

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR EL RIESGO POR INUNDACIONES SÚBITAS
DE LA QUEBRADA TEQUENDAMITA (AMALFI, ANTIOQUIA)**

Informe final de utilidad para la difusión de resultados al servicio de Autoridades y
Comunidades

Elaborado por:

Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia
Municipio de Amalfi, Secretaría de Planeación municipal.

PRESENTACIÓN

El propósito de este informe es dar difusión de los resultados de la investigación a las autoridades, grupos focales y comunidad del municipio de Amalfi (Antioquia), como un material de apoyo para avanzar en el conocimiento del riesgo de desastres. Estos resultados contemplan una evaluación del riesgo ante inundaciones súbitas por la Quebrada La Tequendamita, así como la formulación de unas recomendaciones o directrices para que todos estos actores las tengan en cuenta dentro de sus instrumentos de planeación, ordenamiento territorial y gestión del riesgo.

Los resultados de la investigación son reflejo del incondicional apoyo recibido de líderes comunitarios, servidores públicos y miembros del Cuerpo de Bomberos Voluntarios y de la Cruz Roja del Municipio de Amalfi, quienes aportaron todos sus conocimientos durante la realización de este proyecto. A todas estas personas se les agradece profundamente su colaboración.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Objetivo general	7
1.2. Objetivos específicos	7
1.3. Definición de inundaciones súbitas	7
1.4. Planteamiento del problema.....	8
1.5. Justificación	9
1.6. Equipo de trabajo	10
2. METODOLOGÍA.....	11
2.1 Análisis y conocimiento del territorio.....	11
2.2 Metodología para la evaluación de la amenaza.....	12
2.2.1 Recopilación de información secundaria	14
2.2.2 Visitas de campo.....	14
2.2.3 Estimación de manchas de inundación	14
2.2.3.1 Estimaciones hidrológicas	14
2.2.3.2. Caracterización morfométrica de la cuenca.....	15
2.2.3.3. Definición de la tormenta de diseño.....	15
2.2.3.4. Estimación de las pérdidas hidrológicas.....	15
2.2.3.5. Estimación del modelo lluvia-escorrentía	16
2.2.3.6. Modelación hidráulica	16
2.2.3.7. Validación	17
2.2.4 Clasificación de la amenaza.....	17
2.3 Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad	18
2.3.1 Selección de componentes y variables de la vulnerabilidad	19
2.3.2 Análisis de las condiciones de vulnerabilidad en campo y oficina	37
2.3.3 Evaluación de expertos	39
2.3.4 Completitud y análisis de la información.....	40
2.3.5 Tratamiento estadístico	40
2.3.6 Evaluación de las condiciones de vulnerabilidad	41

