

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 I: Estudio del Área Rural

*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 .....	6
1 GENERALIDADES.....	8
1.1 Localización del Área de Estudio.....	8
1.1.1 Localización General.....	8
1.1.2 Localización Hidrográfica.....	9
1.1.3 Área de Estudio .....	16
1.2 Objetivos .....	16
1.2.1 Objetivo General.....	16
1.2.2 Alcance del Estudio .....	16
1.2.3 Descripción de Actividades .....	17
2 MARCO CONCEPTUAL.....	18
2.1 Introducción .....	18
2.2 Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA).....	20
2.3 Análisis de Árbol de Eventos .....	23
2.4 Enfoque de Matriz de Riesgo.....	24
2.5 Enfoque Basado en Indicadores .....	25
2.6 Selección de la Metodología a Implementar .....	26
3 EVALUACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIÓN.....	28
3.1 Zonas con condición de riesgo .....	28
3.1.1 Centro Poblado Campo 23.....	28
3.1.2 Centro Poblado El Centro .....	30
3.1.3 Centro Poblado El Llanito .....	32
3.1.4 Centro Poblado La Fortuna .....	34
3.1.5 Centro Poblado Laureles .....	36
3.1.6 Centro Poblado San Rafael de Chucurí .....	38
3.2 Jerarquización de zonas con condición de Riesgo.....	39
3.3 Marco general para el desarrollo de estudios detallado.....	40
3.3.1 Decreto 1077 de 2015.....	40
3.3.2 Condiciones específicas para la modelación hidrológica e hidráulica.....	41
3.3.3 Metodología para la evaluación del riesgo .....	41
3.3.4 Consideraciones sobre cambio climático.....	41
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5 BIBLIOGRAFÍA .....	49

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1	Localización general del municipio de Barrancabermeja .....	8
Figura 1.2	Localización hidrográfica del municipio de Barrancabermeja .....	9
Figura 1.3	modelo simplificado de la estructura del drenaje del municipio .....	11
Figura 1.4	Área de estudio .....	16
Figura 2.1	Representación esquemática del riesgo.....	18
Figura 2.2	Principales componentes de las metodologías para la cuantificación del riesgo .....	20
Figura 2.3	Representación esquemática del método de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (QRA).....	21
Figura 2.4	Método para incluir la incertidumbre al método de Evaluación Cuantitativa del Riesgo.....	23
Figura 2.5	Esquematzación del modelo de Análisis de Árbol de Eventos.....	24
Figura 2.6	Matriz frecuencia-consecuencia para la evaluación del riesgo mediante el Enfoque de Matriz de Riesgo.....	25
Figura 2.7	Esquematzación del Enfoque Basado en Indicadores.....	26
Figura 3.4	Zonas con condición de riesgo en el centro poblado Campo 23 .....	28
Figura 3.4	Zonas con condición de riesgo en el centro poblado El Centro.....	30
Figura 3.4	Zonas con condición de riesgo en el centro poblado El Llanito.....	32
Figura 3.4	Zonas con condición de riesgo en el centro poblado La Fortuna.....	34
Figura 3.4	Zonas con condición de riesgo en el centro poblado Laureles.....	36
Figura 3.4	Zonas con condición de riesgo en el centro poblado San Rafael de Chucurí.....	38
Figura 4.19	Cambios en la temperatura según IDEAM (2015) para los períodos 2011-2100 .....	42
Figura 4.20	Cambios en la precipitación según IDEAM (2015) para los períodos 2011-2100 .....	43
Figura 4.21	Tendencia de los eventos de precipitación de más de 20 mm al día .....	43
Figura 4.22	Análisis de la serie de niveles de la estación Puente Ferrocarril (río Opón)..	45
Figura 4.23	Análisis de la serie de niveles de la estación Puente Sogamoso .....	45
Figura 4.24	Análisis de la serie de niveles de la estación Maldonado .....	46
Figura 4.25	Análisis de la serie de niveles de la estación Peñas Blancas .....	46
Figura 4.26	Análisis de la serie de niveles de la estación Puente Ferrocarril (ciénaga San Silvestre).....	47
Figura 4.27	Análisis de la serie de niveles de la estación Barrancabermeja Automática ..	47

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1	Quebradas y caños representativos del área rural del municipio.....	12
Tabla 1.2	Cuerpos de agua en el municipio.....	12
Tabla 2.1	Escalas de análisis del riesgo relacionadas con objetivos y metodologías....	19
Tabla 2.2	Ventajas y desventajas de las metodologías para la evaluación del riesgo descritas.....	26
Tabla 4.1	Nivel de priorización de estudios detallados .....	39
Tabla 4.2	Tendencia de los eventos de precipitación de más de 20 mm al día .....	44

## 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 URBANA**
- **VOLUMEN II: ESTUDIO DEL ÁREA RURAL**
  - **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 – Zonificación del Riesgo:** se definen las áreas con condición de riesgo, se caracterizan de forma general los eventos amenazantes y se definen algunas medidas de reducción del riesgo. 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 4 – Conclusiones y Recomendaciones:** se presentan las principales conclusiones del estudio.

# 1 GENERALIDADES

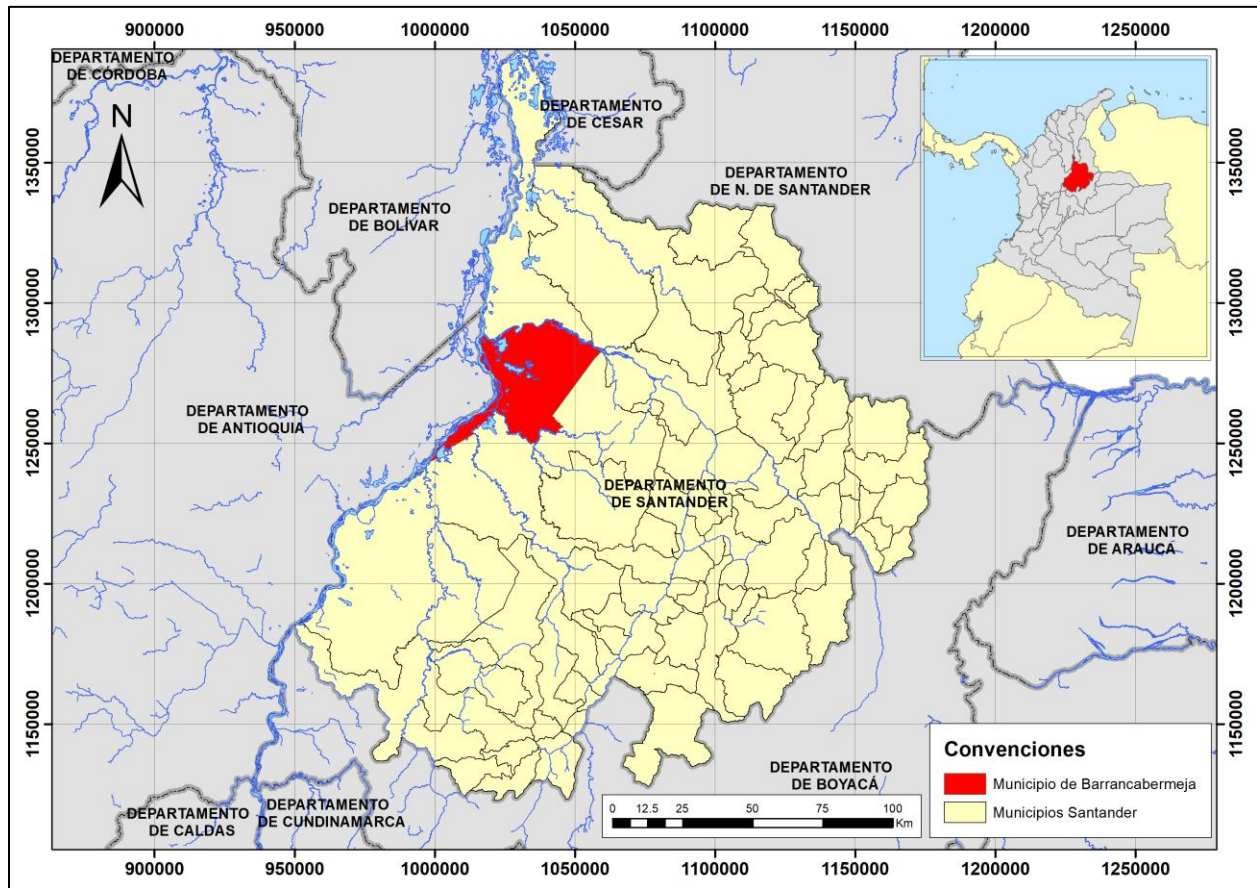
En el presente capítulo se describe la localización general del área de estudio, se realiza una descripción de los sistemas lénticos y lóticos en dicha área con el objetivo de delimitar el área objeto del estudio de amenaza por inundación y avenidas torrenciales. Posteriormente, se definen los objetivos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

## 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**



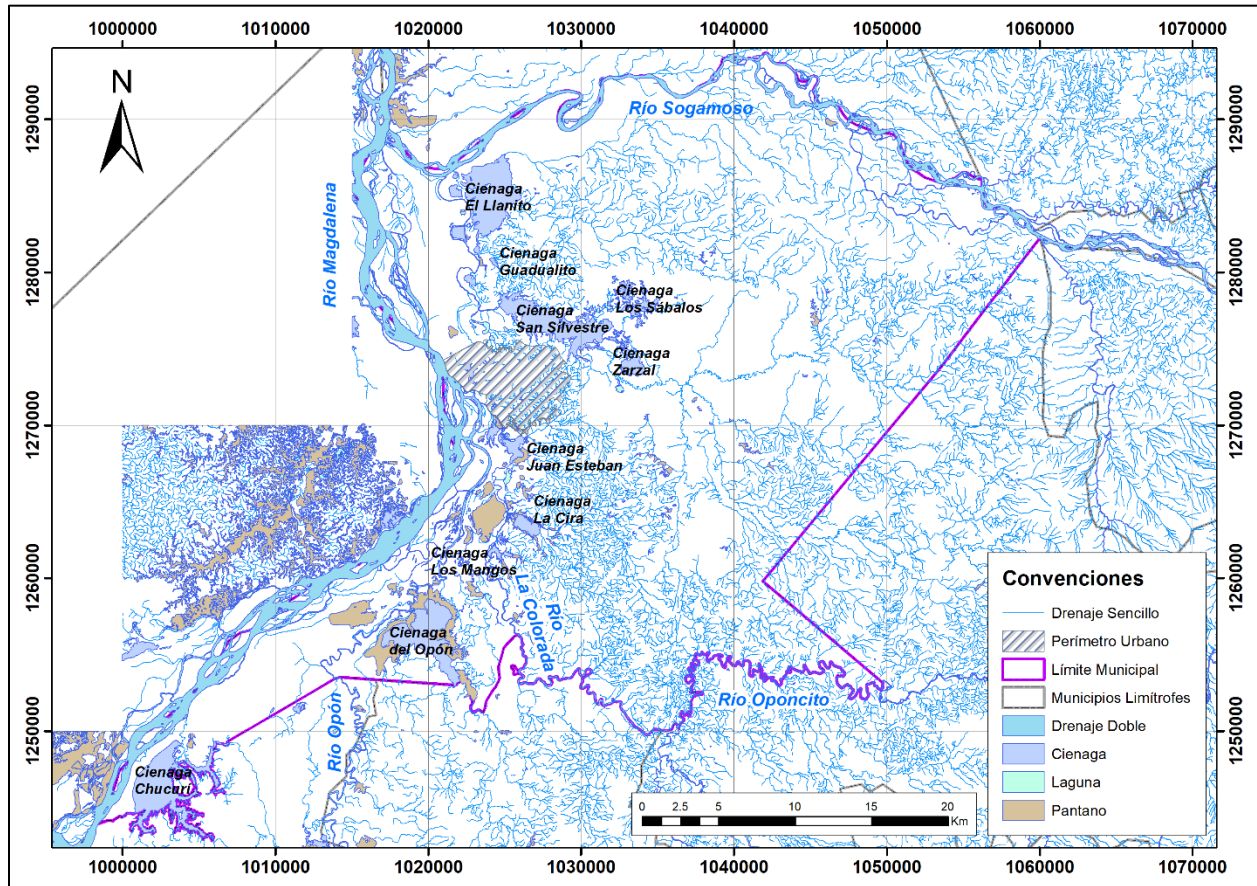


### 1.1.2 Localización Hidrográfica

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.

