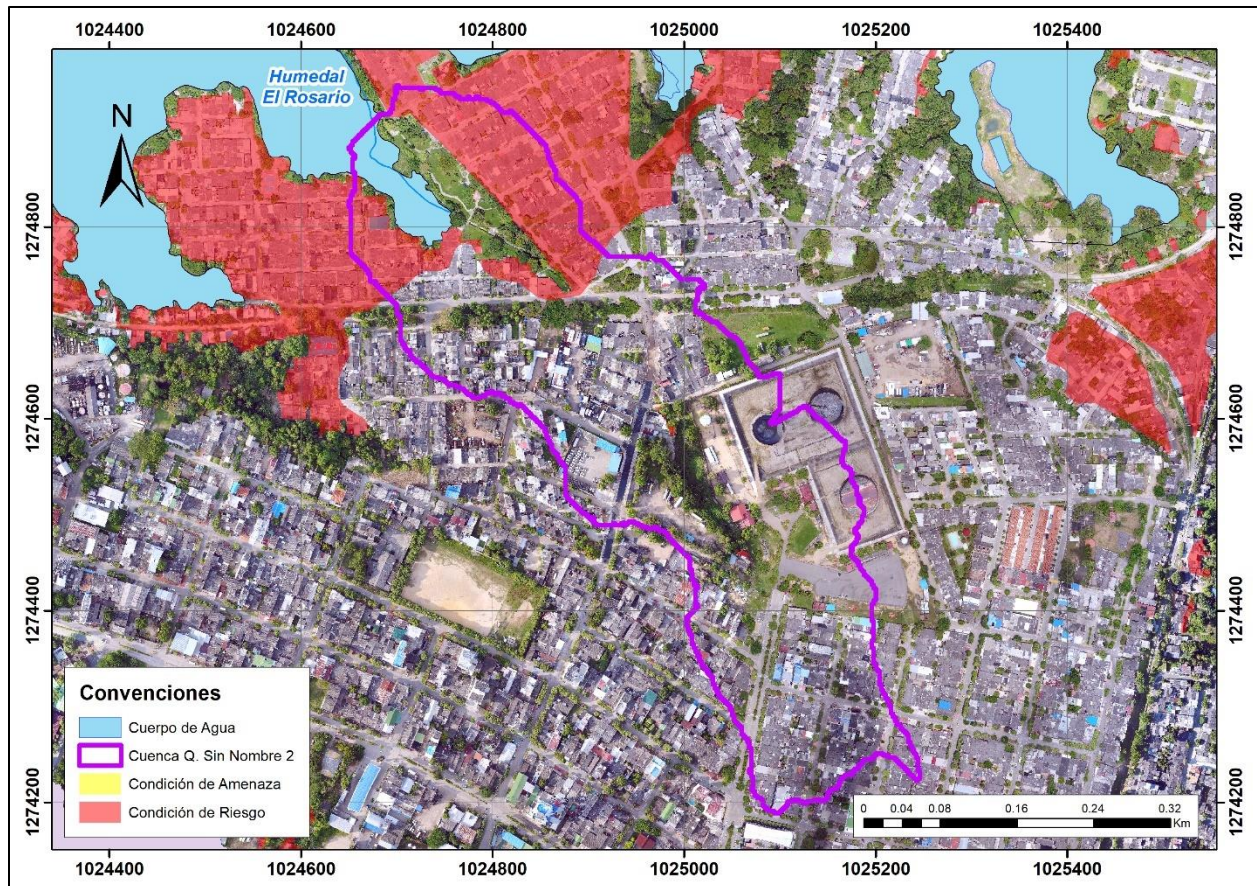
- Reasentamiento de la población

Se debe evaluar mediante un análisis cuantitativo del riesgo y la viabilidad de desarrollar alguna de las alternativas planteadas para su mitigación; de ser inviables se debe plantear el reasentamiento de la población en zonas sin riesgo.

Esta medida se realizará únicamente con base en un estudio detallado, ya que mediante este análisis no se encontró una razón válida para sugerir el reasentamiento de población en esta unidad de planeación dentro de la gestión del riesgo.

#### 4.2.6 Cuenca Quebrada Sin Nombre 2

**Figura 4.8 Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Sin Nombre 2**



##### 4.2.6.1 Generales

- *Cuantificación del riesgo*

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado de la quebrada Sin Nombre 2 en la zona definida con condición de riesgo. Dicho estudio deberá cumplir con los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015 y las recomendaciones descritas en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente a las zonas identificadas en el presente estudio, se deberá analizar las unidades cartográficas que sean identificables a la escala de trabajo mínima del estudio detallado (1:2.000).

La cuantificación del riesgo se deberá realizar mediante la metodología de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA) descrita en la sección 2.2 del presente trabajo.

##### 4.2.6.2 Zonas en condición de amenaza

- *Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas*

**Definición de suelos de protección:** no se definen zonas de protección para esta unidad de análisis.

**Reglamentación de usos del suelo:** para las zonas con condición de amenaza, para las categorías media y alta, se debe asignar un uso diferente al de construcción de infraestructura, tales como reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

Para las zonas de amenaza baja se deberá garantizar que los diseños de los proyectos a desarrollar presenten una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos:** Se recomienda desarrollar únicamente desarrollos urbanísticos en zonas con amenaza baja donde se garantice una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Definición y delimitación de rondas hídricas:** con base en la reglamentación vigente se deben definir las rondas hídricas de las quebradas y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- Reducción del riesgo en diseño de obras de infraestructura

Cualquier zona susceptible al desarrollo de un proyecto de infraestructura, deberá considerar dentro de sus diseños hidráulicos, los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

#### **4.2.6.3 Zonas en condición de riesgo**

- Reforestación de cuencas hidrográficas

Como se observa en la Figura 4.8, la mayor parte de la cuenca se encuentra urbanizada, no se considera que la reforestación sea una medida efectiva para la mitigación de la amenaza.

- Recuperación de cuencas urbanas y suburbanas

Como se observa en la Figura 4.8, la mayor parte de la cuenca se encuentra urbanizada, no se considera factible desarrollar un proyecto de recuperación de cuenca.

- Amortiguación de crecientes

Dado el tamaño de la cuenca (área = 0,17 km<sup>2</sup>), no se considera necesario implementar un sistema de amortiguación de crecientes.

- Recuperación y mantenimiento de humedales

Se ejecutarán las medidas para la recuperación y mantenimiento de humedales descrita en la sección 4.1.2.1 del presente trabajo.

- Recuperación fluvial

Dada la densidad de ocupación sobre el cauce y la llanura de inundación de las quebradas Sin Nombre 2, no se considera viable, en el corto plazo, realizar una recuperación fluvial de su cauce.

- Construcción de obras de estabilización, protección y control

Como se describió anteriormente, los cauces del municipio se encuentran obstruidos por obras con insuficiencia hidráulica. De esta manera se plantea que, durante los estudios detallados de riesgo, dentro del apartado de modelación hidráulica, se evalué la suficiencia hidráulica de cada una de estas obras y se plante, dentro de las posibles alternativas de mitigación, el remplazo de las obras hidráulicas existentes y que el diseño de las nuevas estructuras considere los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente, en la parte baja de la cuenca se presenta una gran influencia de los niveles de la ciénaga de San Silvestre sobre los niveles de inundación. De esta manera se plantea que se deben considerar las medidas de mitigación que se describen en la sección 4.2.10 del presente trabajo.

▪ *Sistemas de alerta temprana y predicción de inundaciones*

Se instalará un sistema de alerta temprana el cual estará integrado al sistema de alerta planteado para la ciénaga de San Silvestre como se describe en la sección 4.2.10 del presente trabajo.

▪ *Reasentamiento de la población*

Se debe evaluar mediante un análisis cuantitativo del riesgo y la viabilidad de desarrollar alguna de las alternativas planteadas para su mitigación; de ser inviables se debe plantear el reasentamiento de la población en zonas sin riesgo.

Esta medida se realizará únicamente con base en un estudio detallado, ya que mediante este análisis no se encontró una razón válida para sugerir el reasentamiento de población en esta unidad de planeación dentro de la gestión del riesgo.

▪ *Recuperación de rondas hídricas*

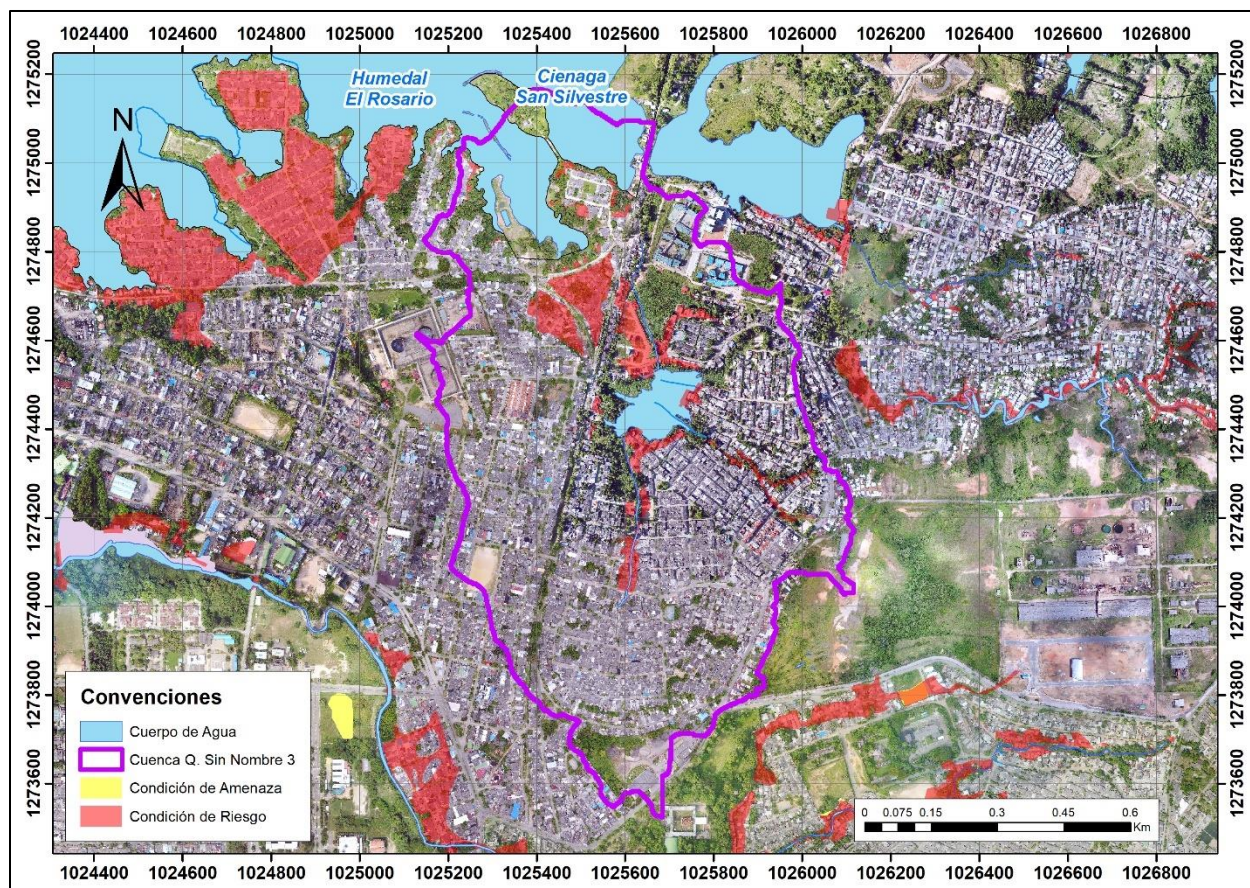
La recuperación de rondas hídricas corresponde a la ejecución de un conjunto de medidas ya definidas como lo son:

- Delimitación de las rondas hídricas
- Reasentamiento de la población localizada en las rondas hídricas
- Definición de suelos de protección y conservación de las rondas hídricas
- Recuperación fluvial
- Desarrollo de proyectos de reforestación

Sin embargo, se considera una medida compleja de ejecutar en la cuenca media y alta de la quebrada Sin Nombre 2.