2.3.7	Elaboración de mapa de vulnerabilidad	42
2.4	Metodología para la evaluación del riesgo	42
3.	RESULTADOS	45
3.1	Evaluación de la amenaza	45
3.1.1	Reconstrucción de manchas de inundación por medio de conocimiento local...	45
3.1.	Modelación hidrológica	48
3.1.3.	Modelación hidráulica	52
	Modelación hidráulica bidimensional.....	52
3.2	Evaluación de la vulnerabilidad	58
3.3	Evaluación del riesgo	62
4.	RECOMENDACIONES.....	64
5.	BIBLIOGRAFÍA	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Línea de tiempo de la ocurrencia de inundaciones en el Municipio de Amalfi	9
Figura 2. Metodología participativa para evaluar la amenaza	12
Figura 3. Diagrama metodológico para validación	17
Figura 4. Clasificación para evaluar la amenaza (adaptado de FEMA, 2014)	18
Figura 5. Posibilidades de análisis de la variable ángulo de impacto	27
Figura 6. Variable elementos de protección	28
Figura 7. Variables del componente tipología.....	31
Figura 8. Alturas de la edificación.....	32
Figura 9. Estado de conservación de la vivienda	33
Figura 10. Tipo de fundación de la edificación	34
Figura 11. Clasificación de las viviendas por edad.....	34
Figura 12. Fragilidad a escala de manzana	37
Figura 13. Intervención prospectiva y correctiva	44
Figura 14. Número de registros por evento de inundación	47
Figura 15. Ventana temporal y completitud de las series hidrológicas empleadas.....	48
Figura 16. Cuencas en el estudio hidrológico (Amalfi - Antioquia)	49
Figura 17. Hidrograma Quebrada La Tequendamita	51
Figura 18. Transitorio hidrológico para el modelo hidráulico de la quebrada La Tequendamita (Amalfi - Antioquia)	51
Figura 19. Superficies definidas en el modelo bidimensional.....	53
Figura 20. Geometría y mallado de la simulación bidimensional de la quebrada La Tequendamita.....	53
Figura 21. Distribución espacial de la rugosidad de la quebrada La Tequendamita	55
Figura 22. Mapa de profundidades en la Quebrada Tequendamita	56
Figura 23. Velocidades de flujo simulación bidimensional Quebrada La Tequendamita....	57
Figura 24. Amenaza de la Quebrada La Tequendamita	57
Figura 25. Porcentaje de varianza por dimensión	59
Figura 26. Contribución de las variables a la dimensión 1	59
Figura 27. Contribución de las variables a la dimensión 2	60
Figura 28. Contribución de las variables a la dimensión 3	60
Figura 30. Localización de sitios críticos	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Equipo de trabajo	10
Tabla 2. Variables para la evaluación de la vulnerabilidad	20
Tabla 3. Construcción de escenarios de intervención propuestos.....	43
Tabla 4. Resumen de parámetros.....	49
Tabla 5. Caudales	50

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo general

Desarrollar una herramienta metodológica para la evaluación del riesgo por inundaciones súbitas por la Quebrada Tequendamita en la cabecera urbana del municipio de Amalfi, Antioquia.

1.2. Objetivos específicos

- Desarrollar herramienta metodológica para la evaluación de la amenaza por inundación súbita, utilizando la información local disponible.
- Identificar y explorar los factores de contexto ambiental, social, cultural, económico, financiero, normativo, legal, político, tecnológico, etc. que generan condiciones de vulnerabilidad para su evaluación.
- Aplicar mecanismos para medir los distintos factores que generan vulnerabilidad y riesgo frente a la amenaza de inundación, combinables con técnicas SIG, que se adapten al nivel de información disponible y a la integración del conocimiento local.
- Proponer alternativas para la integración de la gestión del riesgo con la planificación del desarrollo, el ordenamiento del territorio, la gestión ambiental y la participación comunitaria para una gestión municipal completa.

1.3. Definición de inundaciones súbitas

Las inundaciones súbitas son aquellas que se presentan a consecuencia de la precipitación intensa o persistente en las partes altas de las cuencas, cuando el terreno se ha saturado y el agua lluvia excedente comienza a acumularse con incrementos de nivel del orden de metros en pocas horas, pudiendo permanecer horas o días. La intensidad y duración de las

lluvias, las condiciones del suelo, el uso urbano y un sistema de drenaje incapaz de controlar la cantidad de agua que se acumula en cuestión de minutos y con un tiempo para evacuar corto el cual puede tener un alto poder destructivo en las comunidades y su infraestructura y ecosistemas (Abuzied, Yuan, Ibrahim, Kaiser, & Saleem, 2016; Adamovic, Branger, Braud, & Kralisch, 2016; Bedoya, Contreras, & Ruiz, 2010; Choudhury & Haque, 2016; Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2017).

1.4. Planteamiento del problema

Las estrategias de gestión de riesgo de desastres deben ser articuladas con los ejercicios de planificación, por tanto son prioridad en la construcción y ejecución del plan de desarrollo municipal, el plan de ordenamiento territorial, el plan de gestión de riesgo de desastres y la estrategia municipal de respuesta.