Entre los cuerpos de agua lóticos en el municipio destacan los ríos Magdalena, Sogamoso, Opón, La Colorada y Oponcito, mientras que los principales sistemas lénticos son corresponden las ciénagas de El Llanito, San Silvestre, Los Sábalos, Brava, Zarzal, Juan Esteban, La Cira, Los Mangos, Opón y Chuchurí.

**Figura 1.2 Localización hidrográfica del municipio de Barrancabermeja**



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

Según Barrancabermeja (2002), el territorio municipal se enmarca entre el río Magdalena, al Occidente, y las grandes cuencas de dos de sus principales tributarios, el Sogamoso y el Opón, al Norte y Sur, respectivamente, que descienden del macizo santandereano al Oriente. La dirección general del drenaje es Noroeste.

La importancia del río Magdalena en esta parte del departamento de Santander es innegable, si se tienen en cuenta factores como la capacidad de carga, el caudal, la complejidad de los materiales que transporta y la actividad del mismo río. El cauce, en la zona, es trezado. La capacidad de carga está relacionada con el caudal, por lo cual adquiere más valor en las épocas de lluvias fuertes, las cuales concuerdan con la mayor depositación de materiales sobre la zona de derrame de su gran planicie aluvial.

- Río Sogamoso

Formado por la unión de los ríos Suárez y Chicamocha, entra a la zona estudiada aproximadamente por su parte media y la atraviesa varios kilómetros hasta su confluencia con el Magdalena. Es el más caudaloso de los afluentes del Magdalena, con influencia en el área de San Vicente, Barrancabermeja y Puerto Wilches; sirve de límite entre los dos últimos municipios.

El tipo de drenaje predominante en el cauce del Sogamoso y dentro del área estudiada, parece ser el dendrítico, teniendo en cuenta también las formas de sus tributarios, entre los cuales sobresalen el Chucurí, las quebradas Putana, Lisama y Gayumba.

La actividad del río es notable y aún se encuentran algunos rápidos en la parte baja de su recorrido. Se forman también pequeñas islas y orillares y en las épocas de invierno inunda gran parte de su llanura aluvial, limitando su uso. La duración de las inundaciones ocasionadas por el río Sogamoso no es muy significativa, pero sí importante por la cantidad de agua de desborde y los materiales que entonces deposita.

Desde el punto de vista del drenaje, si se tiene en cuenta el área influenciada por el río o sus afluentes, es el más importante de los tributarios del Magdalena (Barrancabermeja, 2002).

- Río Opón

En la zona estudiada prácticamente carece de importancia este río, por lo cual se hace referencia únicamente a un afluente, el río la Colorada, que tiene mayor influencia.

El río la Colorada nace en la parte alta de la rama Occidental de la cordillera Oriental y sirve de límite a los municipios de Simacota y San Vicente; tiene dos afluentes importantes: el Llano que se forma por la unión del Cascajales y el río Sucio, y el Oponcito. El Cascajales, afluye la quebrada Vergelana y al Oponcito el caño Arrugas y la quebrada la Llena.

Los ríos enumerados y otros afluentes pequeños sirven de drenaje a la mayor parte del municipio de San Vicente y parte de Barrancabermeja. En épocas de invierno, aumenta el caudal de estos ríos y ocasiona algunas inundaciones que limitan el uso de sus llanuras aluviales. y ocasiona algunas inundaciones que limitan el uso de sus llanuras aluviales.

Como el caudal normal es pequeño, la influencia es relativamente escasa; pero si se tiene en cuenta la pendiente, los materiales de transporte y los esporádicos aumentos de caudal, es preciso concederle importancia a la actividad de estos ríos.

El patrón de drenaje predominante parece ser el dendrítico, con pequeños afluentes de drenaje variable. En la parte alta hay gran influencia de estos ríos debido a la cantidad de material que arrancan y transportan con ayuda de la fuerza de gravedad.

En la zona Norte de Puerto Wilches, especialmente desde Bocas del Rosario hasta la desembocadura del río Lebrija, se encuentran varios sistemas de drenaje complejo. Esta zona es bastante pantanosa y también inundable por desbordamiento del Magdalena (Barrancabermeja, 2002).

- Cuencas internas

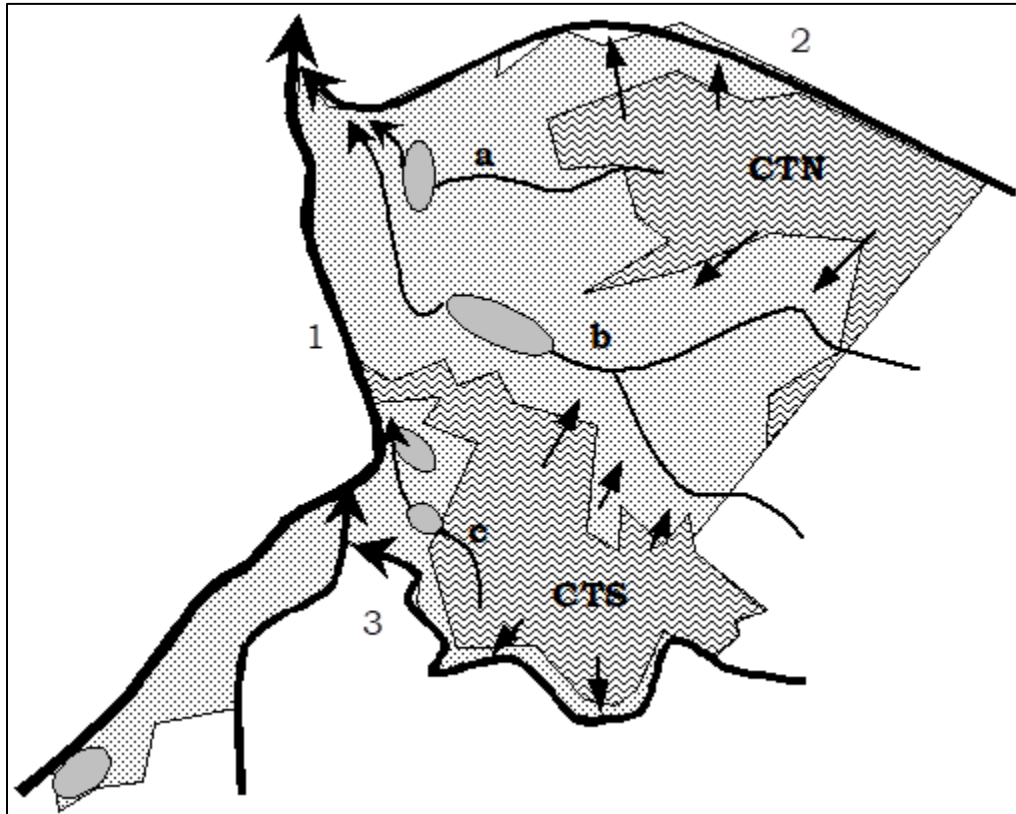
A su interior, el territorio está conformado por tres cuencas principales que corren en dirección general Noroeste: las dos menores drenan las terrazas altas del norte (El Llanito) y del sur (La Cira – Juan Esteban) dentro del propio municipio y desembocan a ciénagas que a su vez desaguan al río Sogamoso y al caño Cardales, respectivamente, que a su vez vierten al Magdalena.

La tercera, la cuenca de la ciénaga San Silvestre, es la mayor; discurre por el tercio medio del municipio de oriente a occidente; nace en la Cordillera Oriental en el municipio vecino de

San Vicente de Chucurí y recoge afluentes de las terrazas y colinas del norte y del sur del municipio, drenando hasta la ciénaga mencionada y de allí, por el caño de San Silvestre vierte al tramo final del río Sogamoso.

En el modelo de la figura se presenta la base física natural del territorio, conformada por la estructura hidrográfica y orográfica (Barrancabermeja, 2002).

**Figura 1.3 modelo simplificado de la estructura del drenaje del municipio**



**Fuente: Barrancabermeja, 2002**

▪ Sistemas lénticos

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.

En el área rural encontramos un gran número de ciénagas, algunas haciendo parte de ecosistemas estratégicos como el caso de las ciénagas San Silvestre (Cuenca hidrográfica ciénaga San Silvestre), la gran mayoría de estas ciénagas presentan algún grado y forma de deterioro: sedimentación, tala de bosques, vertimientos de aguas residuales, etc.

Las principales ciénagas del área rural son: San Silvestre, El Llanito, Brava, Zarzal, Zapatero, Salado, Guadalito, Tierradentro, Sábalo, El Tigre, El Castillo, La Cira, Chucurí, Del Guamo (Barrancabermeja, 2002).

▪ Sistemas lóticos

Incluyen quebradas, caños y ríos; los principales ríos del Municipio, y que además sirven de límites de este son: Magdalena, Sogamoso, La Colorada y el Oponcito. Siendo los dos primeros los más importantes desde el punto de vista de la navegabilidad; el Magdalena con capacidad para todo tipo de embarcaciones y el Sogamoso para embarcaciones pequeñas.

Existe un gran número de caños y quebradas ubicadas en el área urbana y convertidos en la actualidad en cauces de aguas servidas, estos son: quebradas Lavanderas y Las Camalias; y los caños: Cardales, Rosario, Palmira, Internacional. La totalidad de dichos vertimientos se entrega a los humedales o directamente al río Magdalena sin tratamiento alguno.

En el área rural las quebradas y caños son los cuerpos hídricos de mayor significancia, aunque en épocas de verano bajan ostensiblemente sus caudales. La pesca en ellos incluye variedad de especies como: mojarra, blanquillo, bocachico, comelón, dorada, nicuro, arenca, etc.

Las quebradas y caños más representativos del área rural del Municipio de Barrancabermeja son:

**Tabla 1.1 Quebradas y caños representativos del área rural del municipio**

La Llana	La Vizcaína	Del Guamo
Las Lajas	La Meseta	San Silvestre
La Arenosa	Agua clara	Rojo
La Raíz	Llanito	Mal abrigo
La Pedregosa	Guarumo	Agua bonita
La Lizama	Tapazón	La Cira
La Putana	Zarzal	La María
Tabla roja	Jeringa	El Cuarenta
La Cristalina	De la muerte	El Salado

**Fuente: Barrancabermeja (2002)**

En estas subcuencas y sistemas de ciénagas se encuentra gran variedad de quebradas, ciénagas y caños, ente los cuales se mencionan los siguientes:

**Tabla 1.2 Cuerpos de agua en el municipio**

Ciénagas	Quebradas	Caños
San Silvestre	El Llanito	El Llanito
El Llanito	Aguas claras	El Rosario
Opón	Zarzal	Guarumo
Brava	La Llana	De la Muerte
Zapatero	Arenosa	Del Guamo
Juan Esteban	La Raíz	El Tigre
Salado	La Pedregosa	Zarzal
Guadualto	Lizama	La Jeringa
Tierra Adentro	La Putana	San Silvestre
Sábalo	Tabla Roja	Rojo

Ciénagas	Quebradas	Caños
El Tigre	La Cristalina	Mal Abrigo
	Vizcaína	La Rompida
	De la Meseta	

**Fuente: Barrancabermeja (2002)**

- 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.

Específicamente, ciénagas del tipo 1, 3 y 4 poseen el máximo tamaño; mientras que las ciénagas de tipo 2 en los períodos de altos niveles de agua, se expanden hasta conformar un solo cuerpo de agua, denominado célula hidrológica (Barrancabermeja 2002).

En la parte media se diferencian dos complejos de Biomas de Humedales, las ciénagas que rodean la Empresa Colombiana de Petróleos, que presentan alteraciones antrópicas de origen industrial y las ciénagas que conservan parte de su estado in situ, con alteraciones de origen cultural.

Las Ciénagas del Llanito, San Silvestre, La Brava, el Zarzal, Juan Esteban y Miramar. La mayoría de estas ciénagas recibieron descargas desechos de hidrocarburos, afectando su dinámica acuática, cabe resaltar que la ciénaga de Miramar fue la más afectada y la cual posee el mayor número de estudios para su recuperación.

Dentro de las principales ciénagas y humedales localizados en jurisdicción 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 El Llanito y San Silvestre**

La ciénaga San Silvestre y El Llanito 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).

- **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 del Opón**

Su principal afluente es la quebrada Vizcaína y caño Limones; desemboca por medio del caño Mal Abrigo al río Magdalena, su cuenca tiene un área de 42,36 Kms<sup>2</sup>.



En sus orillas se destacan los corregimientos de Punta de Piedra y Las Mercedes que también hacen parte de este humedal (Barrancabermeja, 2002).