#### 4.2.7 Cuenca Quebrada Sin Nombre 3

**Figura 4.9 Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Sin Nombre 3**



##### 4.2.7.1 Generales

- *Cuantificación del riesgo*

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado de la quebrada Sin Nombre 3 en la zona definida con condición de riesgo. Dicho estudio deberá cumplir con los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015 y las recomendaciones descritas en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente a las zonas identificadas en el presente estudio, se deberá analizar las unidades cartográficas que sean identificables a la escala de trabajo mínima del estudio detallado (1:2.000).

La cuantificación del riesgo se deberá realizar mediante la metodología de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA) descrita en la sección 2.2 del presente trabajo.

##### 4.2.7.2 Zonas en condición de amenaza

- *Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas*

**Definición de suelos de protección:** no se definen zonas de protección para esta unidad de análisis.

**Reglamentación de usos del suelo:** para las zonas con condición de amenaza, para las categorías media y alta, se debe asignar un uso diferente al de construcción de infraestructura, tales como reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

Para las zonas de amenaza baja se deberá garantizar que los diseños de los proyectos a desarrollar presenten una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos:** se recomienda desarrollar únicamente desarrollos urbanísticos en zonas con amenaza baja donde se garantice una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Definición y delimitación de rondas hídricas:** con base en la reglamentación vigente se deben definir las rondas hídricas de las quebradas y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- Reducción del riesgo en diseño de obras de infraestructura

Cualquier zona susceptible al desarrollo de un proyecto de infraestructura, deberá considerar dentro de sus diseños hidráulicos, los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

#### **4.2.7.3 Zonas en condición de riesgo**

- Reforestación de cuencas hidrográficas

Como se observa en la Figura 4.9, la mayor parte de la cuenca se encuentra urbanizada, no se considera que la reforestación sea una medida efectiva para la mitigación de la amenaza.

- Recuperación de cuencas urbanas y suburbanas

Como se observa en la Figura 4.9, la mayor parte de la cuenca se encuentra urbanizada, no se considera factible desarrollar un proyecto de recuperación de cuenca.

- Amortiguación de crecientes

Dado el tamaño de la cuenca (área = 0,96 km<sup>2</sup>), no se considera necesario implementar un sistema de amortiguación de crecientes.

- Recuperación y mantenimiento de humedales

Se ejecutarán las medidas para la recuperación y mantenimiento de humedales descrita en la sección 4.1.2.1 del presente trabajo.

- Recuperación fluvial

Dada la densidad de ocupación sobre el cauce y la llanura de inundación de las quebradas Sin Nombre 3, no se considera viable, en el corto plazo, realizar una recuperación fluvial de su cauce.

- Construcción de obras de estabilización, protección y control

Como se describió anteriormente, los cauces del municipio se encuentran obstruidos por obras con insuficiencia hidráulica. De esta manera se plantea que, durante los estudios detallados de riesgo, dentro del apartado de modelación hidráulica, se evalué la suficiencia hidráulica de cada una de estas obras y se plante, dentro de las posibles alternativas de mitigación, el remplazo de las obras hidráulicas existentes y que el diseño de las nuevas estructuras considere los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente, en la parte baja de la cuenca se presenta una gran influencia de los niveles de la ciénaga de San Silvestre sobre los niveles de inundación. De esta manera se plantea que se deben considerar las medidas de mitigación que se describen en la sección 4.2.10 del presente trabajo.

▪ *Sistemas de alerta temprana y predicción de inundaciones*

Se instalará un sistema de alerta temprana el cual estará integrado al sistema de alerta planteado para la ciénaga de San Silvestre como se describe en la sección 4.2.10 del presente trabajo.

▪ *Reasentamiento de la población*

Se debe evaluar mediante un análisis cuantitativo del riesgo y la viabilidad de desarrollar alguna de las alternativas planteadas para su mitigación; de ser inviables se debe plantear el reasentamiento de la población en zonas sin riesgo.

Esta medida se realizará únicamente con base en un estudio detallado, ya que mediante este análisis no se encontró una razón válida para sugerir el reasentamiento de población en esta unidad de planeación dentro de la gestión del riesgo.

▪ *Recuperación de rondas hídricas*

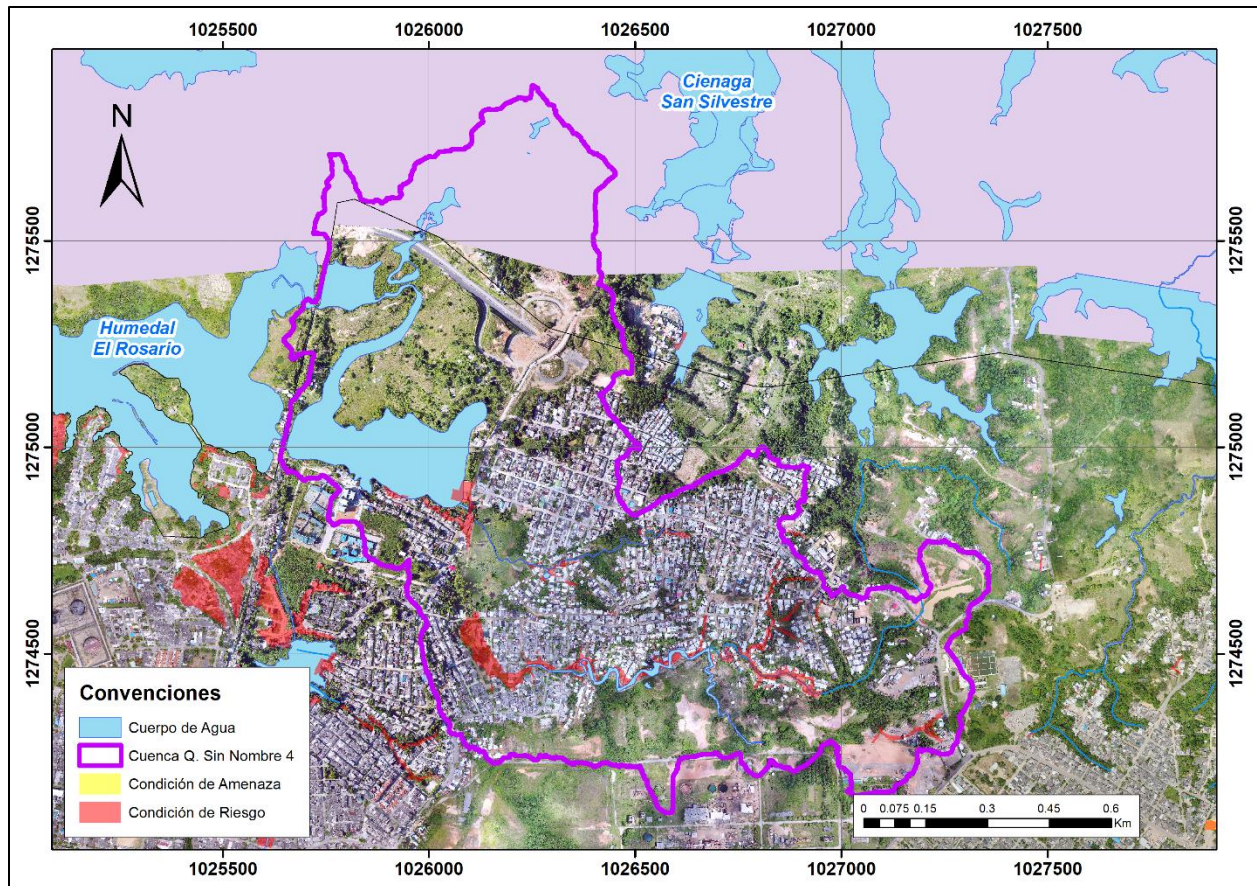
La recuperación de rondas hídricas corresponde a la ejecución de un conjunto de medidas ya definidas como lo son:

- Delimitación de las rondas hídricas
- Reasentamiento de la población localizada en las rondas hídricas
- Definición de suelos de protección y conservación de las rondas hídricas
- Recuperación fluvial
- Desarrollo de proyectos de reforestación

Sin embargo, se considera una medida compleja de ejecutar en la cuenca media y alta de la quebrada Sin Nombre 3.

#### 4.2.8 Cuenca Quebrada Sin Nombre 4

**Figura 4.10 Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Sin Nombre 4**



##### 4.2.8.1 Generales

- *Cuantificación del riesgo*

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado de la quebrada Sin Nombre 4 en la zona definida con condición de riesgo. Dicho estudio deberá cumplir con los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015 y las recomendaciones descritas en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente a las zonas identificadas en el presente estudio, se deberá analizar las unidades cartográficas que sean identificables a la escala de trabajo mínima del estudio detallado (1:2.000).

La cuantificación del riesgo se deberá realizar mediante la metodología de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA) descrita en la sección 2.2 del presente trabajo.

##### 4.2.8.2 Zonas en condición de amenaza

- *Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas*

**Definición de suelos de protección:** no se definen zonas de protección para esta unidad de análisis.



**Reglamentación de usos del suelo:** para las zonas con condición de amenaza, para las categorías media y alta, se debe asignar un uso diferente al de construcción de infraestructura, tales como reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

Para las zonas de amenaza baja se deberá garantizar que los diseños de los proyectos a desarrollar presenten una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos:** se recomienda desarrollar únicamente desarrollos urbanísticos en zonas con amenaza baja donde se garantice una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Definición y delimitación de rondas hídricas:** con base en la reglamentación vigente se deben definir las rondas hídricas de las quebradas y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- Reducción del riesgo en diseño de obras de infraestructura

Cualquier zona susceptible al desarrollo de un proyecto de infraestructura, deberá considerar dentro de sus diseños hidráulicos, los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

#### **4.2.8.3 Zonas en condición de riesgo**

- Reforestación de cuencas hidrográficas

Como se observa en la Figura 4.9, gran parte de la cuenca se encuentra conservada, siendo zonas aptas para la reforestación o la conservación de esta.

- Recuperación de cuencas urbanas y suburbanas

Como se observa en la Figura 4.9, gran parte de la cuenca se encuentra urbanizada, no se considera factible desarrollar un proyecto de recuperación de cuenca en las zonas medias y altas, sin embargo, pudiese considerarse la recuperación de la parte baja.

- Amortiguación de crecientes

Dadas las condiciones de presión social sobre el cauce de la quebrada, es probable que, en el estudio detallado de riesgo, mediante la evaluación cuantitativa del riesgo, éste deba ser mitigado mediante obras de estabilización, protección y control.

Dada la complejidad de la problemática de inundación, sumada a las bajas pendientes del terreno, lo cual dificulta el drenaje de la escorrentía y favorece al retro-flujo por el sistema de alcantarillado, es probable que un sistema de amortiguación de crecientes mediante un sistema de tanque de tormentas sea una medida efectiva para la reducción de la amenaza. Por lo tanto, debe considerarse como una alternativa de mitigación en el desarrollo de los estudios detallados.

- Recuperación y mantenimiento de humedales

Se ejecutarán las medidas para la recuperación y mantenimiento de humedales descrita en la sección 4.1.2.1 del presente trabajo.

- Recuperación fluvial

Dada la densidad de ocupación sobre el cauce y la llanura de inundación de las quebradas Sin Nombre 4, no se considera viable, en el corto plazo, realizar una recuperación fluvial de su cauce.

▪ Construcción de obras de estabilización, protección y control

Como se describió anteriormente, los cauces del municipio se encuentran obstruidos por obras con insuficiencia hidráulica. De esta manera se plantea que, durante los estudios detallados de riesgo, dentro del apartado de modelación hidráulica, se evalué la suficiencia hidráulica de cada una de estas obras y se plante, dentro de las posibles alternativas de mitigación, el remplazo de las obras hidráulicas existentes y que el diseño de las nuevas estructuras considere los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente, en la parte baja de la cuenca se presenta una gran influencia de los niveles de la ciénaga de San Silvestre sobre los niveles de inundación. De esta manera se plantea que se deben considerar las medidas de mitigación que se describen en la sección 4.2.10 del presente trabajo.