Dado que las inundaciones en la cabecera urbana representan un riesgo no solo para la comunidad sino para el desarrollo del Municipio se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cabecera urbana está rodeada por tres quebradas que han generado emergencias por inundaciones en el pasado.
- El asentamiento de comunidades en zonas con riesgo de inundación debido a un inadecuado proceso de planificación urbana, ignorando las consecuencias que traen consigo. Según análisis contextual hecho para esta formulación, se han identificado alrededor de 40 manzanas con aproximadamente 788 hogares que se ven afectados con frecuencia por las inundaciones súbitas de la quebrada Tequendamita.
- El Municipio de Amalfi cuentan con el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres que debe ser actualizado y adecuado a los requisitos de la Ley 1523 del 2012.

- El desconocimiento del riesgo hace más vulnerables a las comunidades al asentarse en zonas de alto riesgo de inundación, además de la realización de prácticas que aumentan su vulnerabilidad como lo son el manejo inadecuado de residuos, no tener en cuenta los parámetros constructivos de las viviendas según las normativas vigentes, realizar vertimientos de aguas y residuos a los cauces, entre otros.
- Los recursos del Municipio para inversión en la gestión del riesgo de desastres son limitados dada la categoría sexta en la que están clasificados según la Ley 1551 de 2012, donde los recursos disponibles son priorizados en planes de inversión para el desarrollo de proyectos para la satisfacción de necesidades básicas como educación, salud, vivienda y saneamiento básico (Congreso de la República de Colombia, 2012b).

1.5. Justificación

La ocurrencia de eventos de tipo hidrometeorológico (inundaciones) en el municipio de Amalfi es frecuente como se puede observar en la Figura 1.



Figura 1. Línea de tiempo de la ocurrencia de inundaciones en el Municipio de Amalfi

Fuente: (Corporación OSSO & La Red, 2018, Municipio de Amalfi, 2018)

Teniendo en cuenta este panorama de afectaciones y pérdidas, las motivaciones para abordar esta investigación fueron varias tales como encaminar el proyecto de investigación

con los conocimientos adquiridos en la línea de cursos electivos en gestión del riesgo de desastres, las características del municipio de Amalfi similares a otros municipios de Colombia y la facilidad de adquirir de información acerca del municipio en parte por la organización de su administración municipal y otros grupos de apoyo.

1.6. Equipo de trabajo

El equipo de trabajo que participó en la ejecución del proyecto se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Equipo de trabajo

Nombre	Funciones
Juliana Montoya Uribe	Investigadora Estudiante de Ingeniería Ambiental Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia
Luz Stella Pérez Valencia	Investigadora Estudiante de Ingeniería Ambiental Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia
Edna Margarita Rodríguez Gaviria	Profesor investigador Profesora Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia Candidata Doctor en Ingeniería-Recursos Hidráulicos Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
Verónica Botero Fernández	Profesor investigador Doctor en Geo-información Profesora Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
Juan David Parra Jiménez	Co-investigador MSc. Recursos hidráulicos Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia
José Manuel Mojica Vélez	Co-investigador MSc. Medio Ambiente y Desarrollo Universidad Nacional Autónoma de México
Manuel Coy Pertuz	Co-investigador Estudiante de MSc. Recursos hidráulicos Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

2. METODOLOGÍA

Se plantean como etapas generales del proyecto el análisis y conocimiento del territorio, la evaluación de la amenaza, la evaluación de la vulnerabilidad y la evaluación del riesgo las cuales se detallan a continuación:

2.1 Análisis y conocimiento del territorio

Es importante una recopilación de la información sobre las inundaciones históricas en fuentes documentales como hemerotecas, bases de datos, reportes locales, documentación fotográfica, otros registros y publicaciones, y también a partir de la realización de encuestas a la población y otros actores implicados, especialmente relacionados con la administración local. Se requiere capturar la mayor cantidad de información para identificar los principales sitios del territorio con problemas de inundación, conocer las características de las inundaciones y la superficie afectada por las mismas.