- Sistema Chucurí

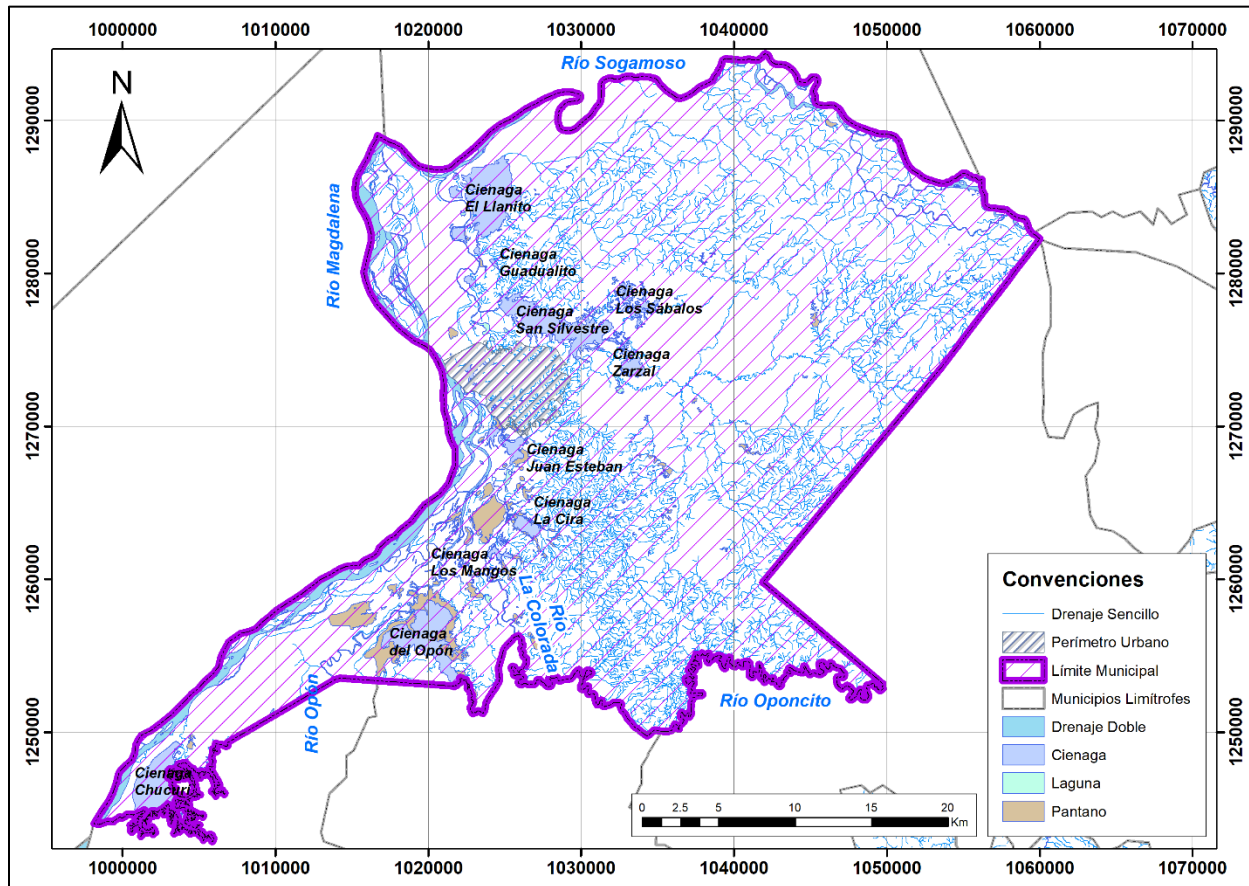
Se encuentra en el límite entre los municipios de Barrancabermeja y Puerto Parra, forman parte la ciénaga de Chucurrí, Aguas Blancas, Aguas Mansas, El Barro y Aguas Negras. Sus principales afluentes son Quebradas las Montoyas, La Tigra y los Patos, mediante un caño desemboca en el río Magdalena. Su cuenca mide 112.38 Kms<sup>2</sup>.

Su canal de salida no es muy definido a partir de las quebradas que le circundan, pero parece tener una estrecha relación con la infiltración hacia las corrientes superficiales cercanas (Barrancabermeja, 2002).

### 1.1.3 Área de Estudio

El área de estudio corresponde a todos los cuerpos de agua superficiales localizados en el área rural del municipio de Barrancabermeja.

**Figura 1.4 Área de estudio**



## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo General

Delimitar las zonas con condición de riesgo por inundación y avenidas torrenciales en el área riesgo del municipio de Barrancabermeja.

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

### 1.2.2 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:



### **1.2.2.1 Estudios básicos**

- Escala de trabajo

La escala de trabajo para el área rural corresponde a 1:25.000.

- Área de estudio

Corresponde al área en las cuales exista alguna posibilidad de presentarse inundación, sean aledañas 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

- Productos

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

### **1.2.3 Descripción de Actividades**

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

#### **1.2.3.1 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)

#### **1.2.3.2 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.

#### **1.2.3.3 Zonificación del riesgo**

Se delimitarán las áreas con condición de:

- **Riesgo:** corresponde a las zonas con amenaza media y alta donde se presenten elementos expuestos, urbanizaciones e infraestructura.

## 2 MARCO CONCEPTUAL

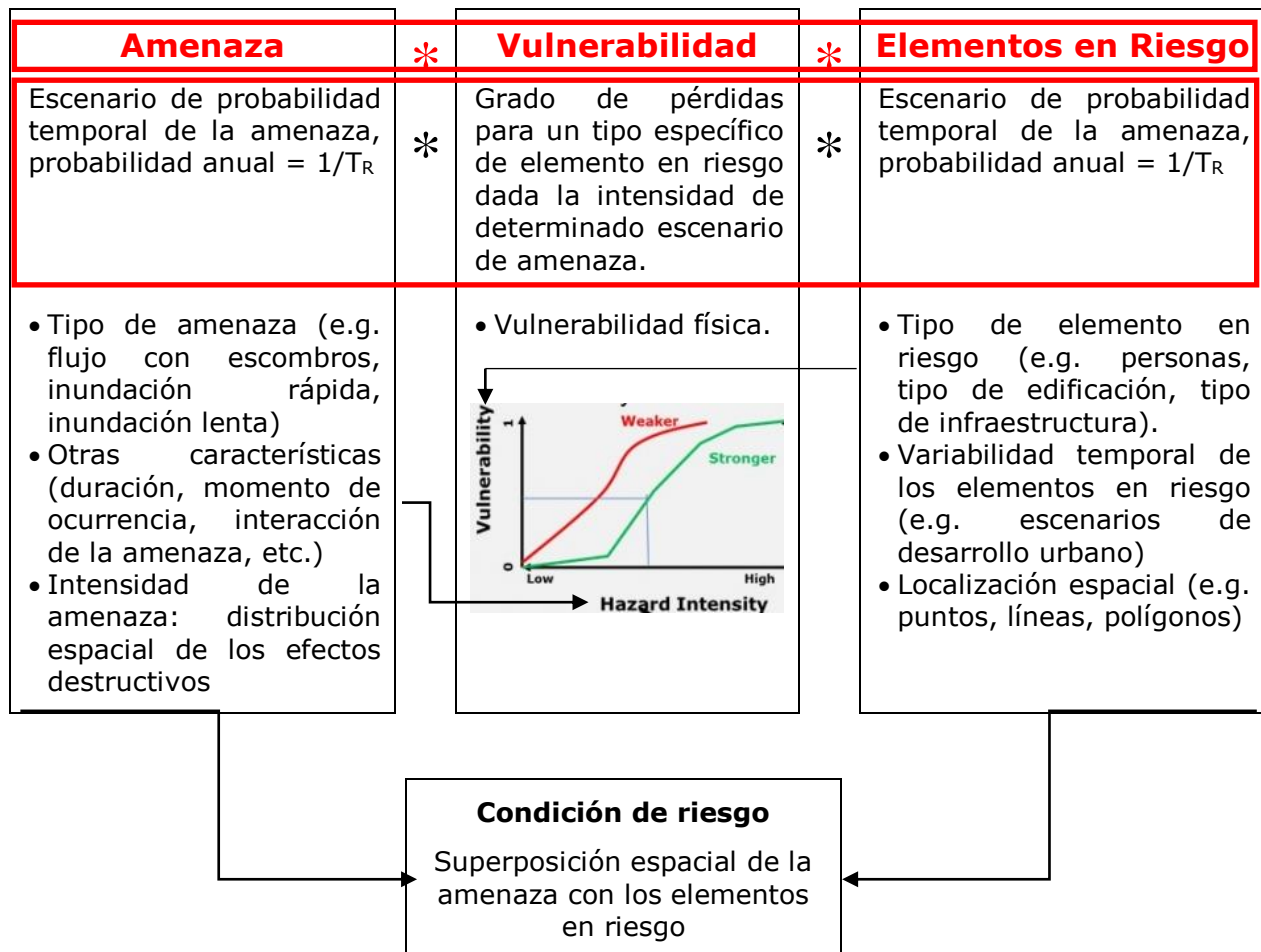
En esta sección se presentan diferentes metodologías disponibles para el cálculo y la evaluación del riesgo por eventos de inundación, de las cuales se selecciona la metodología adecuada para su implementación en el área urbana del municipio de Barrancabermeja.

### 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).

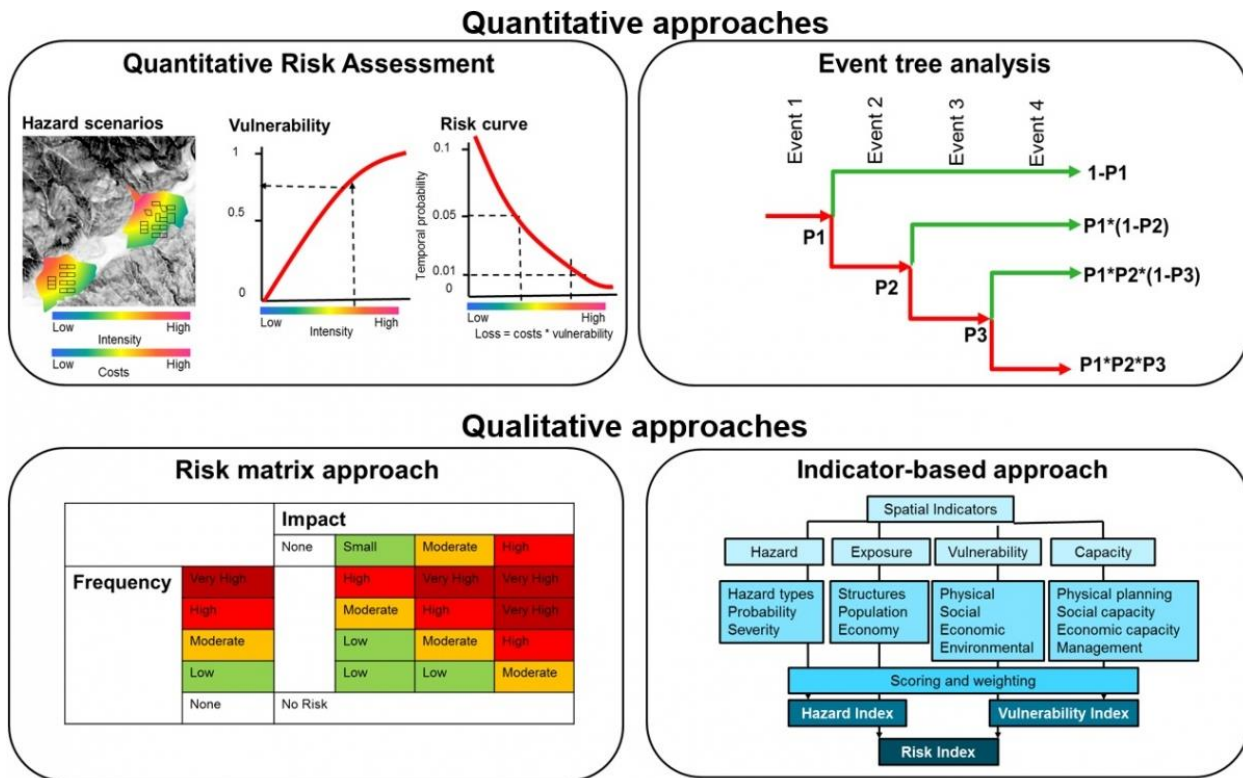
**Tabla 2.1 Escalas de análisis del riesgo relacionadas con objetivos y metodologías**

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.