▪ Sistemas de alerta temprana y predicción de inundaciones

Se instalará un sistema de alerta temprana el cual estará integrado al sistema de alerta planteado para la ciénaga de San Silvestre como se describe en la sección 4.2.10 del presente trabajo.

▪ Reasentamiento de la población

Se debe evaluar mediante un análisis cuantitativo del riesgo y la viabilidad de desarrollar alguna de las alternativas planteadas para su mitigación; de ser inviables se debe plantear el reasentamiento de la población en zonas sin riesgo.

Esta medida se realizará únicamente con base en un estudio detallado, ya que mediante este análisis no se encontró una razón válida para sugerir el reasentamiento de población en esta unidad de planeación dentro de la gestión del riesgo.

▪ Recuperación de rondas hídricas

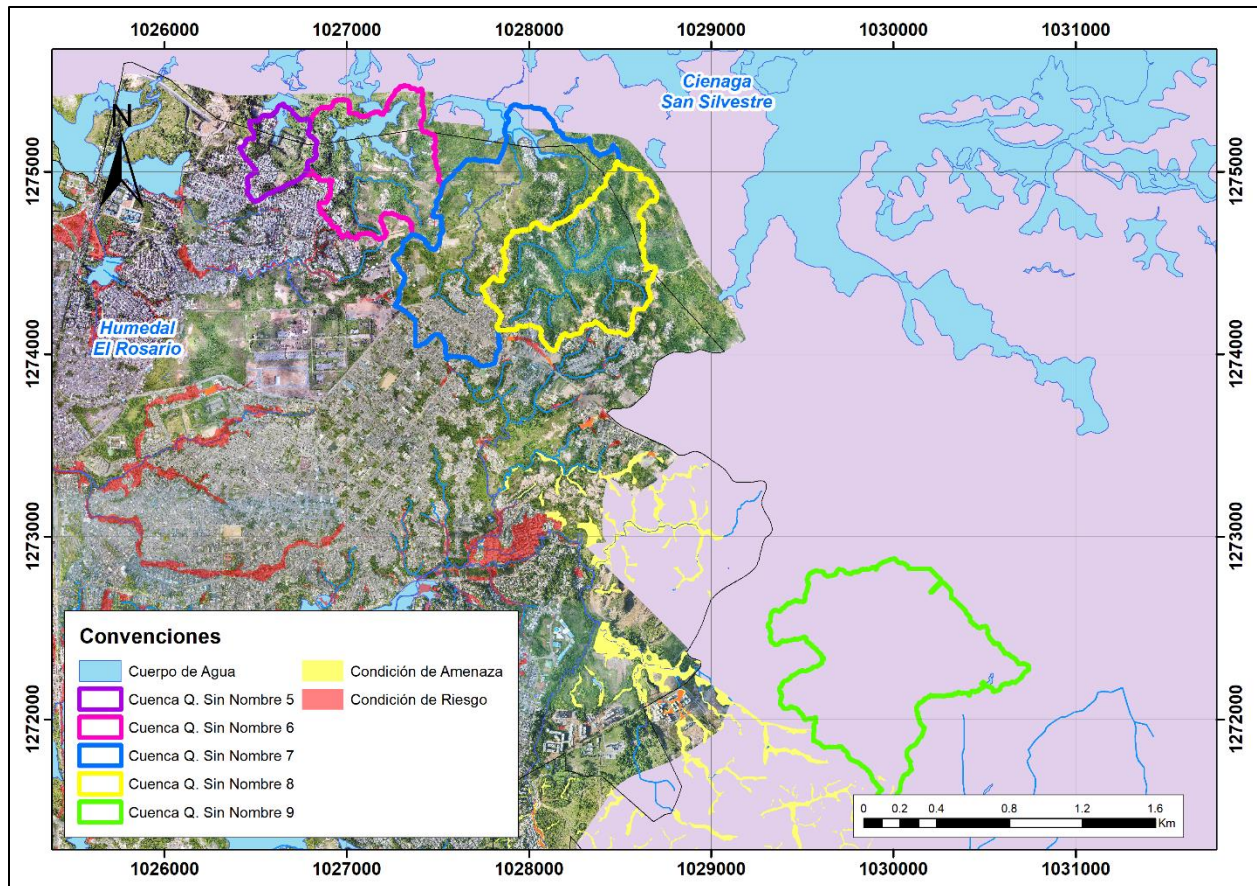
La recuperación de rondas hídricas corresponde a la ejecución de un conjunto de medidas ya definidas como lo son:

- Delimitación de las rondas hídricas
- Reasentamiento de la población localizada en las rondas hídricas
- Definición de suelos de protección y conservación de las rondas hídricas
- Recuperación fluvial
- Desarrollo de proyectos de reforestación

Sin embargo, se considera una medida compleja de ejecutar en la cuenca media y alta de la quebrada Sin Nombre 4.

#### 4.2.9 Cuenca Quebrada Sin Nombre 5 a 9

**Figura 4.11 Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la quebrada Sin Nombre 5 a 9**



##### 4.2.9.1 Zonas en condición de amenaza

Aunque no se identifican zonas con condición de amenaza, se plantean las siguientes restricciones sobre los usos del suelo.

- *Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas*

**Definición de suelos de protección:** no se definen zonas de protección para esta unidad de análisis.

**Reglamentación de usos del suelo:** para las zonas con condición de amenaza, para las categorías media y alta, se debe asignar un uso diferente al de construcción de infraestructura, tales como reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

Para las zonas de amenaza baja se deberá garantizar que los diseños de los proyectos a desarrollar presenten una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos:** se recomienda desarrollar únicamente desarrollos urbanísticos en zonas con amenaza baja donde se garantice una

vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Definición y delimitación de rondas hídricas:** con base en la reglamentación vigente se deben definir las rondas hídricas de las quebradas y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- Reducción del riesgo en diseño de obras de infraestructura

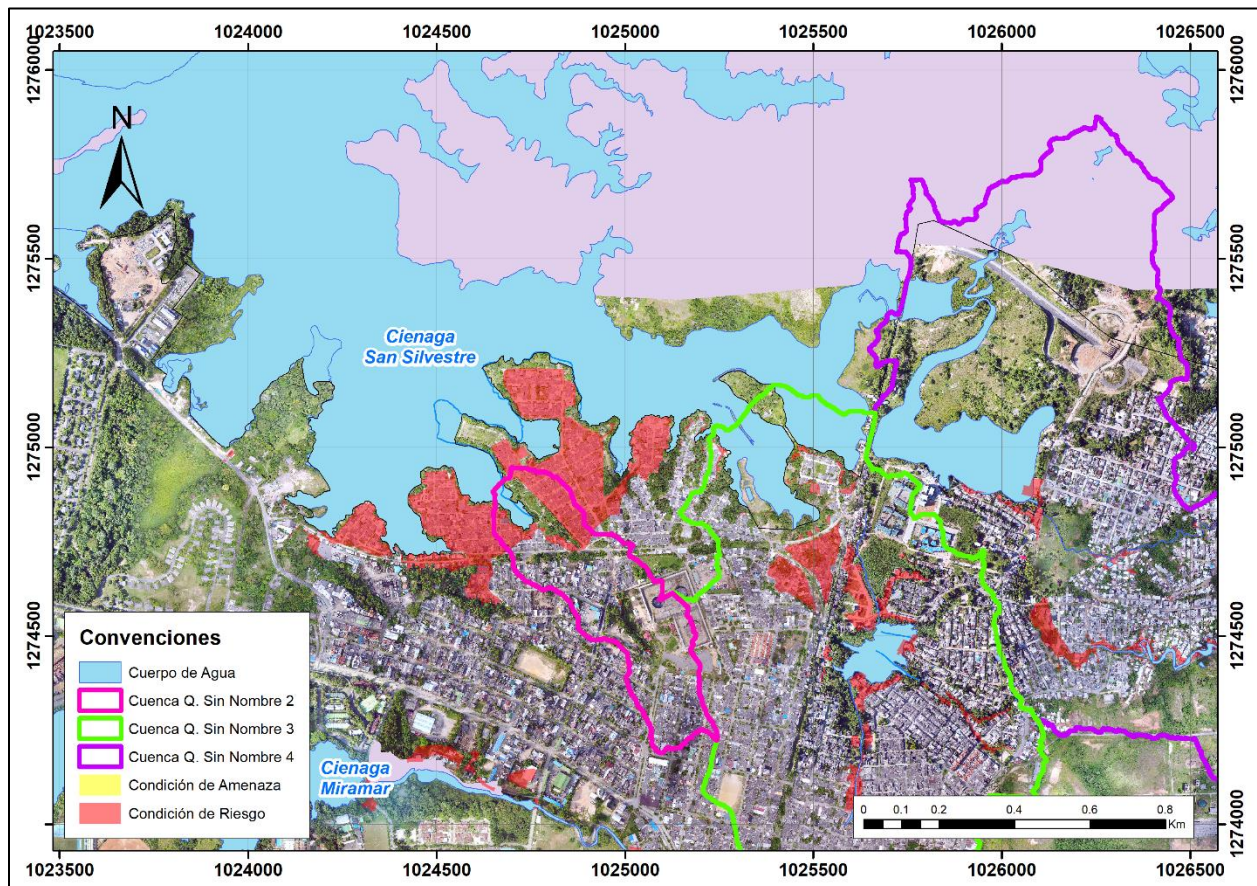
Cualquier zona susceptible al desarrollo de un proyecto de infraestructura, deberá considerar dentro de sus diseños hidráulicos, los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

#### 4.2.9.2 Zonas en condición de riesgo

No se presentan zonas con condición de riesgo.

#### 4.2.10 Cuenca Ciénaga de San Silvestre

**Figura 4.12 Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de la Ciénaga San Silvestre**



Vale la pena aclarar que, para el presente trabajo, la cuenca de la ciénaga de San Silvestre se considera aquella porción de su cuenca que se encuentra en el área urbana del municipio, pero que no está considerada dentro de las áreas de las demás subcuencas.

#### **4.2.10.1      Generales**

- Cuantificación del riesgo

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado de la ciénaga de San Silvestre en la zona definida con condición de riesgo (haciendo énfasis en los barrios Campo Hermoso, Coviba, 20 de Enero, Santa Isabel y Belén). Dicho estudio deberá cumplir con los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015 y las recomendaciones descritas en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente a las zonas identificadas en el presente estudio, se deberá analizar las unidades cartográficas que sean identificables a la escala de trabajo mínima del estudio detallado (1:2.000).

La cuantificación del riesgo se deberá realizar mediante la metodología de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA) descrita en la sección 2.2 del presente trabajo.

#### **4.2.10.2      Zonas en condición de amenaza**

- Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas

**Definición de suelos de protección:** se definirán como zonas de protección aquellas zonas inundables por el humedal el castillo. Para su definición se deberá realizar un estudio de detalle o en su defecto delimitar las zonas inundables con base en cartografía 1:2.000.

**Reglamentación de usos del suelo:** para las zonas con condición de amenaza, para las categorías media y alta, se debe asignar un uso diferente al de construcción de infraestructura, tales como reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

Para las zonas de amenaza baja se deberá garantizar que los diseños de los proyectos a desarrollar presenten una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

Con base en un estudio ambiental se deberá definir un área de amortiguación del humedal, sobre la cual se deberá definirán usos de reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

**Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos:** se recomienda desarrollar únicamente desarrollos urbanísticos en zonas con amenaza baja donde se garantice una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Definición y delimitación de rondas hídricas:** con base en la reglamentación vigente se deben definir las rondas hídricas de las quebradas y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- Reducción del riesgo en diseño de obras de infraestructura

Cualquier zona susceptible al desarrollo de un proyecto de infraestructura, deberá considerar dentro de sus diseños hidráulicos, los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

#### **4.2.10.3      Zonas en condición de riesgo**

- Recuperación y mantenimiento de humedales

Se ejecutarán las medidas para la recuperación y mantenimiento de humedales descrita en la sección 4.1.2.1 del presente trabajo.