Es necesario desarrollar un proceso de consolidación de la información y de creación de un sistema de información geográfica para el territorio objeto de análisis, dónde se pueda registrar y conservar información relacionada con las características generales del entorno, las características económicas, políticas, sociales, ambientales y culturales.

La recolección y análisis de información de datos aportados por las comunidades o grupos focales, estuvieron dirigidos a comprender la dinámica de las inundaciones. A través de talleres participativos, entrevistas con líderes comunitarios y encuestas en hogares, se obtuvo información de las áreas expuestas a las inundaciones, así como de las

profundidades que han alcanzado las inundaciones en años pasados. Estas actividades participativas se observan en la Figura 2.



Figura 2. Metodología participativa para evaluar la amenaza

2.2 Metodología para la evaluación de la amenaza

La Ley 1523 de 2012 en el artículo 4 establece que la amenaza es un peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Congreso de la República de Colombia, 2012a).

El objetivo de esta metodología es conocer la naturaleza, la probabilidad, la intensidad y la distribución espacial que puedan tener para nuestro caso de estudio, una o varias

inundaciones en períodos determinados de tiempo, con el fin de tener una estimación del daño que pueden ocasionar.

No existe un único modelo ni método que sirva para evaluar la amenaza por inundaciones en contextos urbanos pequeños con información escasa, pero si se encuentran métodos que pueden ser aplicables. Para el caso de Amalfi se combinaron métodos hidrológicos e hidráulicos que son de utilidad para obtener una mejor descripción del flujo y del campo de velocidades.

Otra ventaja de usar los métodos anteriormente descritos es que se pueden acoplar a métodos asistidos por sistemas de información geográfica, produciendo resultados que sirven como información de base para complementar la elaboración de la cartografía de amenaza.

Que la Administración Municipal disponga de suficiente información y recursos tecnológicos y para la captura de los datos, permitirá que la aplicación de los resultados de este proyecto tenga aplicación en diferentes temas donde finalmente se requieran tomar decisiones.

En la ejecución de este proyecto también se utiliza la metodología para estimar manchas de inundación incorporando el uso de descriptores morfométricos que sirven para analizar y caracterizar el relieve y sus componentes, considerando que procesos geológicos y fluviales han dejado una huella morfológica sobre las áreas inundadas para realizar las primeras aproximaciones al análisis de la vulnerabilidad (Parra-Jiménez, 2017; Pérez, 2014; Rodríguez-Gaviria, 2016; Universidad Nacional de Colombia, 2010, 2014). Este método sirvió al inicio del proyecto para hacer una contextualización inicial de las condiciones de

amenaza y sirvió como apoyo en la selección de la muestra poblacional a ser intervenida en la evaluación de la vulnerabilidad.

Para la construcción de mapas de inundación para los periodos de retorno definidos de acuerdo con los horizontes de planificación del país se llevan los siguientes pasos:

2.2.1 Recopilación de información secundaria

Se hace a través de la búsqueda de estudios que pueden incluir tesis de grado, Planes de Ordenamiento de Cuencas (POMCA), Planes de Ordenamiento Territorial (POT), además de posibles estudios puntuales que se hayan realizado en la zona (estudios hidrológicos para la quebrada La Tequendamita). Además se lleva a cabo la revisión de toda la información cartográfica, en formato impreso o digital.

2.2.2 Visitas de campo

Se llevan a cabo las visitas de campo necesarias al área de estudio para recolección y análisis de información de datos históricos aportados por las comunidades, líderes y grupos focales.