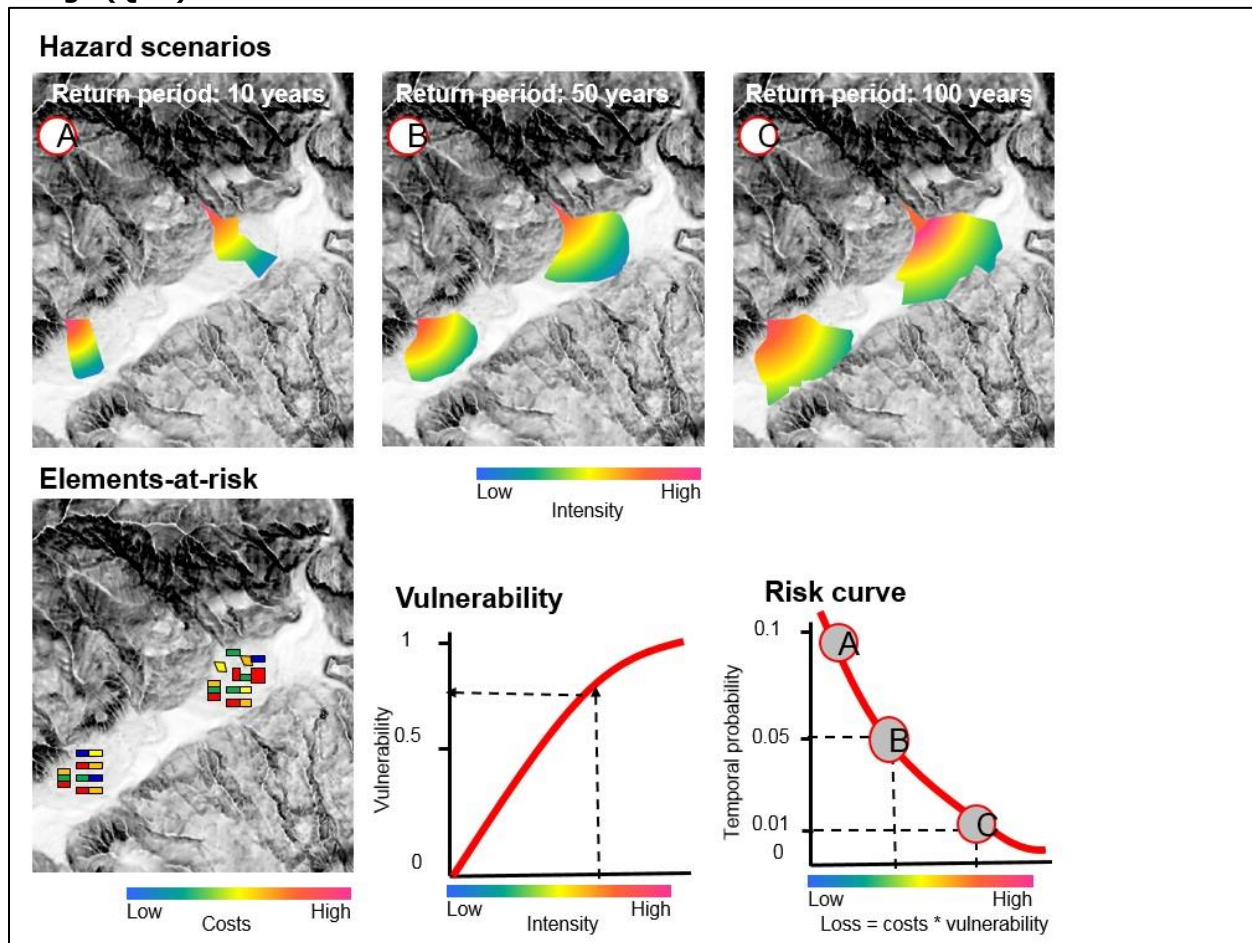
$P_{(S|HS)}$  es la probabilidad de ocurrencia espacial que un sitio particular sea afectado dado un escenario de amenaza.

$A_{(ER|HS)}$  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).

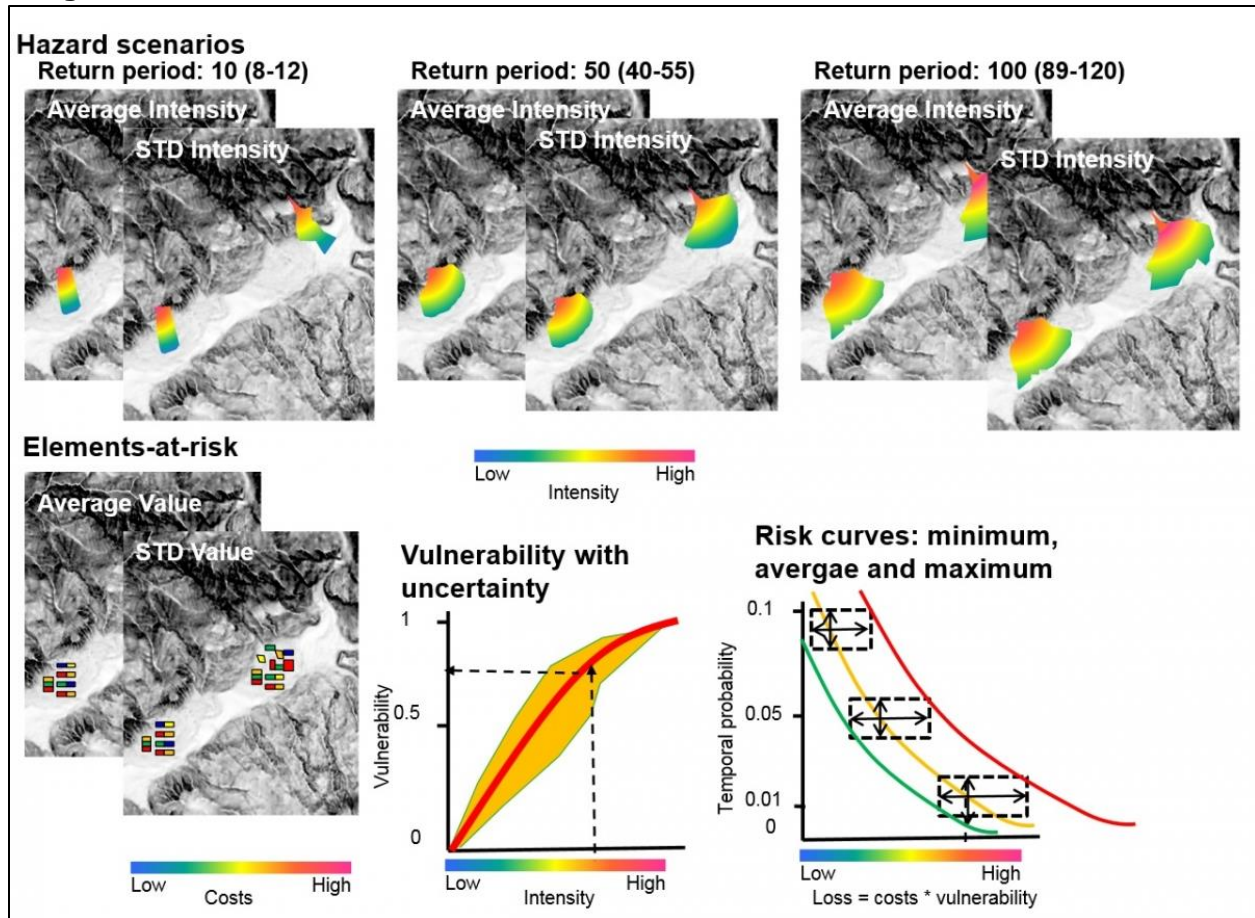
Los componentes que están involucrados en la evaluación de riesgos tienen un alto grado de incertidumbre, la cual se asocia con la variación de los datos de entrada utilizados en la evaluación de riesgos. Por ejemplo, las variaciones en las características del suelo utilizadas para modelar la probabilidad 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**

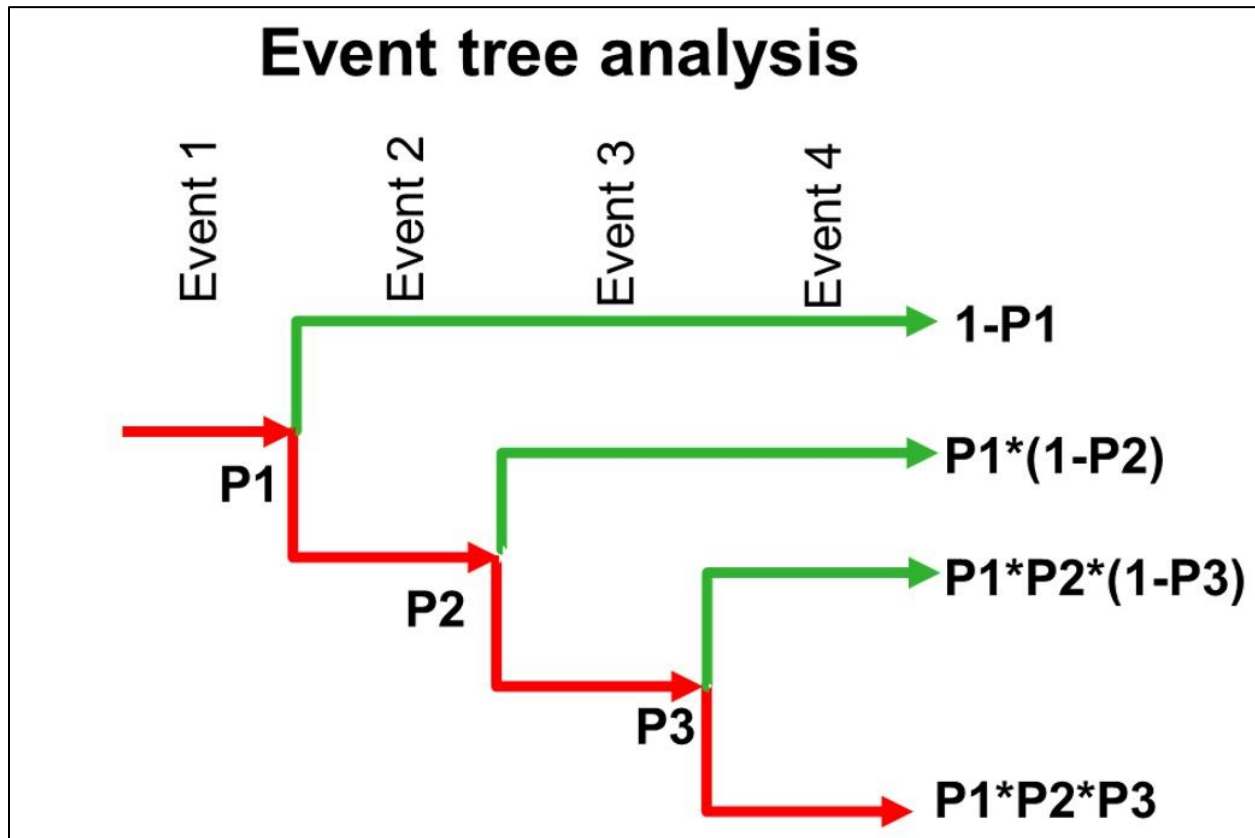


Fuente: Banco Mundial (2017)