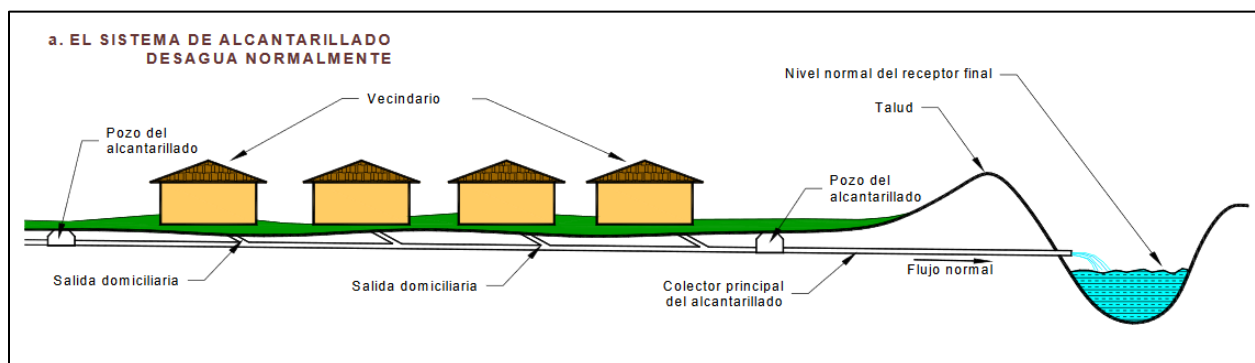
▪ Construcción de obras de estabilización, protección y control

La problemática asociada a las inundaciones en el área de influencia de la ciénaga de San Silvestre suele ser mitigada mediante un sistema de jarillones o muros de contención, conductos cerrados (tuberías), válvulas de contraflujo, pozos de tormenta y bombas hidráulicas.

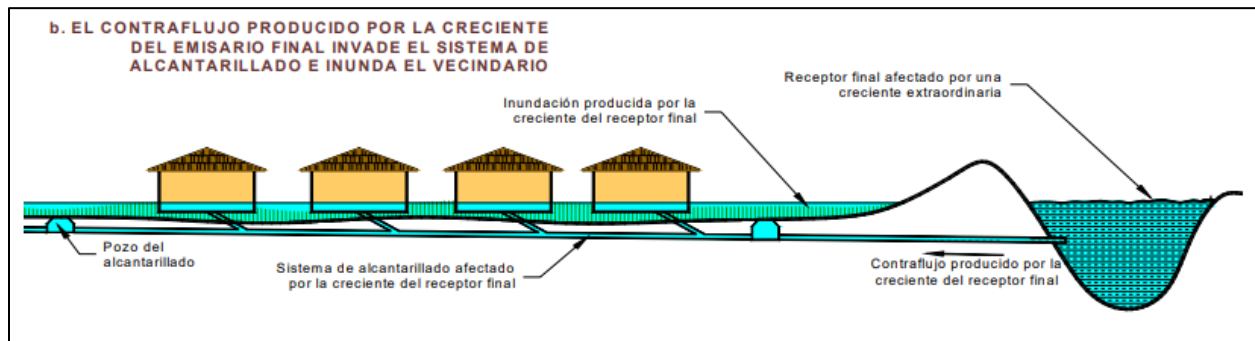
Tal como se ilustra de la Figura 4.13 a la Figura 4.15, el funcionamiento de del sistema consiste en:

- Condiciones normales (Figura 4.13)
  - El sistema de drenaje (canales, tuberías y alcantarillado) descarga libremente sobre el cuerpo de agua
- Condiciones de niveles extremos sin sistema (Figura 4.14)
  - El jarillón evita que los niveles de flujo en el cuerpo de agua inunden la zona urbana.
  - La escorrentía que se recoge en las calles y descarga a través de canales y el sistema de alcantarillado no puede descargar sus aguas libremente al cuerpo de agua, ya que el nivel de este excede el nivel de descarga.
  - Se produce encharcamiento en el área urbana.
- Condiciones de niveles extremos sin sistema (Figura 4.15)
  - El jarillón evita que los niveles de flujo en el cuerpo de agua inunden la zona urbana.
  - La escorrentía que se recoge en las calles y descarga a través de canales y el sistema de alcantarillado no puede descargar sus aguas libremente al cuerpo de agua, ya que el nivel de este excede el nivel de descarga.
  - La válvula de contraflujo evita que el caudal fluya desde el cuerpo de agua hacia las zonas construidas.
  - El agua que no puede ser evacuada por gravedad es recogida en los tanques de tormenta o pozos de retención y bombeados hacia el cuerpo de agua por encima del jarillón.

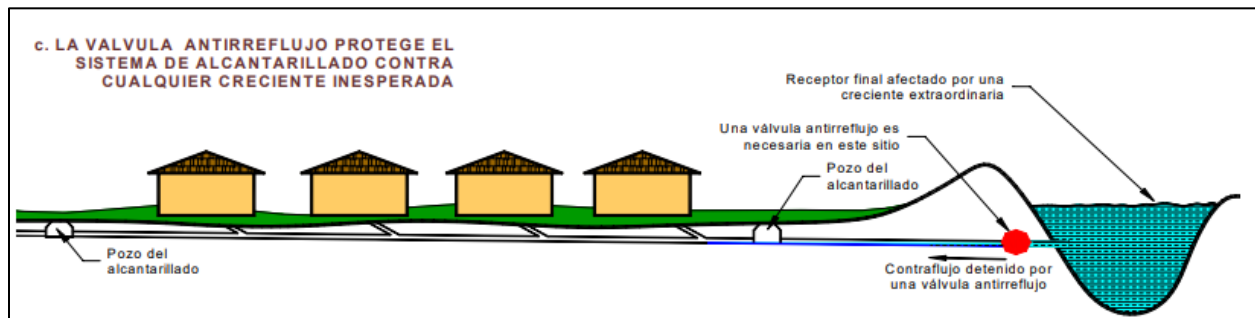
**Figura 4.13 Condiciones de entrega del drenaje urbano en condiciones normales**



**Figura 4.14 Condiciones de entrega del drenaje urbano en condiciones de contraflujo**



**Figura 4.15 Condiciones de entrega del drenaje urbano con el sistema propuesto**



**Fuente:** <http://www.valvulas-var.com.co/esp/catalogo.pdf>

En trabajos previos (Integral, 2013) diseñan el sistema descrito con el objetivo de evitar inundaciones en los barrios Campo Hermoso, 20 de Enero y Coviba. De esta manera, se recomienda la implementación de esta medida y su réplica en zonas con condiciones similares.

▪ Sistemas de alerta temprana y predicción de inundaciones

Se instalará un sistema de alerta temprana el cual debe cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

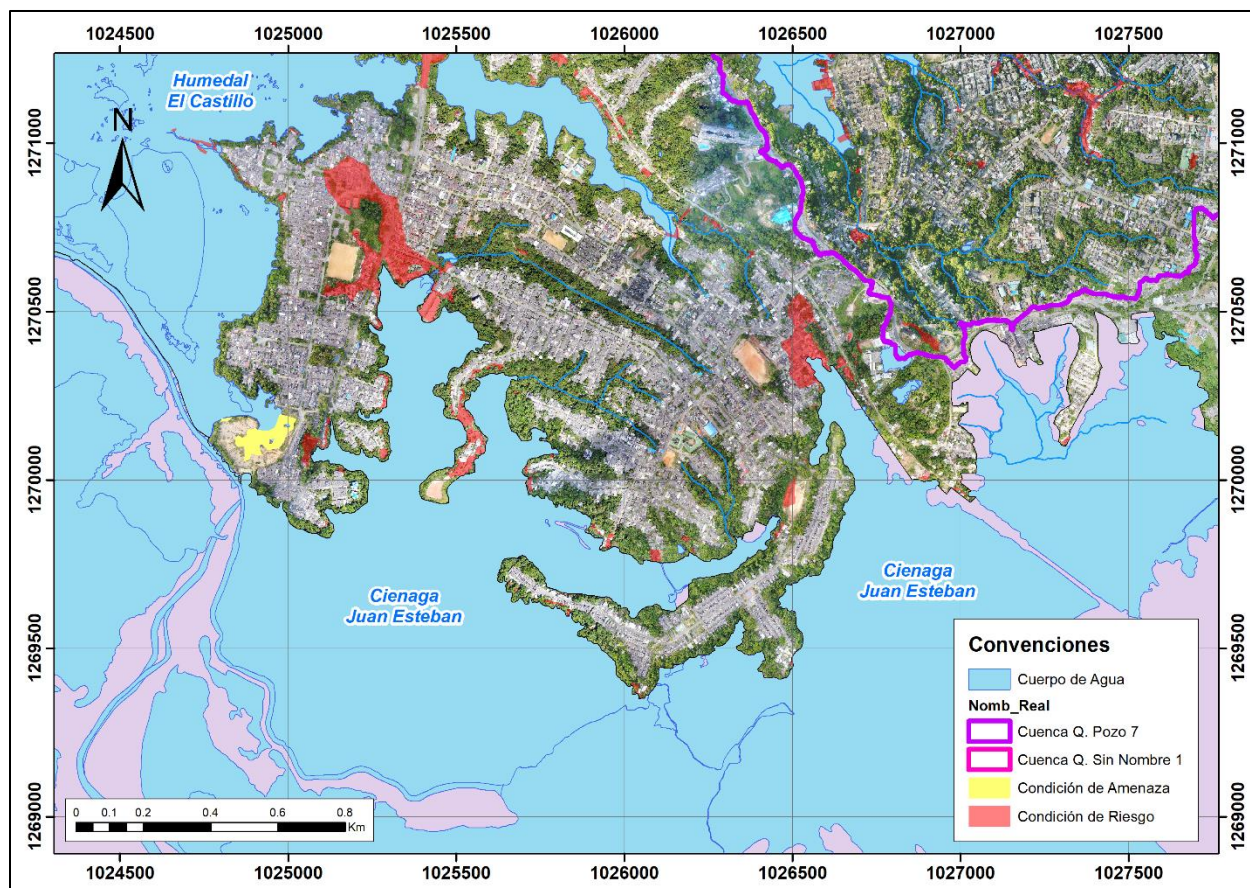
- Instalación de un sensor de nivel en la ciénaga, el cual deberá enviar los datos en tiempo real al organismo encargado de ejecutar los planes de contingencia ante la posible ocurrencia de un evento de desastre.
- Instalación de un pluviógrafo en la parte alta de la cuenca de las cuencas aferentes a la ciénaga de San Silvestre (quebrada Sin Nombre 2 a 9), el cual deberá enviar datos en tiempo real.
- Sistema de alerta mediante alarmas que den aviso a la comunidad en los tiempos definidos en los planes de contingencia ante la ocurrencia de un evento extremo.
- El sistema puede ser integrado con los sistemas de alerta definidos para las otras unidades de planeación.

▪ Reasentamiento de la población

Se debe evaluar mediante un análisis cuantitativo del riesgo y la viabilidad de desarrollar alguna de las alternativas planteadas para su mitigación; de ser inviables se debe plantear el reasentamiento de la población en zonas sin riesgo. Esta medida se realizará únicamente con base en un estudio detallado.

#### 4.2.11 Cuenca Ciénaga de Juan Esteban

**Figura 4.16 Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca de Ciénaga Juan Esteban**



Vale la pena aclarar que, para este trabajo, la cuenca de la ciénaga de Juan Esteban se considera aquella que porción de su cuenca que se encuentra en el área urbana del municipio, pero que no está considerada dentro de las áreas de las demás subcuencas.

##### 4.2.11.1 Generales

###### ▪ Cuantificación del riesgo

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado de la ciénaga de Juan Esteban en la zona definida con condición de riesgo (haciendo énfasis en los barrios El Cincuentenario, Nuevo Milenio, Constelación 2000, Los Nogales, El Palmar, El Refugio, La Península, Las Colmenas, Bellavista y Lagos II). Dicho estudio deberá cumplir con los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015 y las recomendaciones descritas en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente a las zonas identificadas en el presente estudio, se deberá analizar las unidades cartográficas que sean identificables a la escala de trabajo mínima del estudio detallado (1:2.000).