2.2.3 Estimación de manchas de inundación

Se hace la estimación de zonas de inundación sobre el mapa del terreno teniendo en cuenta las profundidades que puede alcanzar la lámina de agua. Estas zonas evidencian la frecuencia temporal de las inundaciones, es decir, las probabilidades de que se den cada cierto periodo de tiempo, para ello es necesario realizar las siguientes fases:

2.2.3.1 Estimaciones hidrológicas

La estimación de los caudales máximos es la base para la determinación de las manchas de inundación y su posterior zonificación por amenaza. La quebrada Tequendamita no cuenta

con registros limnigráficos, por lo tanto, para la estimación de los caudales máximos se utilizan modelos de precipitación-escorrentía, los cuales permiten caracterizar la respuesta de la cuenca para un evento extremo y su magnitud en diferentes probabilidades de ocurrencia (periodo de retorno de 2.3, 5, 10, 25, 50 y 100 años). Se emplea el modelo HEC-HMS (USACE, 2000) en las estimaciones.

2.2.3.2. Caracterización morfométrica de la cuenca

Se derivan los parámetros morfométricos de las cuencas a partir de los modelos digitales de elevación (MDE) disponibles tales como: el área y elevación máxima y mínima, igualmente, se calculan la longitud del cauce principal y su pendiente.

2.2.3.3. Definición de la tormenta de diseño

Se define la tormenta de diseño para un tiempo de concentración estimado por la metodología de Kirpich (Vélez & Smith, 1997) a partir de los parámetros morfométricos derivados del MDE y un hietograma de tormenta calculado por el método del bloque alterno (Chow, 1964) con las curvas IDF calculadas por la metodología de Vargas & Díaz-Granados (1998) de las series de precipitación anual adquiridas.

2.2.3.4. Estimación de las pérdidas hidrológicas

Se estima una abstracción inicial por la metodología del número de curva del Soil Conservation Service, posteriormente se definió una infiltración constante de acuerdo al trabajo de (Alcaldía de Medellín & Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2004).

2.2.3.5. Estimación del modelo lluvia-escorrentía

Se emplea el hidrograma unitario sintético de Clark, el cual conceptualiza la cuenca como un modelo de embalse lineal, considerando los tiempos de viaje desde los diferentes puntos de la cuenca a través de un histograma de área-tiempo.

La transformación de la precipitación en escorrentía se trabaja de forma agregada y semi-agregada, de acuerdo al área de la cuenca. Las cuencas más pequeñas se trabajan de forma agregada, mientras que las cuencas más grandes se dividen en subcuencas para trabajarse de forma semi-agregada, lo que permite conocer los caudales en la totalidad de la cuenca como en cada una de sus subcuencas.

En la simulación semi-agregada, el tránsito hacia aguas debajo de la creciente generada en cada una de las subcuencas se hace con la metodología de Muskingam-Cunge, la cual combina los métodos de onda cinemática y el método de Muskingam tradicional, y depende únicamente de parámetros propios de los canales como lo son longitud de sus tramos, su pendiente media, ancho del fondo, rugosidad y pendiente de su talud (Chow, 1964).

2.2.3.6. Modelación hidráulica

Se elabora un modelo hidráulico bidimensional que permite evaluar la amenaza de inundación ante un periodo de retorno de 100 años a partir del producto de la profundidad y velocidad del flujo. Se emplea el modelo bidimensional IBER 2.4.3, especializado en flujo de ríos y estuarios. Los modelos hidrodinámicos bidimensionales permiten analizar las variaciones del flujo en dos dimensiones (ortogonales), lo cual representa una mayor fidelidad de los procesos físicos del flujo de agua en canales permitiendo evaluar las sobre-elevaciones en curvas, los controles hidráulicos por la confluencia de otros cauces

tributarios y la distribución de las variables en las direcciones ortogonales (Bladé et al., 2012).

2.2.3.7. Validación

Se procesan y analizan los datos obtenidos con la ayuda del conocimiento local para validar las zonas de inundación determinadas por el modelo hidráulico. En la Figura 3 se presenta el diagrama metodológico.