### 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)

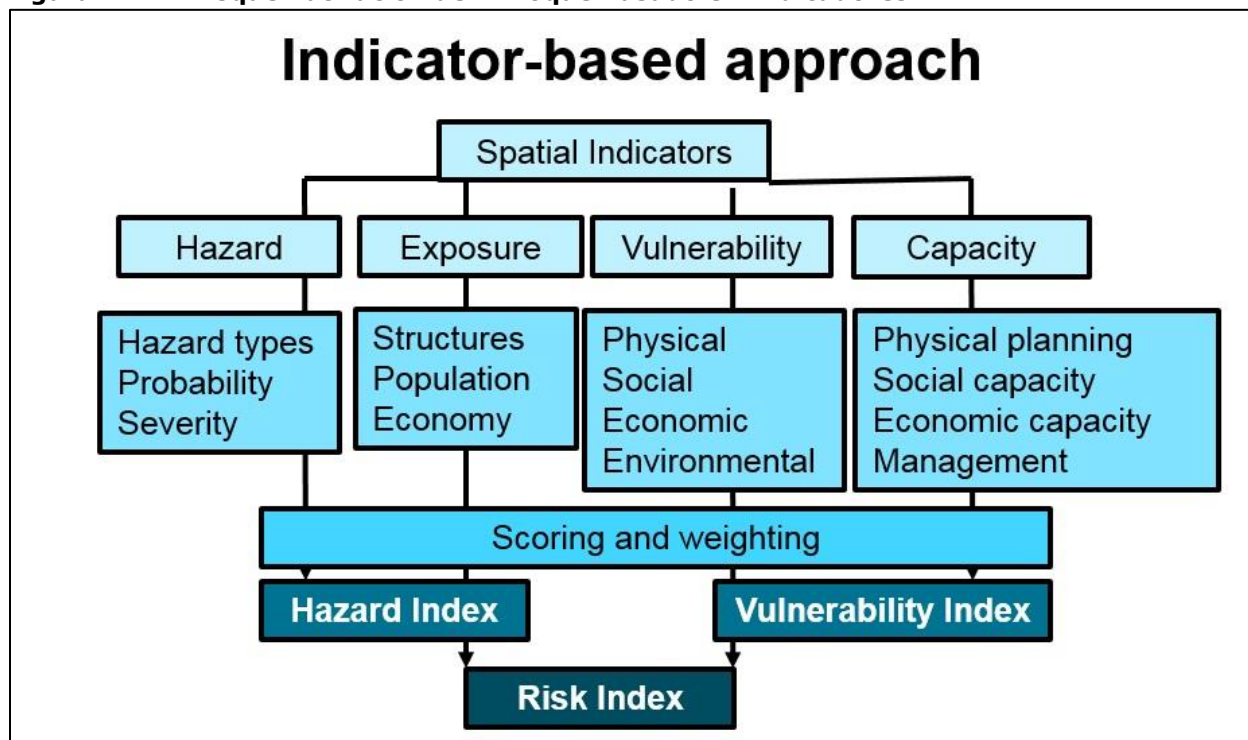
## 2.5 ENFOQUE BASADO EN INDICADORES

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	Datos muy exigentes. Difícil cuantificar la probabilidad temporal, la intensidad de la amenaza y la vulnerabilidad.

Método	Ventajas	Desventajas
	de reducción de riesgos.	
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 (1:25.000) 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

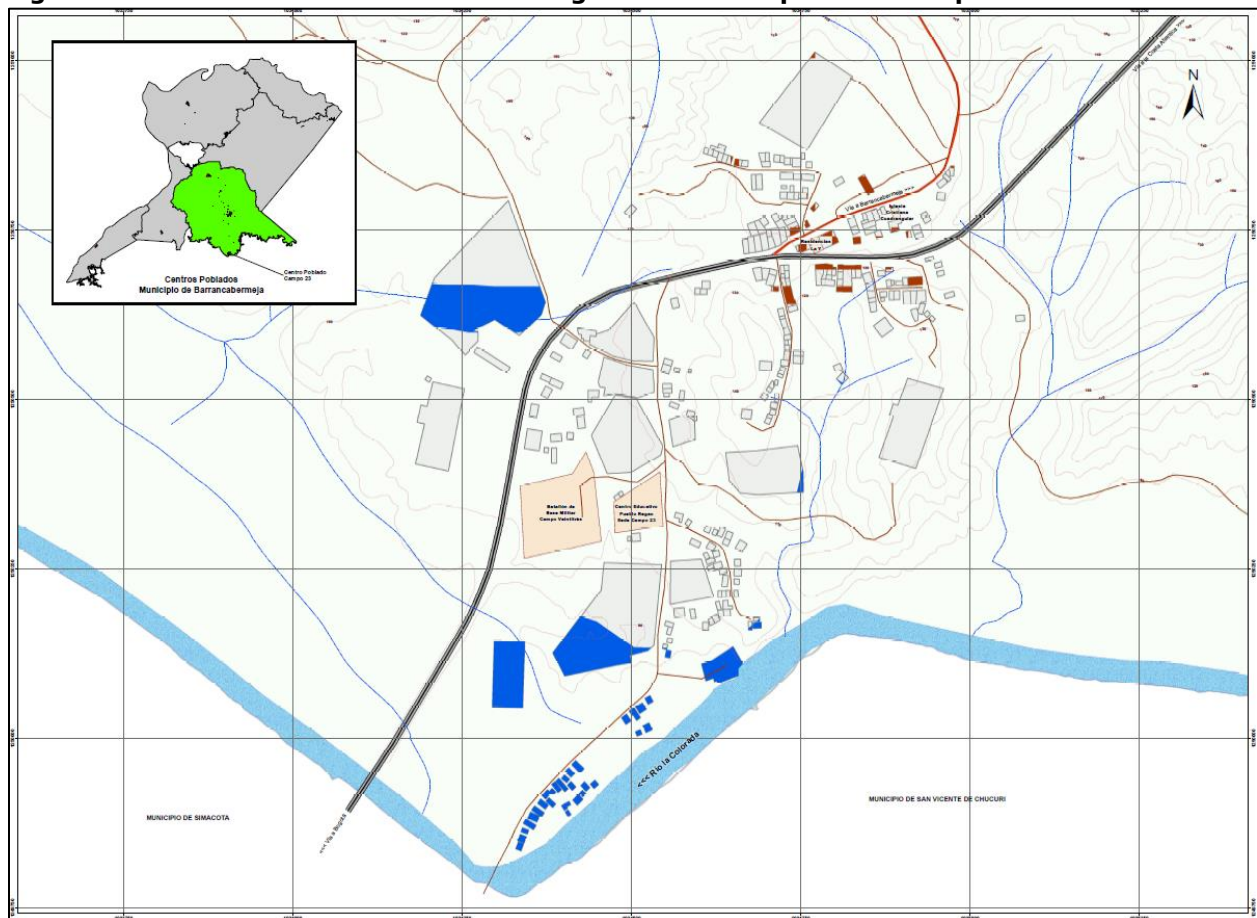
El alcance de los estudios básicos para el área rural comprende la delimitación de las zonas con condición de riesgo y amenaza. Sin embargo, dada la disponibilidad de información, no hay claridad sobre las zonas rurales en las cuales se realizarán desarrollo de proyectos, por lo que no es posible construir mapas en condición de amenaza. Por lo tanto, el presente estudio se centrará en la delimitación de zonas con condición de riesgo en los principales centros poblados del municipio.

#### 3.1 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).

##### 3.1.1 Centro Poblado Campo 23

**Figura 3.1 Zonas con condición de riesgo en el centro poblado Campo 23**



### **3.1.1.1 Características de los eventos amenazantes**

Los principales eventos amenazantes del centro poblado Campo 23 corresponden a las inundaciones lentas (con un caudal pico que ocurre después de 6 horas de la ocurrencia de precipitación) que ocurren en el río La Colorada.

Asimismo, se presenta, en menor magnitud, riesgo debido a inundaciones rápidas ocurridas en corrientes menores, las cuales, por la escala de trabajo, deben ser identificadas durante los estudios de detalle.

### **3.1.1.2 Medidas generales para la reducción del riesgo**

#### ▪ Cuantificación del riesgo

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado del río La Colorada 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 3.3 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.

#### ▪ 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 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 del río La Colorada y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

#### ▪ 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.

#### ▪ Recuperación de rondas hídricas

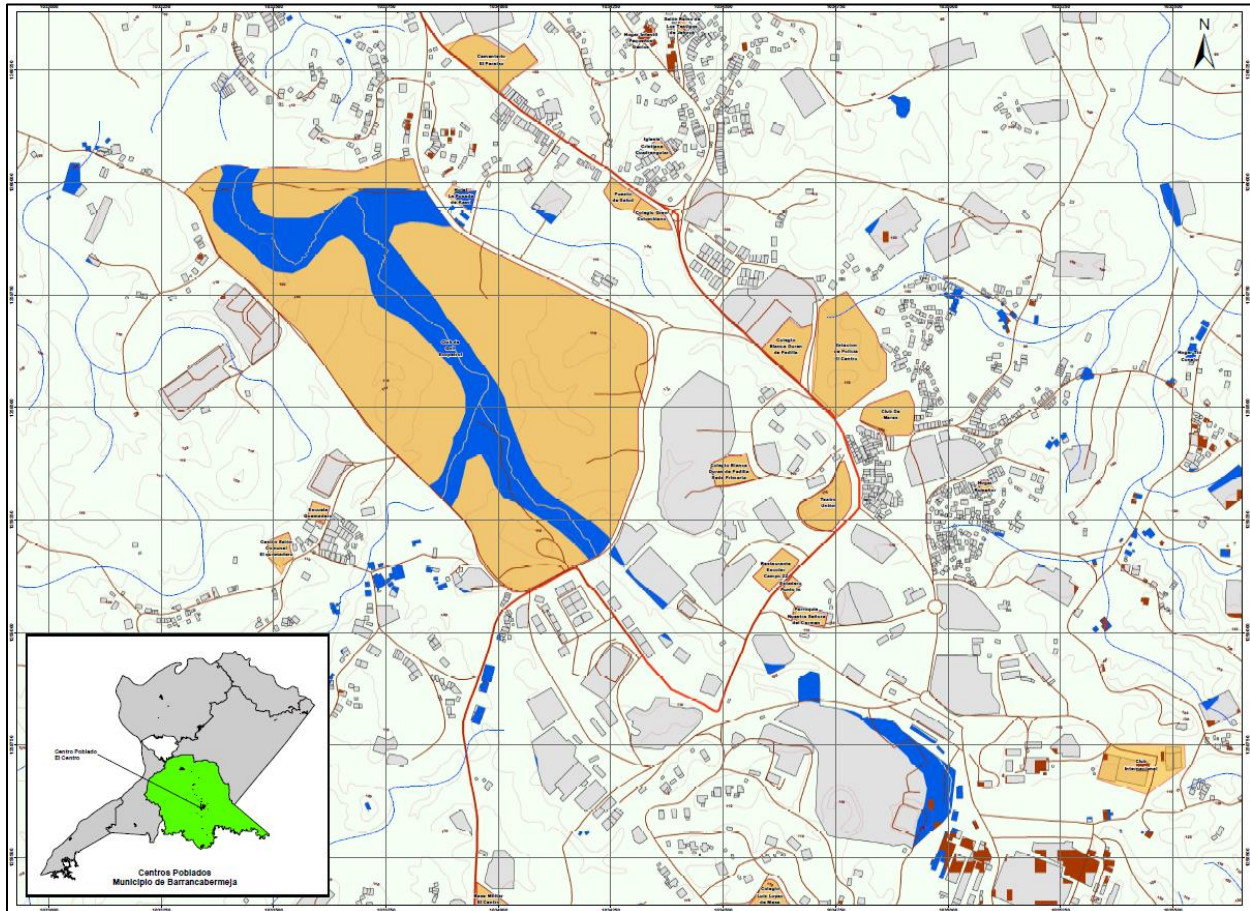
La recuperación de rondas hídricas corresponde a la ejecución de un conjunto de medidas ya definidas como lo son:

- 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

Esta se considera la medida más adecuada para la gestión del riesgo asociada a las crecientes del río La Colorada en el centro poblado Campo 23.

### 3.1.2 Centro Poblado El Centro

**Figura 3.2 Zonas con condición de riesgo en el centro poblado El Centro**



#### 3.1.2.1 Características de los eventos amenazantes

Los principales eventos amenazantes del centro poblado El Centro corresponden a las inundaciones rápidas (con un caudal pico que ocurre después de 6 horas de la ocurrencia de precipitación) que ocurren en algunas corrientes menores.

#### 3.1.2.2 Medidas generales para la reducción del riesgo

- Cuantificación del riesgo

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado de cada una de las corrientes menores identificadas 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 3.3 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.

- 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 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 corrientes menores y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- 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.