La cuantificación del riesgo se deberá realizar mediante la metodología de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA) descrita en la sección 2.2 del presente trabajo.



#### **4.2.11.2 Zonas en condición de amenaza**

- Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas

**Definición de suelos de protección:** se definirán como zonas de protección aquellas zonas inundables por el humedal el castillo. Para su definición se deberá realizar un estudio de detalle o en su defecto delimitar las zonas inundables con base en cartografía 1:2.000.

**Reglamentación de usos del suelo:** para las zonas con condición de amenaza, para las categorías media y alta, se debe asignar un uso diferente al de construcción de infraestructura, tales como reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

Para las zonas de amenaza baja se deberá garantizar que los diseños de los proyectos a desarrollar presenten una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

Con base en un estudio ambiental se deberá definir un área de amortiguación del humedal, sobre la cual se deberá definirán usos de reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

**Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos:** se recomienda desarrollar únicamente desarrollos urbanísticos en zonas con amenaza baja donde se garantice una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Definición y delimitación de rondas hídricas:** con base en la reglamentación vigente se deben definir las rondas hídricas de las quebradas y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- Reducción del riesgo en diseño de obras de infraestructura

Cualquier zona susceptible al desarrollo de un proyecto de infraestructura, deberá considerar dentro de sus diseños hidráulicos, los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

#### **4.2.11.3 Zonas en condición de riesgo**

- Recuperación y mantenimiento de humedales

Se ejecutarán las medidas para la recuperación y mantenimiento de humedales descrita en la sección 4.1.2.1 del presente trabajo.

- Construcción de obras de estabilización, protección y control

La problemática asociada a las inundaciones en el área de influencia de la ciénaga de San Silvestre suele ser mitigada mediante un sistema de jarillones o muros de contención, conductos cerrados (tuberías), válvulas de contraflujo, pozos de tormenta y bombas hidráulicas. El funcionamiento de esta solución se encuentra descrito en la sección 4.2.10 del presente trabajo.

A diferencia del sector Coviba, esta zona no cuenta con estudios detallados por lo que se debe analizar en el estudio detallado del riesgo.

- Sistemas de alerta temprana y predicción de inundaciones

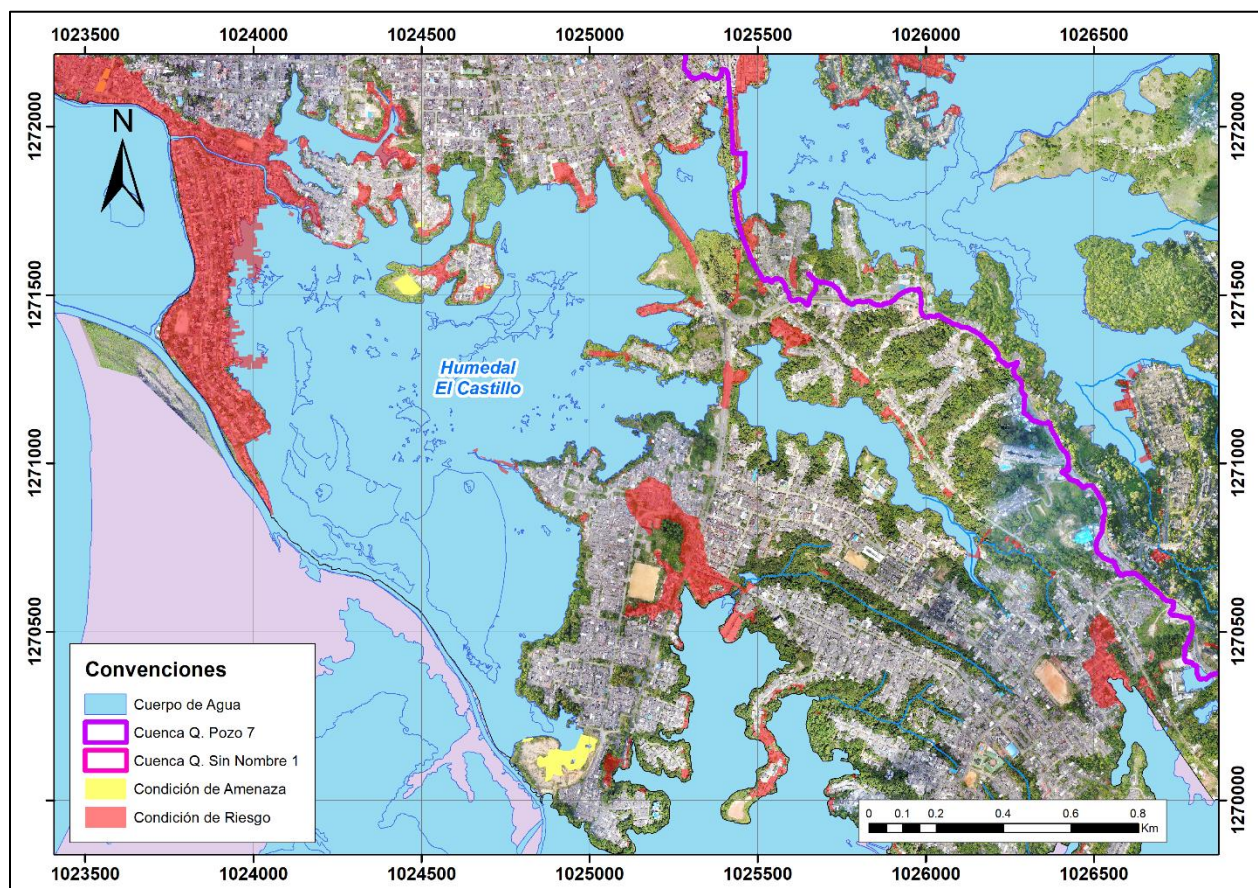
Se instalará un sistema de alerta temprana el cual debe cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

- Instalación de un sensor de nivel en la ciénaga, el cual deberá enviar los datos en tiempo real al organismo encargado de ejecutar los planes de contingencia ante la posible ocurrencia de un evento de desastre.
  - Sistema de alerta mediante alarmas que den aviso a la comunidad en los tiempos definidos en los planes de contingencia ante la ocurrencia de un evento extremo.
  - El sistema puede ser integrado con los sistemas de alerta definidos para las otras unidades de planeación.
- Reasentamiento de la población

Se debe evaluar mediante un análisis cuantitativo del riesgo y la viabilidad de desarrollar alguna de las alternativas planteadas para su mitigación; de ser inviables se debe plantear el reasentamiento de la población en zonas sin riesgo. Esta medida se realizará únicamente con base en un estudio detallado.

#### 4.2.12 Cuenca Humedal El Castillo

**Figura 4.17 Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca del Humedal El Castillo**



Vale la pena aclarar que, para este trabajo, la cuenca del Humedal El Castillo se considera aquella que porción de su cuenca que se encuentra en el área urbana del municipio, pero que no está considerada dentro de las áreas de las demás subcuencas.

#### **4.2.12.1**      **Generales**

- Cuantificación del riesgo

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado del humedal El Castillo en la zona definida con condición de riesgo (haciendo énfasis en los barrios La Victoria, Las Margarita, Isla del Zapato, El Recreo, Marsella, Las Brisas, Palmira, Santa Barbara, Tres Unidos, Simón Bolívar, Miraflores, El Chico y Santanas). Dicho estudio deberá cumplir con los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015 y las recomendaciones descritas en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente a las zonas identificadas en el presente estudio, se deberá analizar las unidades cartográficas que sean identificables a la escala de trabajo mínima del estudio detallado (1:2.000).

La cuantificación del riesgo se deberá realizar mediante la metodología de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA) descrita en la sección 2.2 del presente trabajo.

#### **4.2.12.2**      **Zonas en condición de amenaza**

- Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas

**Definición de suelos de protección:** se definirán como zonas de protección aquellas zonas inundables por el humedal el castillo. Para su definición se deberá realizar un estudio de detalle o en su defecto delimitar las zonas inundables con base en cartografía 1:2.000.

**Reglamentación de usos del suelo:** para las zonas con condición de amenaza, para las categorías media y alta, se debe asignar un uso diferente al de construcción de infraestructura, tales como reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

Para las zonas de amenaza baja se deberá garantizar que los diseños de los proyectos a desarrollar presenten una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

Con base en un estudio ambiental se deberá definir un área de amortiguación del humedal, sobre la cual se deberá definirán usos dereforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

**Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos:** se recomienda desarrollar únicamente desarrollos urbanísticos en zonas con amenaza baja donde se garantice una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Definición y delimitación de rondas hídricas:** con base en la reglamentación vigente se deben definir las rondas hídricas de las quebradas y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- Reducción del riesgo en diseño de obras de infraestructura

Cualquier zona susceptible al desarrollo de un proyecto de infraestructura, deberá considerar dentro de sus diseños hidráulicos, los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

#### **4.2.12.3 Zonas en condición de riesgo**

- Recuperación y mantenimiento de humedales

Se ejecutarán las medidas para la recuperación y mantenimiento de humedales descrita en la sección 4.1.2.1 del presente trabajo.

- Construcción de obras de estabilización, protección y control

La problemática asociada a las inundaciones en el área de influencia del humedal El Castillo suele ser mitigada mediante un sistema de jarillones o muros de contención, conductos cerrados (tuberías), válvulas de contraflujo, pozos de tormenta y bombas hidráulicas. El funcionamiento de esta solución se encuentra descrito en la sección 4.2.10 del presente trabajo.

A diferencia del sector Coviba, esta zona no cuenta con estudios detallados por lo que se debe analizar en el estudio detallado del riesgo.

- Sistemas de alerta temprana y predicción de inundaciones

Se instalará un sistema de alerta temprana el cual debe cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

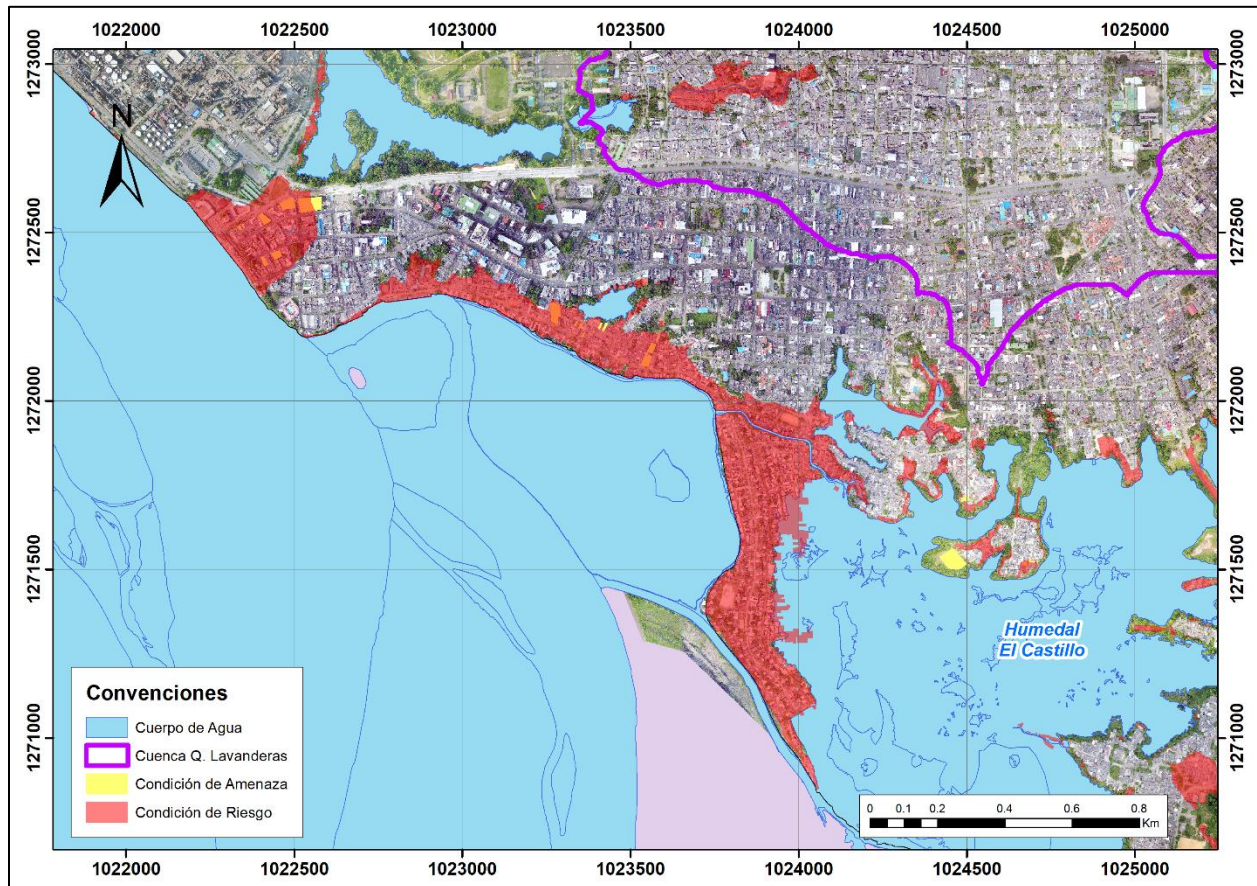
- Instalación de un sensor de nivel en la ciénaga (puede ser compartido con la Ciénaga de San Silvestre), el cual deberá enviar los datos en tiempo real al organismo encargado de ejecutar los planes de contingencia ante la posible ocurrencia de un evento de desastre.
- Sistema de alerta mediante alarmas que den aviso a la comunidad en los tiempos definidos en los planes de contingencia ante la ocurrencia de un evento extremo.
- El sistema puede ser integrado con los sistemas de alerta definidos para las otras unidades de planeación.

- Reasentamiento de la población

Se debe evaluar mediante un análisis cuantitativo del riesgo y la viabilidad de desarrollar alguna de las alternativas planteadas para su mitigación; de ser inviables se debe plantear el reasentamiento de la población en zonas sin riesgo. Esta medida se realizará únicamente con base en un estudio detallado.

#### 4.2.13 Cuenca Río Magdalena

Figura 4.18 Zonas con condición de amenaza y riesgo en la cuenca del Río Magdalena



Vale la pena aclarar que, para este trabajo, la cuenca del Río Magdalena se considera aquella porción de su cuenca que se encuentra en el área urbana del municipio, pero que no está considerada dentro de las áreas de las demás subcuencas.

##### 4.2.13.1 Generales

- Cuantificación del riesgo

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado del río Magdalena en la zona definida con condición de riesgo (haciendo énfasis en los barrios La Victoria, Arenales, San Francisco, La Playa, Buenos Aires, El Dorado, Cardales, La Campana, El Sector Comercial y Ecopetrol). Dicho estudio deberá cumplir con los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015 y las recomendaciones descritas en la sección 4.4 del presente trabajo.

Adicionalmente a las zonas identificadas en el presente estudio, se deberá analizar las unidades cartográficas que sean identificables a la escala de trabajo mínima del estudio detallado (1:2.000).

La cuantificación del riesgo se deberá realizar mediante la metodología de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA) descrita en la sección 2.2 del presente trabajo.

#### **4.2.13.2 Zonas en condición de amenaza**

- Reglamentación del uso del suelo en áreas no ocupadas

**Definición de suelos de protección:** se definirán como zonas de protección aquellas zonas inundables por el río Magdalena. Para su definición se deberá realizar un estudio de detalle o en su defecto delimitar las zonas inundables con base en cartografía 1:2.000.

**Reglamentación de usos del suelo:** para las zonas con condición de amenaza, para las categorías media y alta, se debe asignar un uso diferente al de construcción de infraestructura, tales como reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

Para las zonas de amenaza baja se deberá garantizar que los diseños de los proyectos a desarrollar presenten una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

Con base en un estudio ambiental se deberá definir un área de amortiguación del humedal, sobre la cual se deberá definirán usos de reforestación, parques recreativos, parques lineales y zonas recreativas.

**Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos:** se recomienda desarrollar únicamente desarrollos urbanísticos en zonas con amenaza baja donde se garantice una vulnerabilidad baja, ya sea por la resiliencia de la infraestructura o por el diseño de medidas de mitigación adecuadas.

**Definición y delimitación de rondas hídricas:** con base en la reglamentación vigente se deben definir las rondas hídricas de las quebradas y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- Reducción del riesgo en diseño de obras de infraestructura

Cualquier zona susceptible al desarrollo de un proyecto de infraestructura, deberá considerar dentro de sus diseños hidráulicos, los criterios definidos en la sección 4.4 del presente trabajo.

#### **4.2.13.3 Zonas en condición de riesgo**

- Construcción de obras de estabilización, protección y control

La problemática asociada a las inundaciones en el área de influencia del humedal El Castillo suele ser mitigada mediante un sistema de jarillones o muros de contención, conductos cerrados (tuberías), válvulas de contraflujo, pozos de tormenta y bombas hidráulicas. El funcionamiento de esta solución se encuentra descrito en la sección 4.2.10 del presente trabajo.

En esta zona existen estudios previos sobre la viabilidad para desarrollar este tipo de solución, sin embargo, no se encuentra enmarcada dentro de una metodología para la evaluación cuantitativa del riesgo, por lo tanto, éste debe ser actualizado para valorar la viabilidad de desarrollar este tipo de solución.

- Sistemas de alerta temprana y predicción de inundaciones

Actualmente el río Magdalena cuenta con una estación de nivel que reporta los datos recolectados en tiempo real. Este sistema puede ser integrado con los sistemas de alerta definidos para las otras unidades de planeación.

▪ Reasentamiento de la población

Se debe evaluar mediante un análisis cuantitativo del riesgo y la viabilidad de desarrollar alguna de las alternativas planteadas para su mitigación; de ser inviables se debe plantear el reasentamiento de la población en zonas sin riesgo.

Esta medida se realizará con base en un estudio detallado, el cual debe ser prioritario dada la vulnerabilidad de la población.

### 4.3 JERARQUIZACIÓN DE ZONAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA Y RIESGO

Con el objetivo de priorizar las zonas que requieren con mayor urgencia el desarrollo de estudios detallados, se utilizan los siguientes criterios:

- Vulnerabilidad de la población y edificaciones
- Recorridos de campo realizados durante los estudios de amenaza y vulnerabilidad.
- Evaluación subjetiva de pérdidas potenciales (vidas e infraestructura)

Se definen cinco niveles de priorización: Urgente, Importante, Media, Baja e Irrelevante. A continuación, se presenta un cuadro con los niveles de priorización en los que se deben realizar los estudios de detalle para la definición de medidas definitivas para la reducción del riesgo.

**Tabla 4.1 Nivel de priorización de estudios detallados**

Nivel de prioridad	Categoría	Zona	Observaciones
1	Urgente	Cuenca Q. Pozo Siete	Alto potencial de pérdidas (vidas e infraestructura)
1	Urgente	Cuenca Humedal El Castillo	Alto potencial de pérdidas (vidas e infraestructura)
1	Urgente	Cuenca Río Magdalena	Alto potencial de pérdidas (vidas e infraestructura). Cuenta con un estudio detallado de mitigación
2	Importante	Cuenca Ciénaga Juan Esteban	Se debe estudiar mejor este sistema
3	Media	Cuenca Q. Lavanderas	Cuenta con tramos canalizados por lo que la amenaza está controlada en algunos tramos
3	Media	Cuenca Q. Camelias	Cuenta con tramos canalizados por lo que la amenaza está controlada en algunos tramos
3	Media	Cuenca Q. Sin Nombre 2	-
3	Media	Cuenca Q. Sin Nombre 3	-
3	Media	Cuenca Q. Sin Nombre 4	-
3	Media	Cuenca Ciénaga San Silvestre	Cuenta con un diseño detallado de mitigación (Integral, 2013)
4	Baja	Cuenca Q. Zona Expansión Sur (Sin nombre 1)	Solo presenta condición de amenaza por lo que, aplicando las medidas de prevención propuestas en este trabajo, no se generarán riesgos significativos. Sin embargo, se deben realizar los

Nivel de prioridad	Categoría	Zona	Observaciones
			estudios de detalle para poder desarrollar proyectos de construcción e infraestructura.
5	Irrelevante	Cuenca Q. Sin Nombre 5 a 9	No se presenta condición de amenaza puesto que no se tiene planificado su desarrollo. Sin embargo, es factible aplicar las medidas de prevención descritas en el presente documento.

#### 4.4 MARCO GENERAL PARA EL DESARROLLO DE ESTUDIOS DETALLADO

En esta sección se definen las condiciones mínimas que deberán de contener los estudios detallados de zonificación del riesgo. Aunque el decreto 1077 de 2015 define unos alcances, se plantean alcances adicionales con el objetivo de evaluar el riesgo de una forma mas precisa, debido a la gran problemática de inundaciones que se presenta en el municipio de Barrancabermeja.

##### 4.4.1 Decreto 1077 de 2015

El análisis detallado de amenaza de inundación se realizará con base en las áreas de condiciones de riesgo y amenaza presentadas en este trabajo. Deberá contener las siguientes especificaciones mínimas:

- Insumos
  - Información hidrológica e hidráulica
  - Información topográfica y batimétrica detallada de los tramos de cauce analizados, incluyendo aquellos elementos o tramos que estén asociados con el origen de la inundación.
- Alcance
  - El análisis de la amenaza a nivel detallado se realizará teniendo en cuenta criterios históricos, geomorfológicos, hidrológicos-hidráulicos empleando métodos asistidos por sensores remotos y sistemas de información geográfica.
- Productos
- Mapa o mapas de zonificación de la amenaza por inundación por desbordamiento, el cual delimita y caracteriza los diferentes niveles de amenaza que presenta el territorio.
- Documento técnico que contenga la metodología empleada y los resultados obtenidos.

Para la evaluación de la vulnerabilidad se realizará:

- Localización de los elementos expuestos.
- Establecer características de los elementos expuestos a las amenazas por inundación, en cuanto a tipo de elemento, grado de exposición, resistencia y su distribución espacial.
- Identificar los daños esperados según el evento amenazante.
- Zonificación de la vulnerabilidad a la misma escala que el estudio de amenaza detallado, estableciendo categorías de vulnerabilidad alta, media y baja.

Para la evaluación del riesgo se realizará:

- Zonificación del riesgo y categorización en alto, medio o bajo.



- Se definirá la mitigabilidad o no mitigabilidad con base en las alternativas de intervención física para reducir y evitar el incremento de la amenaza y/o vulnerabilidad.
- La viabilidad de las alternativas de mitigación se evaluará desde un punto de vista técnico, financiero y urbanístico.
- Presentar documento técnico de soporte que contenga la metodología de evaluación empleada y resultados.
- Fichas de evaluación de vulnerabilidad.
- Mapa de vulnerabilidad categorizada en alta, media y baja.
- Mapa de riesgo categorizado en alto, medio y bajo, señalando si es mitigable o no mitigable.
- Presupuestos estimados de costos de las medidas de mitigación.
- Inventario de viviendas en alto riesgo no mitigable.