- Recuperación de rondas hídricas

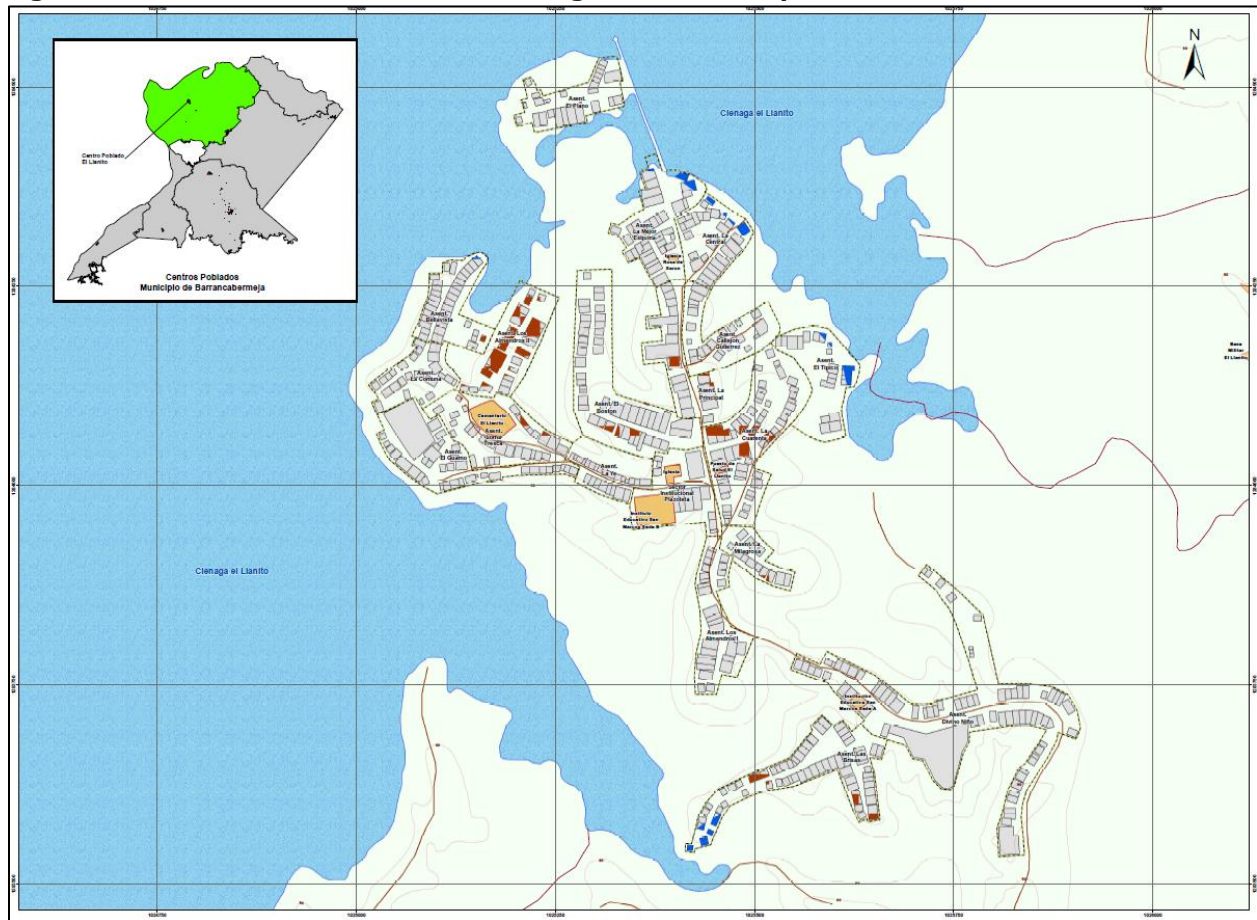
La recuperación de rondas hídricas corresponde a la ejecución de un conjunto de medidas ya definidas como lo son:

- 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

Esta se considera la medida más adecuada para la gestión del riesgo asociada a las crecientes de las corrientes menores en el centro poblado El Centro.

### 3.1.3 Centro Poblado El Llanito

Figura 3.3 Zonas con condición de riesgo en el centro poblado El Llanito



#### 3.1.3.1 Características de los eventos amenazantes

Los principales eventos amenazantes del centro poblado El Llanito corresponden a las inundaciones lentas (con un caudal pico que ocurre después de 6 horas de la ocurrencia de precipitación) que ocurren en la ciénaga El Llanito, la cual es alimentada por las aguas del río Sogamoso y se encuentra conectada con el sistema cenagoso de San Silvestre.

#### 3.1.3.2 Medidas generales para la reducción del riesgo

- *Cuantificación del riesgo*

Dada la baja exposición de elementos a eventos amenazantes, se considera que el estudio básico es suficiente para la determinación de las medidas de reducción del riesgo a definir en el centro poblado el Llanito. Sin embargo, se considera necesario utilizar un modelo de elevación del terreno con una escala mayor a la utilizada para poder definir de forma adecuada la posible extensión de los eventos amenazantes.

- *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 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 del río La Colorada y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

▪ Reasentamiento de la población

Se debe verificar mediante visitas de campo a las zonas con condición de riesgo y determinar la viabilidad de reasentar las viviendas identificadas.

▪ Sistemas de alerta temprana y predicción de inundaciones

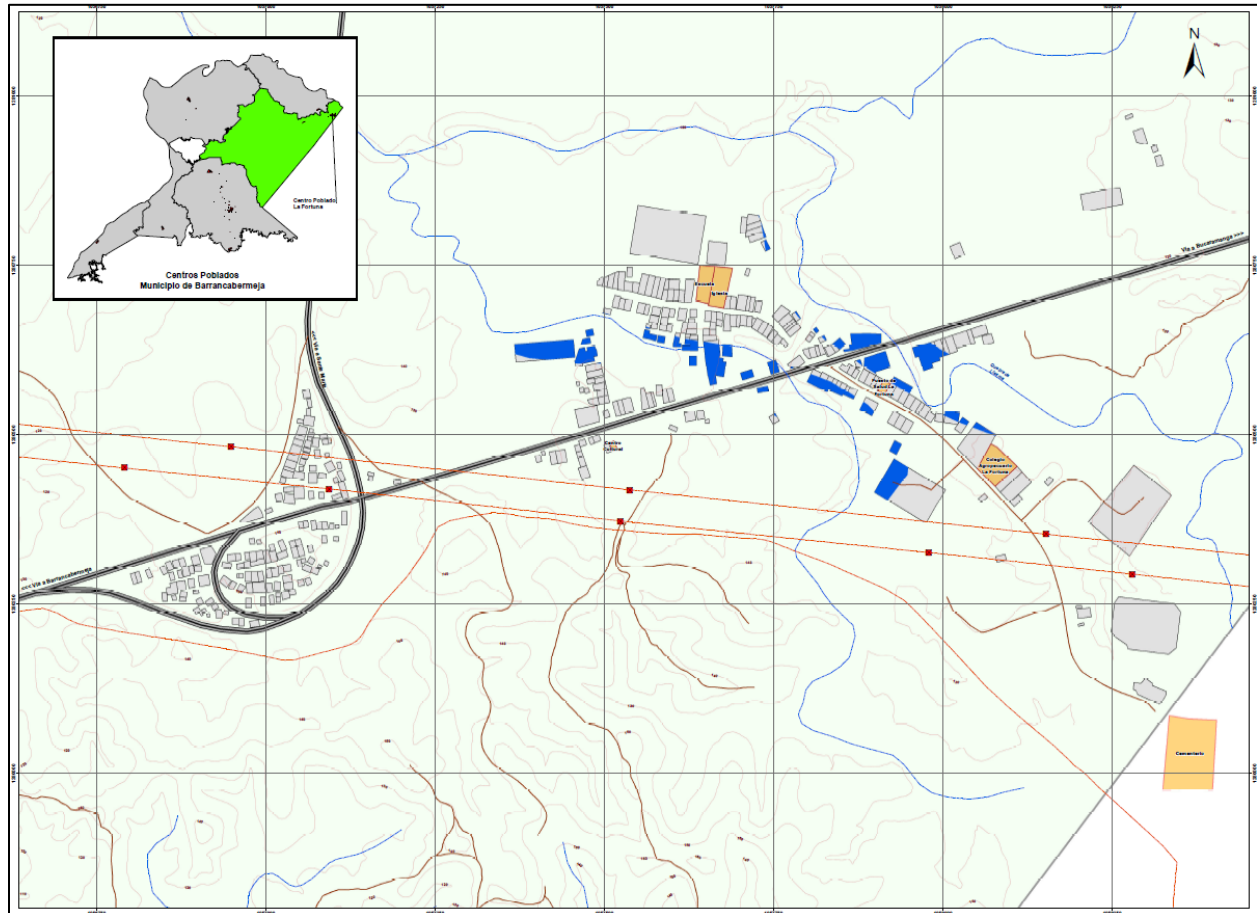
Se instalará un sistema de alerta temprana el cual debe cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

- 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.

Vale la pena aclarar que en la ciénaga de San Silvestre se cuenta con una estación de niveles, para la cual se debe evaluar la viabilidad de utilizarla en el sistema de alerta temprana descrito.

### 3.1.4 Centro Poblado La Fortuna

Figura 3.4 Zonas con condición de riesgo en el centro poblado La Fortuna



#### 3.1.4.1 Características de los eventos amenazantes

Los principales eventos amenazantes del centro poblado La Fortuna corresponden a las inundaciones rápidas (con un caudal pico que ocurre después de 6 horas de la ocurrencia de precipitación) que ocurren en algunas corrientes menores.

#### 3.1.4.2 Medidas generales para la reducción del riesgo

- Cuantificación del riesgo

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado de cada una de las corrientes menores identificadas 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 3.3 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.

- 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 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 corrientes menores y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- 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.

- Recuperación de rondas hídricas

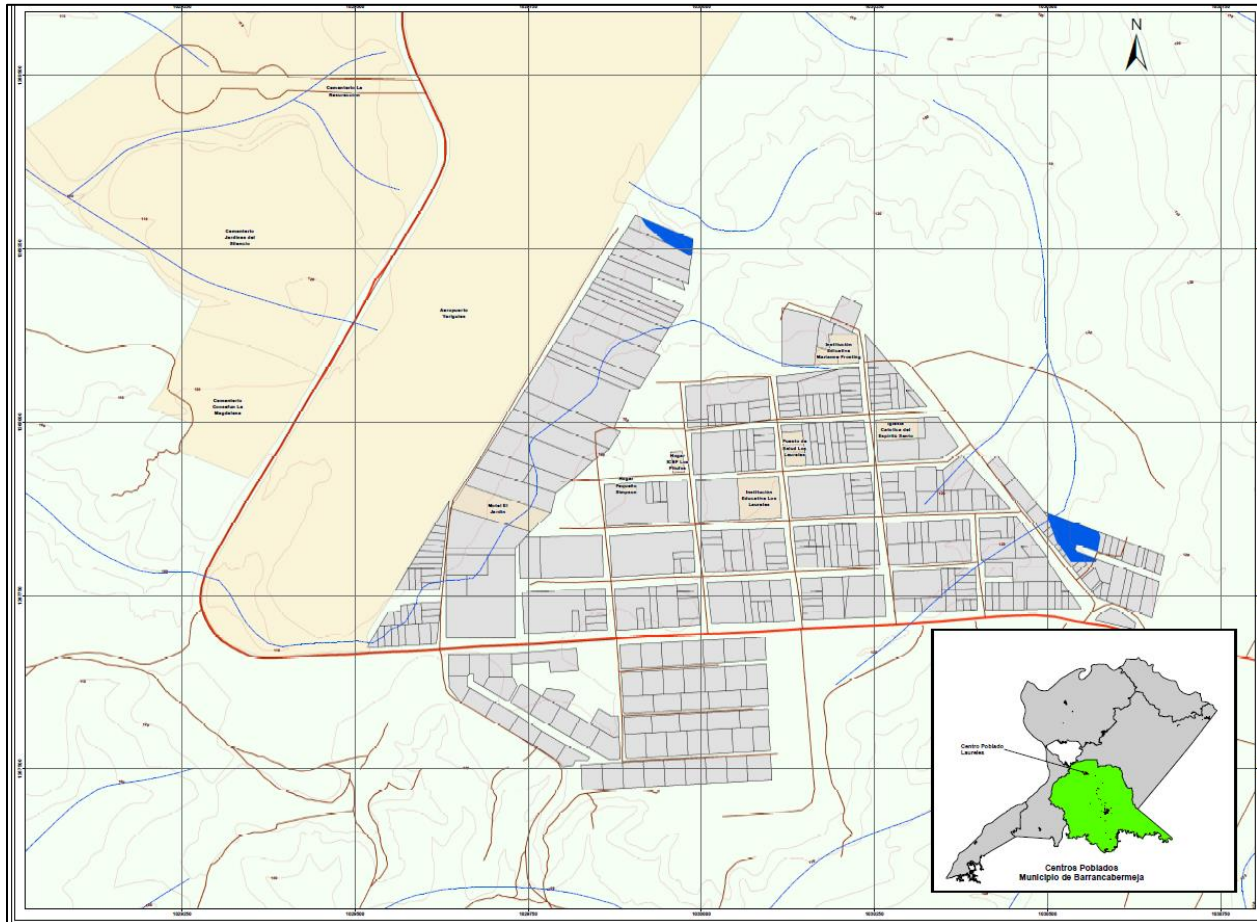
La recuperación de rondas hídricas corresponde a la ejecución de un conjunto de medidas ya definidas como lo son:

- 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

Esta se considera la medida más adecuada para la gestión del riesgo asociada a las crecientes de las corrientes menores en el centro poblado La Fortuna.