#### **4.4.2 Condiciones específicas para la modelación hidrológica e hidráulica**

Dado que en los alcances planteados en el decreto 1077 de 2015 no son específicos con respecto a las metodologías, modelos y datos a utilizar, se definen algunos aspectos adicionales que se consideran fundamentales para una correcta caracterización de la amenaza en el municipio de Barrancabermeja:

- Se deben considerar mínimo dos escenarios de cambio climático con base en pautas presentadas en la sección 4.4.4 del presente trabajo. En los cuales se plantee como mínimo el cambio en los usos del suelo con base en proyecciones de expansión de la población y cambio identificado sobre la intensidad de los eventos máximos de precipitación.
- Para la modelación hidráulica se debe considerar los siguientes aspectos:
  - Evaluar la suficiencia hidráulica de cada una de las estructuras de los tramos estudiados.
  - Las condiciones de borde de los modelos deben tener en cuenta los niveles de agua de los cuerpos receptores (ciénagas, humedales, ríos Magdalena, entre otros), dadas las condiciones de pendiente de los tramos estudiados, las cuales los hacen susceptibles al efecto de remanso ("*backwatereffect*").
  - El diseño de nuevas estructuras hidráulicas deberá garantizar que su afectación sobre el resto de las estructuras hidráulicas, hacia aguas abajo y aguas arriba, no aumentará las condiciones de riesgo.

#### **4.4.3 Metodología para la evaluación del riesgo**

Se deberá considerar una metodología para la evaluación del riesgo totalmente cuantitativa, mediante la cual se pueda comparar la viabilidad técnica, económica y social de desarrollar las alternativas de mitigación propuestas, y así definir las zonas de riesgo mitigable y riesgo no mitigable, sobre las cuales se deberá realizar reasentamiento de la población.

#### **4.4.4 Consideraciones sobre cambio climático**

Uno de los principales retos para la humanidad hoy en día, es enfrentar las consecuencias de los cambios acelerados del clima, los cuales tienen impacto en el ambiente, la sociedad y la economía. La ciencia prevé que el mundo puede llegar a tener dos grados más de temperatura para 2100; siendo este un escenario conservador en el cual todos estamos actuando en la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) y en la adaptación de las consecuencias del cambio climático. Esta cifra podría aumentar si no somos capaces de reducir la producción de gases de efecto invernadero (IDEAM, 2015).

Las Comunicaciones Nacionales son la principal fuente de información sobre el posible comportamiento del cambio climático futuro, y fuente obligada de consulta para el desarrollo de acciones nacionales, regionales, locales, públicas y privadas, así mismo para conocer el estado de las acciones que actualmente se adelantan en Colombia para adaptarse a los efectos y para mitigar la producción de gases efecto invernadero.

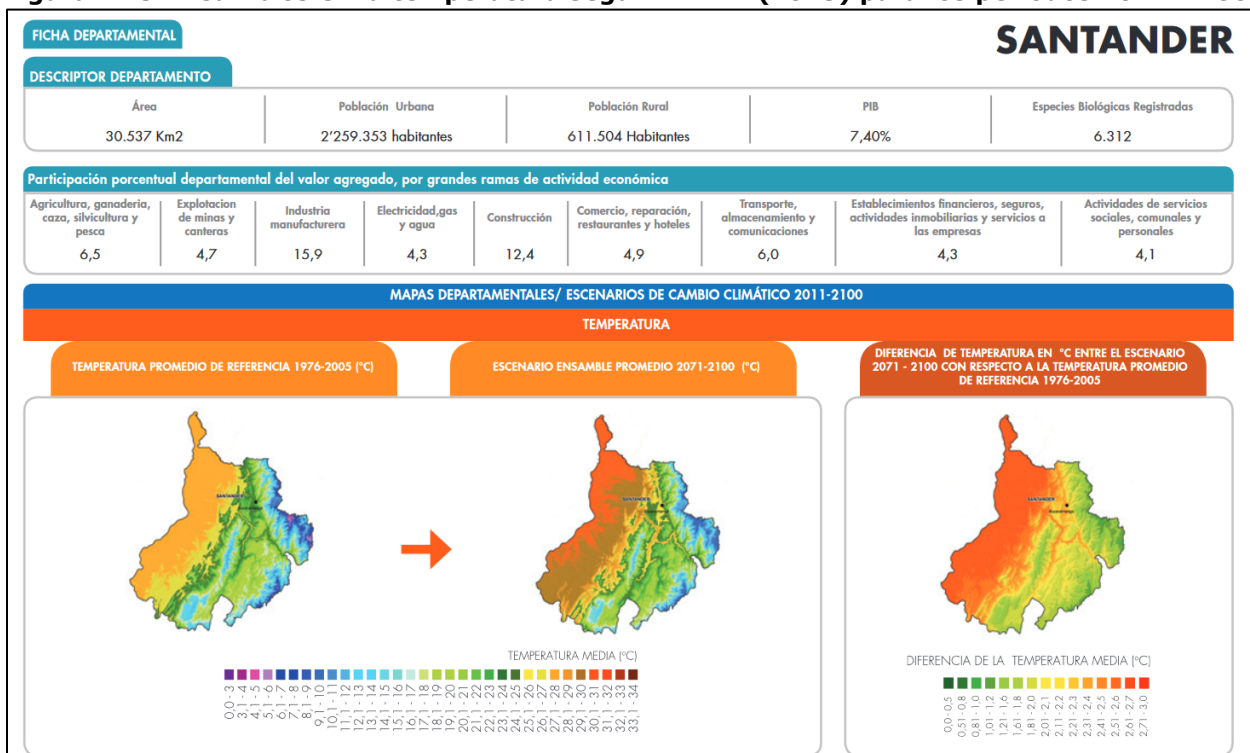
Adicional a esto, los escenarios de Cambio Climático son un insumo muy importante para que avanzar hacia un análisis de vulnerabilidad que nos permita aumentar el nivel de comprensión y de planificación para de esta manera reducir los riesgos y aumentar la capacidad adaptativa de cada una de las regiones de Colombia.

Con el objetivo de incorporar escenarios de cambio climático en la gestión del riesgo del municipio de Barrancabermeja, se hace necesario incorporar esta componente en los estudios detallados. Para ello se hace necesario incluir como mínimo dos escenarios de cambio los cuales deberán ser definidos con base en los estudios realizados por IDEAM (2015) y Ruiz & Armenta (2015).

#### 4.4.4.1 Temperatura y precipitación

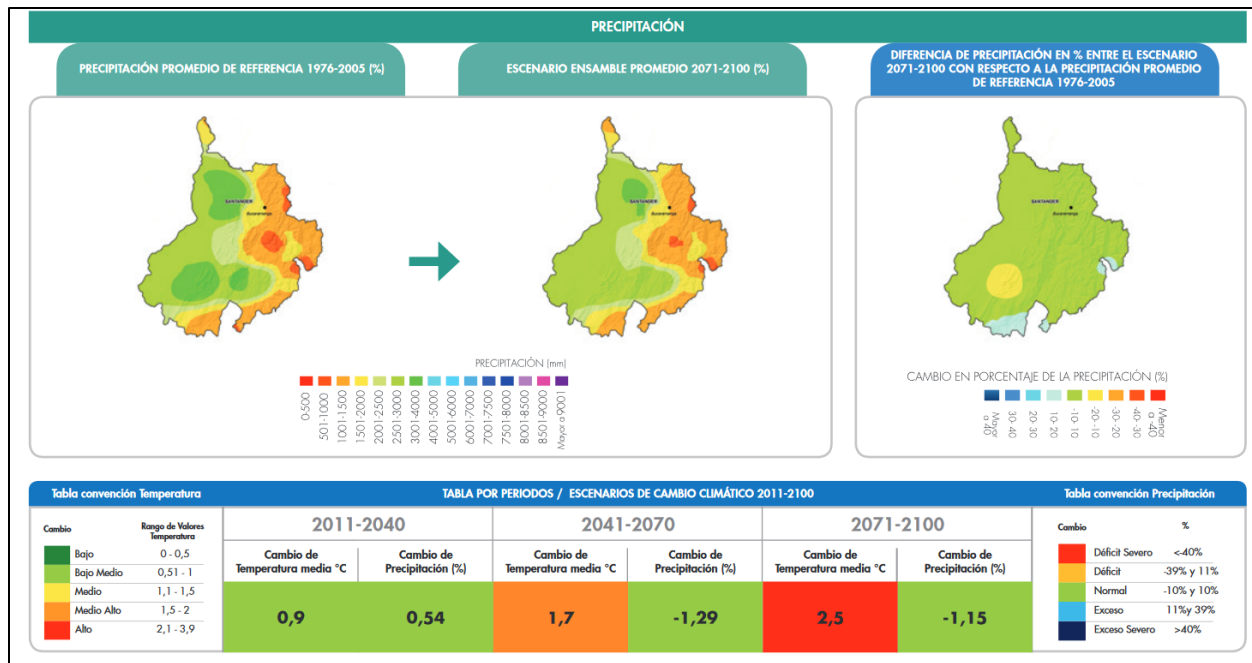
En la Figura 4.19 y Figura 4.20 se presentan los cambios en la temperatura y precipitación para el período 2011-2100. Encontrando el municipio de Barrancabermeja se encuentra localizado en una zona donde se espera un cambio en la precipitación media anual entre  $\pm 10\%$ .

**Figura 4.19 Cambios en la temperatura según IDEAM (2015) para los períodos 2011-2100**



Fuente: IDEAM (2015)

**Figura 4.20 Cambios en la precipitación según IDEAM (2015) para los períodos 2011-2100**

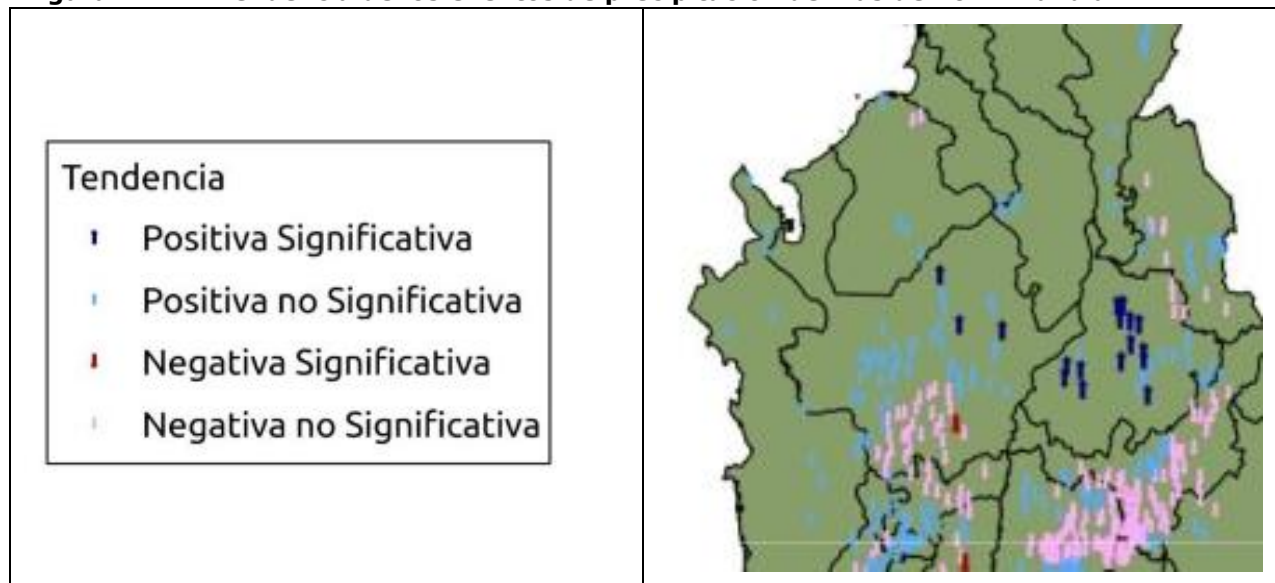


**Fuente: IDEAM (2015)**

En un contexto más regional se encuentra que el departamento de Santander no presentaría aumentos representativos de precipitación, excepto para el sur de las provincias de Vélez y Comunera que podrían tener aumentos de hasta un 10% para fin de siglo. Por otra parte, en general el departamento en promedio disminuirá un 1,15% las precipitaciones respecto al valor actual para fin de siglo en particular para el Nororiente de la provincia de Vélez.

Por otra parte, Ruiz y Armenta (2015) estudian el comportamiento de las precipitaciones fuertes (las cuales desencadenan los eventos de crecienta), encontrando una tendencia al incremento de número de eventos de precipitación diaria con más de 20 mm de lluvia.

**Figura 4.21 Tendencia de los eventos de precipitación de más de 20 mm al día**



Fuente: Ruiz y Armenta (2015)

Tabla 4.2 Tendencia de los eventos de precipitación de más de 20 mm al día

Departamento \ Índice	R10mm	R20mm	Rnnmm	CDD	CWD	PRCPTOT	R95P	R99P	SDII	CSDI
Amazonas	0,494	0,117	0,109	0,000	0,158	4,794	4,490	1,740	0,017	-0,326
Antioquia	0,135	0,043	0,053	-0,014	0,167	4,560	4,762	3,713	0,015	-0,185
Arauca	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-0,605
Putumayo	-0,269	-0,057	-0,008	0,032	-0,053	-3,724	-0,552	2,143	-0,007	-0,123
Quindío	0,196	0,128	0,120	0,089	-0,224	3,857	4,267	1,289	0,019	-0,163
Risaralda	0,133	0,173	0,182	0,077	0,149	8,861	9,710	5,213	0,034	-0,148
San Andres y Providencia	0,241	0,042	0,028	-0,005	0,180	6,298	1,949	3,450	0,015	-1,887
Santander	0,250	0,233	0,162	-0,033	0,183	19,719	14,864	6,127	0,057	-0,234
Sucre	0,397	0,176	0,123	-0,085	0,082	8,541	4,189	2,643	0,021	-0,529
Tolima	-0,047	-0,025	0,039	0,018	-0,031	2,649	5,684	4,592	0,018	-0,228
Valle del Cauca	-0,021	0,064	0,056	0,027	0,078	2,098	4,057	3,048	0,011	-0,159
Vaupés	0,456	0,087	0,123	-0,008	0,134	4,176	4,219	0,662	0,011	-0,384
Vichada	0,437	0,145	0,116	0,005	0,407	6,427	6,176	3,168	0,017	-0,509

Fuente: Ruiz y Armenta (2015)

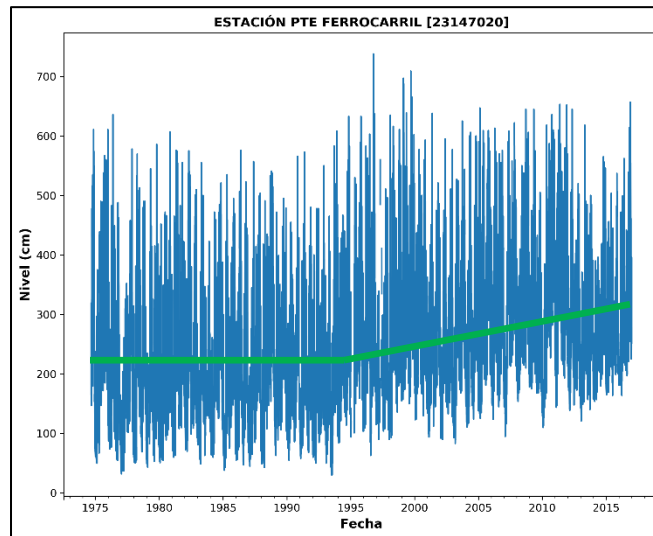
En la tabla anterior se observa que las lluvias de mas de 20 mm presentan un incremento de aproximadamente el 20 % en el período 2011-2040.

#### 4.4.4.2 Niveles

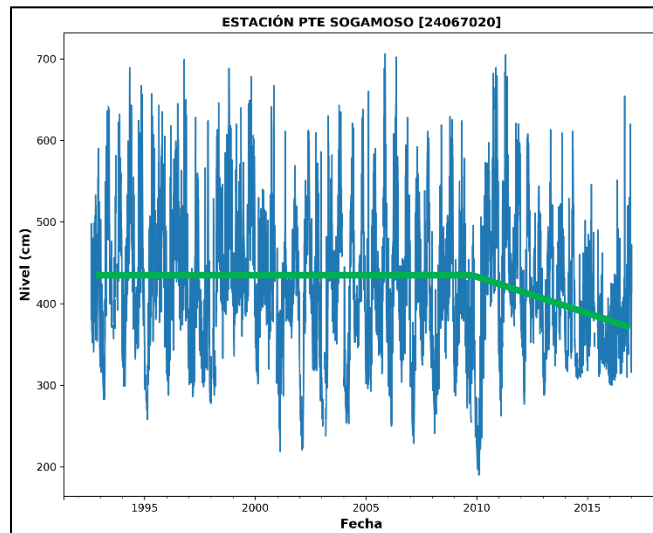
Como se presenta en el estudio de amenaza, los niveles registrados en las principales corrientes del municipio de Barrancabermeja (río Magdalena, río Opón y río Sogamoso) exhiben señales de tendencias mezcladas sobre las mismas corrientes, es decir que, sobre dos estaciones en una misma corriente, pueden existir tendencias positivas en una estación y tendencias negativas en otra estación.

Por lo tanto, cuando el análisis de inundación se realice con base en registros de nivel, se deberá realizar un estudio a escala de cuenca, mediante el cual se definan las tendencias positivas o negativas en los niveles del río.

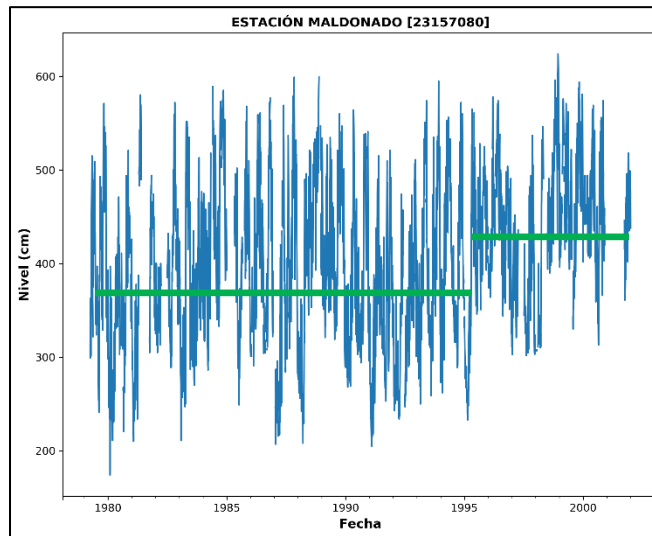
**Figura 4.22 Análisis de la serie de niveles de la estación Puente Ferrocarril (río Opón)**



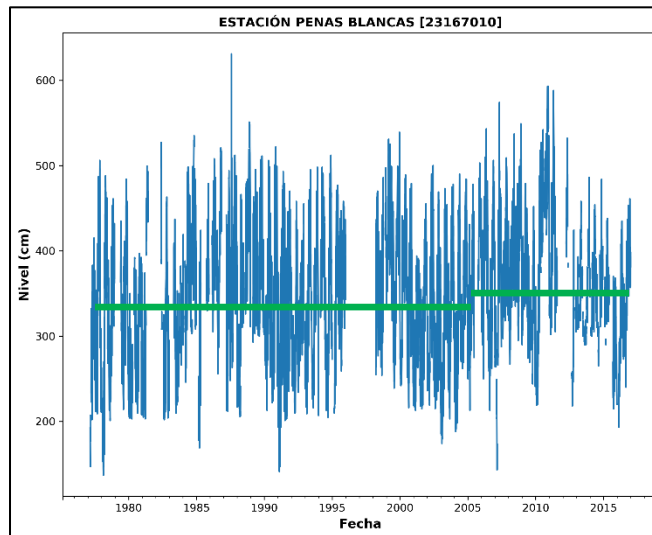
**Figura 4.23 Análisis de la serie de niveles de la estación Puente Sogamoso**



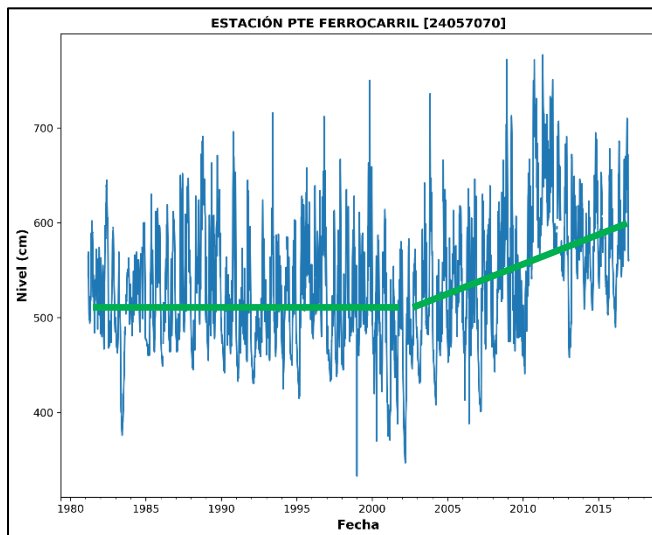
**Figura 4.24 Análisis de la serie de niveles de la estación Maldonado**



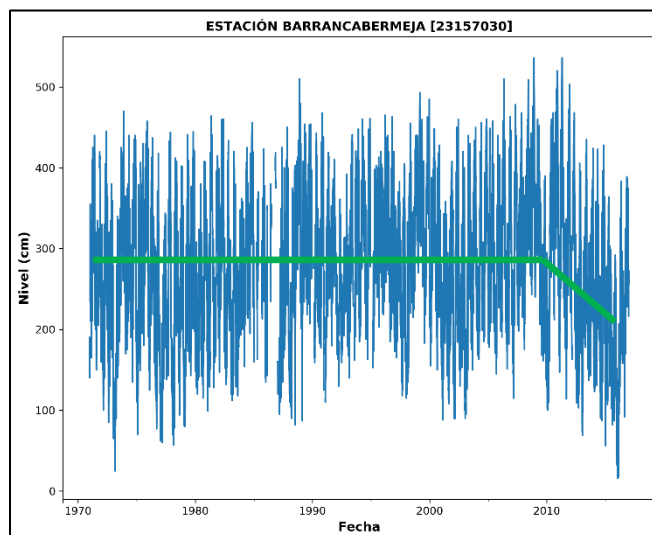
**Figura 4.25 Análisis de la serie de niveles de la estación Peñas Blancas**



**Figura 4.26 Análisis de la serie de niveles de la estación Puente Ferrocarril (ciénaga San Silvestre)**



**Figura 4.27 Análisis de la serie de niveles de la estación Barrancabermeja Automática**



#### **4.4.4.3 Escenarios propuestos**

De esta forma se propone que para los estudios detallados se consideren los siguientes escenarios:

- Escenario A: condiciones actuales sin tener en cuenta cambio climático
- Escenario B: considerando un incremento del 10 % en las intensidades de la lluvia y un cambio en los usos del suelo proyectado según el crecimiento de la población.
- Escenario C: considerando un incremento del 20 % en las intensidades de la lluvia y un cambio en los usos del suelo proyectado según el crecimiento de la población.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se describieron las principales metodologías disponibles para la evaluación del riesgo, determinando que el Enfoque de Matriz de Riesgo es la metodología que mejor se adapta a la información disponible.

Con base en la metodología mencionada se categorizó el riesgo en alto, medio y bajo, pudiendo así definir las zonas con condición de amenaza y condición de riesgo para toda el área urbana del municipio.

Se definieron las cuencas urbanas como la unidad básica de planeación, para las cuales se definieron medidas de reducción del riesgo (prevención y mitigación) y se priorizaron las zonas que requieren de la elaboración de estudios de detalle.

Se definieron los contenidos mínimos que deben tener los estudios de detalle, en el marco del decreto 1077 de 2015.

Se definieron consideraciones sobre el cambio climático para tener en cuenta para el desarrollo de los estudios de detalle, definiendo como mínimo la incursión de dos escenarios de cambio de la precipitación y cambio en los usos del suelo.



## 6 BIBLIOGRAFÍA

IDEAM. (2015). Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100.

Banco Mundial. (2017). Caribbean Handbook on Risk Management.

Ruiz, J.K. Armenta, G.E. (2015). Indicadores de eventos extremos en los escenarios de cambio climático para el período 2011-2040.