### 3.1.5 Centro Poblado Laureles

Figura 3.5 Zonas con condición de riesgo en el centro poblado Laureles



#### 3.1.5.1 Características de los eventos amenazantes

Los principales eventos amenazantes del centro poblado El Centro corresponden a las inundaciones rápidas (con un caudal pico que ocurre después de 6 horas de la ocurrencia de precipitación) que ocurren en algunas corrientes menores.

#### 3.1.5.2 Medidas generales para la reducción del riesgo

- *Cuantificación del riesgo*

Como medida para la reducción de la vulnerabilidad se deberá realizar un estudio detallado de cada una de las corrientes menores identificadas 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 3.3 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.

- 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 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 corrientes menores y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- 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.

- Recuperación de rondas hídricas

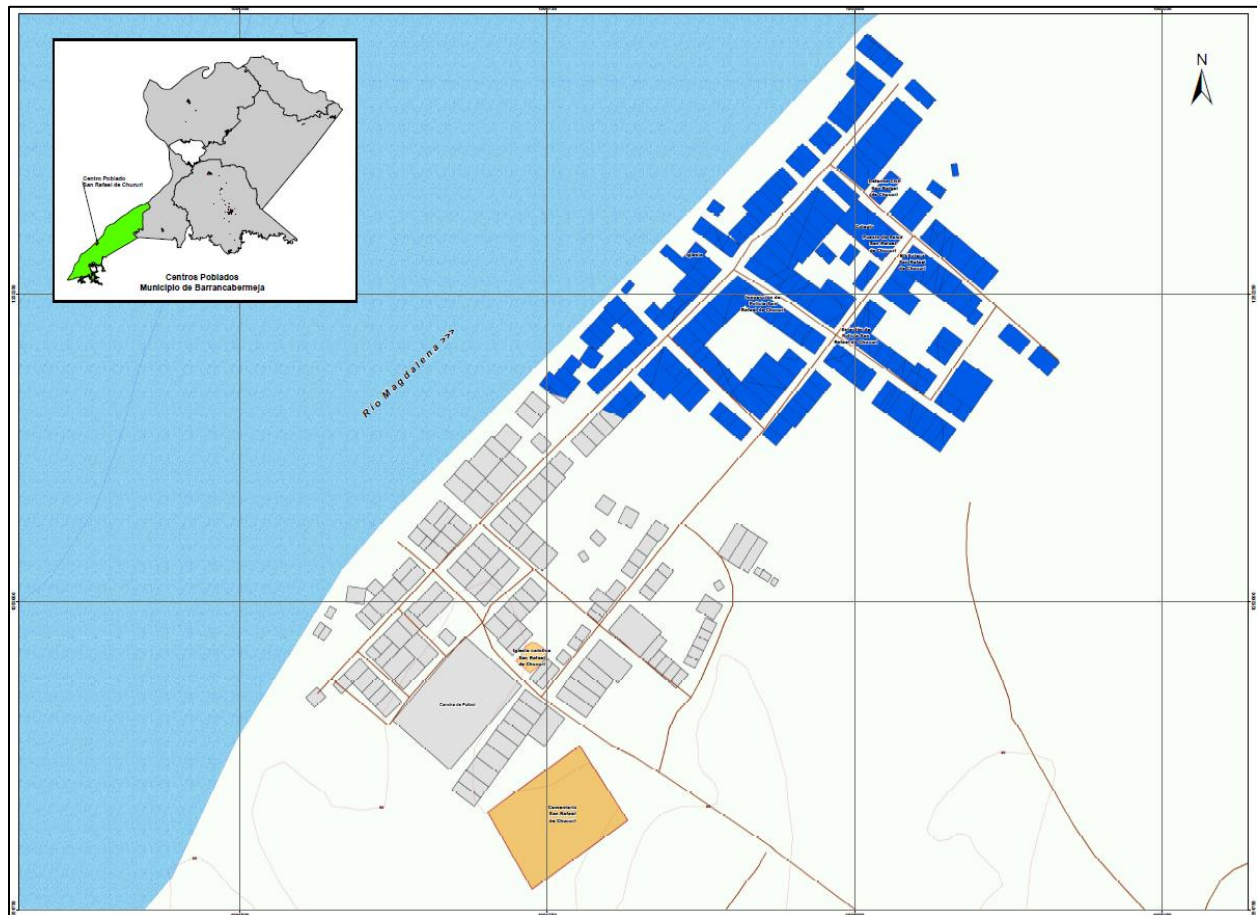
La recuperación de rondas hídricas corresponde a la ejecución de un conjunto de medidas ya definidas como lo son:

- 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

Esta se considera la medida más adecuada para la gestión del riesgo asociada a las crecientes de las corrientes menores en el centro poblado El Centro.

### 3.1.6 Centro Poblado San Rafael de Chucurí

Figura 3.6 Zonas con condición de riesgo en el centro poblado San Rafael de Chucurí



#### 3.1.6.1 Características de los eventos amenazantes

Los principales eventos amenazantes del centro poblado Campo 23 corresponden a las inundaciones lentas (con un caudal pico que ocurre después de 6 horas de la ocurrencia de precipitación) que ocurren en el río La Colorada.

Asimismo, se presenta, en menor magnitud, riesgo debido a inundaciones rápidas ocurridas en corrientes menores, las cuales, por la escala de trabajo, deben ser identificadas durante los estudios de detalle.

#### 3.1.6.2 Medidas generales para la reducción del riesgo

- Quantificación 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. Dicho estudio deberá cumplir con los alcances definidos en el decreto 1077 de 2015 y las recomendaciones descritas en la sección 3.3 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.

- 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 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 del río La Colorada y deben ser declaradas zonas de protección. Esto se realizará con base en los estudios de detalle.

- Reasentamiento de la población

Dada la magnitud de los eventos generados por el río Magdalena, 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.

### 3.2 JERARQUIZACIÓN DE ZONAS CON CONDICIÓN DE 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 3.1 Nivel de priorización de estudios detallados**

Nivel de prioridad	Categoría	Zona	Observaciones
1	Urgente	San Vicente de Chucurí	La fuente de los eventos amenazantes es el río Magdalena. Alto potencial de pérdidas (vidas e infraestructura).
2	Importante	Campo 23	Alto potencial de pérdidas (vidas e infraestructura)
2	Importante	La Fortuna	Alto potencial de pérdidas (vidas e infraestructura). Cuenta con un estudio detallado de mitigación.
2	Importante	El Llanito	Aunque el área expuesta es poca, la fuente de los eventos amenazantes es el río Sogamoso, por lo que se debe priorizar esta zona.
3	Medio	El Centro	Se debe estudiar mejor este sistema
4	Baja	Laureles	La cantidad de elementos expuestos es mínima. La fuente de eventos amenazantes corresponden a corrientes menores

### 3.3 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.

#### 3.3.1 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.

### 3.3.2 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 3.3.4 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.

### 3.3.3 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.

### 3.3.4 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 estemos 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 a 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.

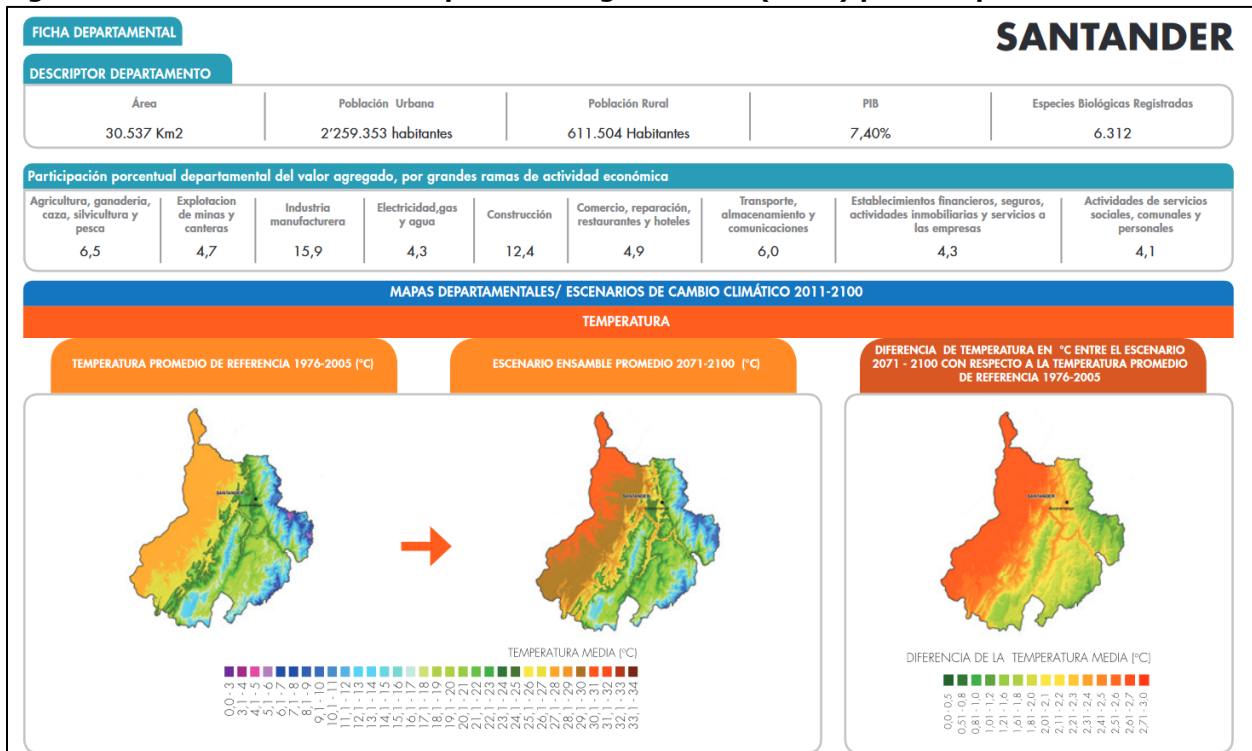
Adicional a esto, los escenarios de Cambio Climático son un insumo muy importante para que avanzar hacia un análisis de vulnerabilidad que nos permita aumentar el nivel de comprensión y de planificación para de esta manera reducir los riesgos y aumentar la capacidad adaptativa de cada una de las regiones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

### 3.3.4.1 Temperatura y precipitación

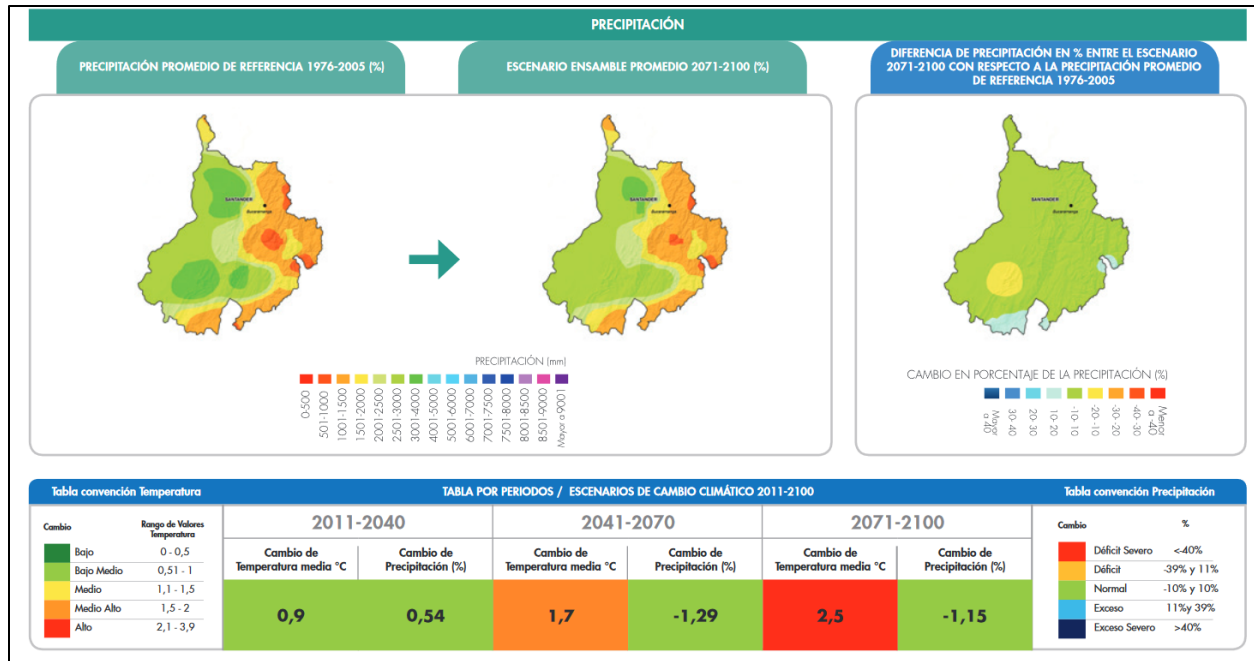
En la Figura 3.7 y Figura 3.8 se presentan los cambios en la temperatura y precipitación para el período 2011-2100. Encontrando el municipio de Barrancabermeja se encuentra localizado en una zona donde se espera un cambio en la precipitación media anual entre  $\pm 10\%$ .

**Figura 3.7 Cambios en la temperatura según IDEAM (2015) para los períodos 2011-2100**



Fuente: IDEAM (2015)

**Figura 3.8 Cambios en la precipitación según IDEAM (2015) para los períodos 2011-2100**

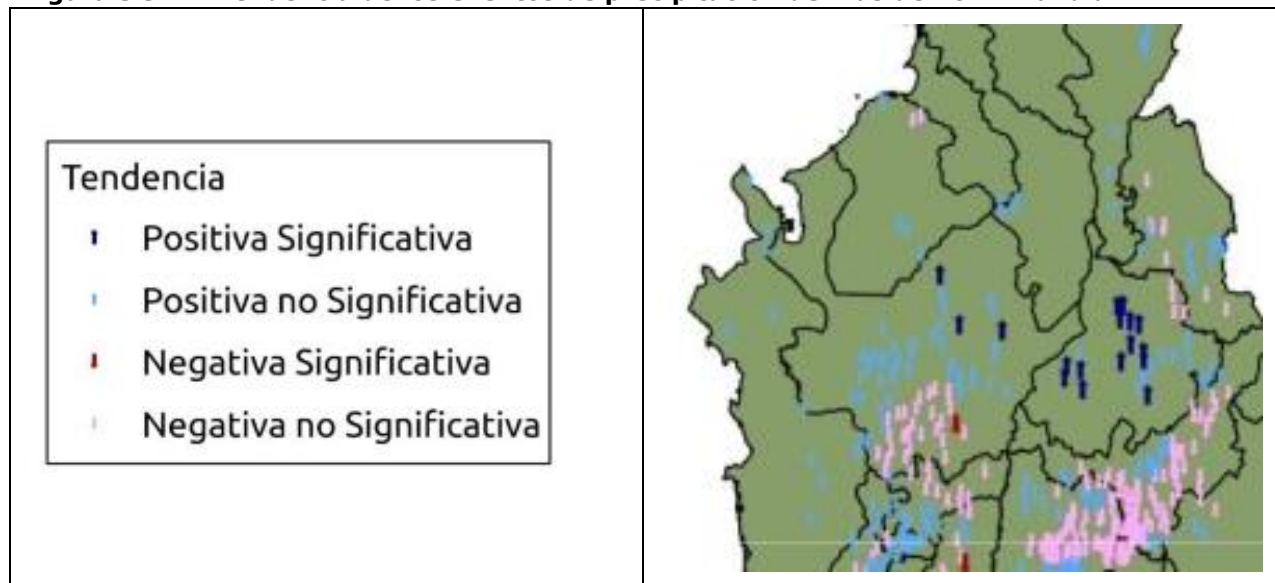


**Fuente: IDEAM (2015)**

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 crecient), encontrando una tendencia al incremento de número de eventos de precipitación diaria con más de 20 mm de lluvia.

**Figura 3.9 Tendencia de los eventos de precipitación de más de 20 mm al día**



Fuente: Ruiz y Armenta (2015)

Tabla 3.2 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)

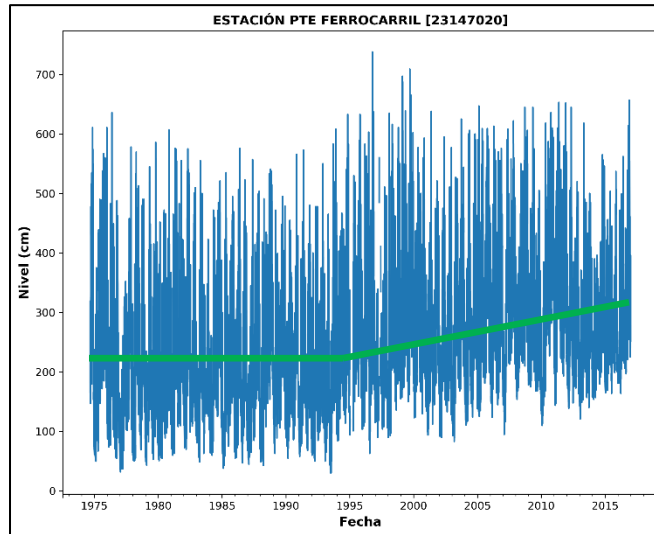
En la tabla anterior se observa que las lluvias de mas de 20 mm presentan un incremento de aproximadamente el 20 % en el período 2011-2040.

### 3.3.4.2 Niveles

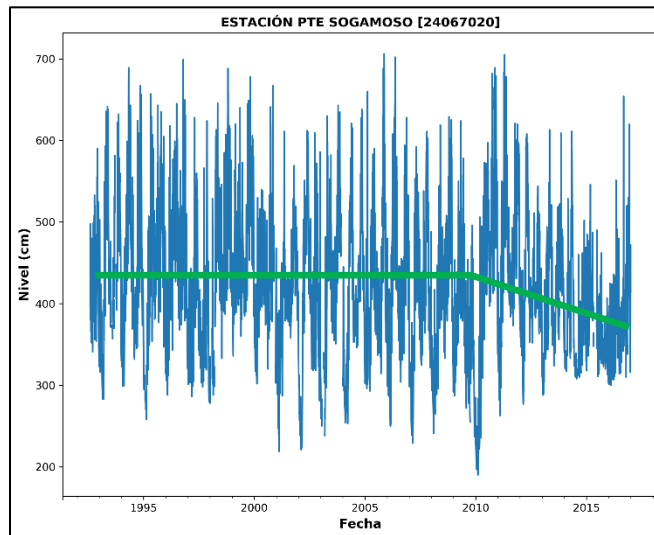
Como se presenta en el estudio de amenaza, los niveles registrados en las principales corrientes del municipio de Barrancabermeja (río Magdalena, río Opón y río Sogamoso) exhiben señales de tendencias mezcladas sobre las mismas corrientes, es decir que, sobre dos estaciones en una misma corriente, pueden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

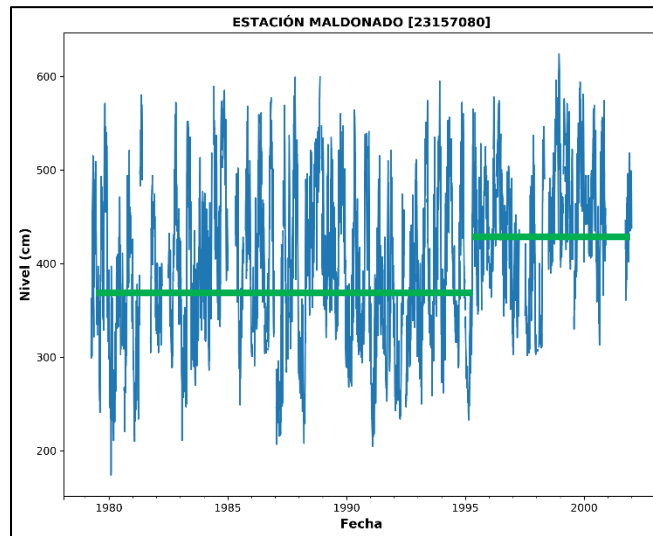
**Figura 3.10 Análisis de la serie de niveles de la estación Puente Ferrocarril (río Opón)**



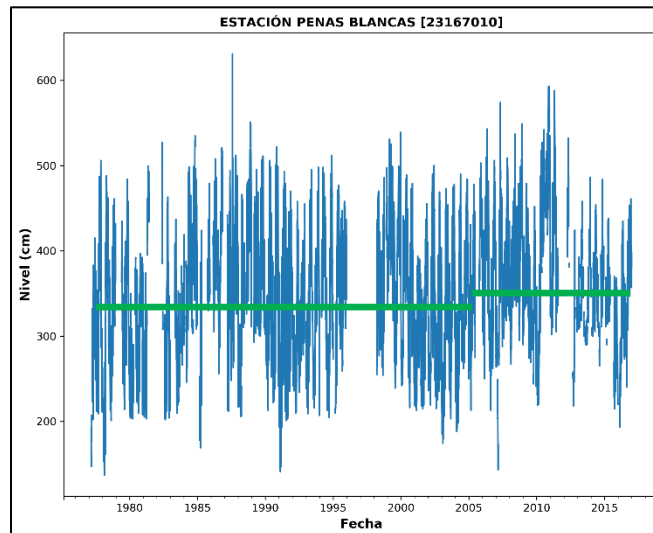
**Figura 3.11 Análisis de la serie de niveles de la estación Puente Sogamoso**



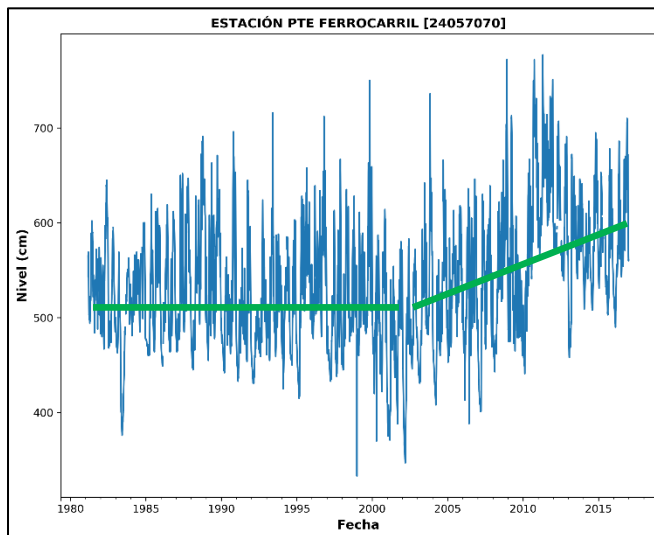
**Figura 3.12 Análisis de la serie de niveles de la estación Maldonado**



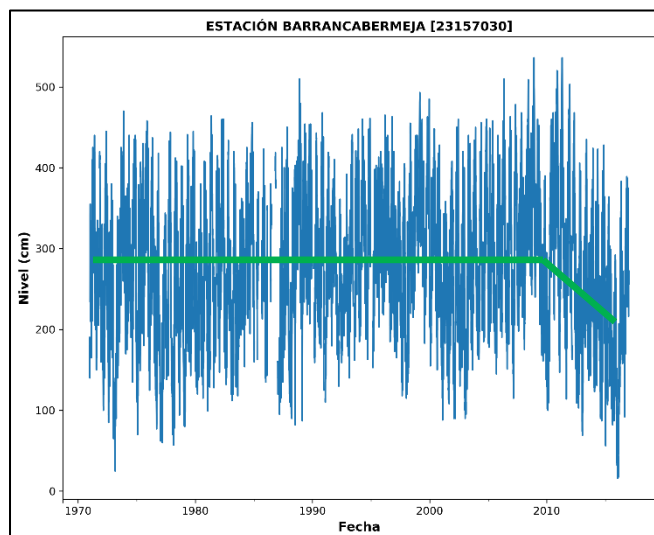
**Figura 3.13 Análisis de la serie de niveles de la estación Peñas Blancas**



**Figura 3.14 Análisis de la serie de niveles de la estación Puente Ferrocarril (ciénaga San Silvestre)**



**Figura 3.15 Análisis de la serie de niveles de la estación Barrancabermeja Automática**



### 3.3.4.3 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.

#### **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Se definieron las zonas con condición de riesgo. Sin embargo, no fue posible determinar las zonas con condición de amenaza debido a la falta de información con respecto a la planificación de desarrollo futuros en los centros poblados del área urbana.

Se caracterizaron los eventos amenazantes generadores del riesgo en los centros urbanos del área rural. Para los 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.



## 5 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.