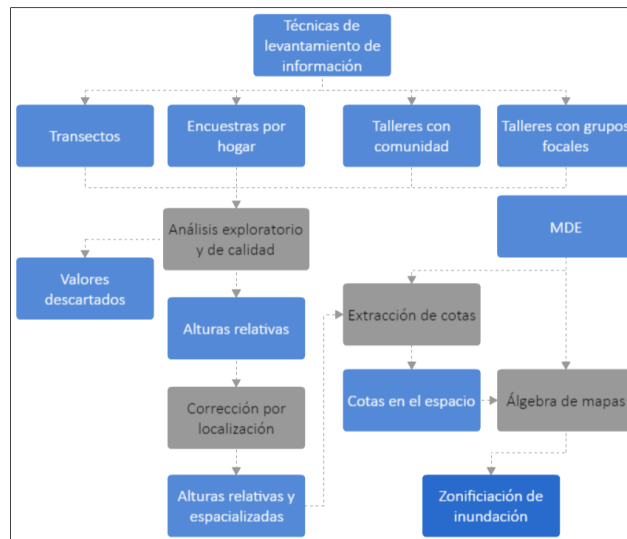


Figura 3. Diagrama metodológico para validación

2.2.4 Clasificación de la amenaza

La severidad de la amenaza se clasifica a partir del producto de la profundidad y la velocidad como lo recomienda la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos de América (FEMA, 2014) como se observa en la Figura 4, sin embargo, se adapta para este caso solo para severidades bajas, medias y altas, integrando esta la severidad muy alta y extrema como una sola, atendiendo las recomendaciones del Decreto 1807 de 2014 (Ministerio de Vivienda Sociedad y Territorio, 2014).

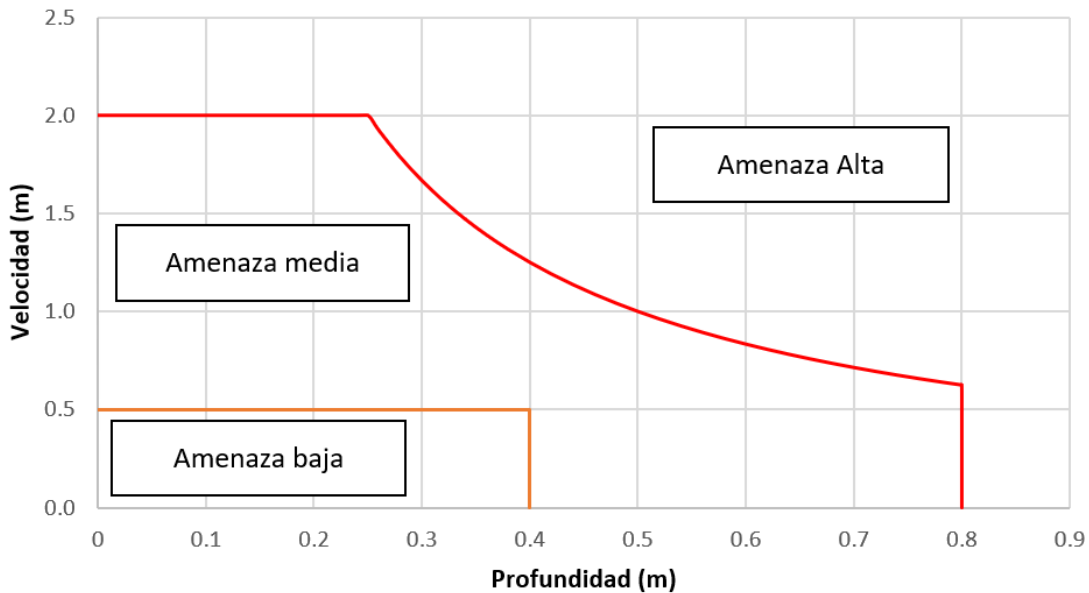


Figura 4. Clasificación para evaluar la amenaza (adaptado de FEMA, 2014)

2.3 Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad

La Ley 1523 de 2012 en el artículo 4 establece que la vulnerabilidad es la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

Hay toda una multidimensionalidad para la evaluación de la vulnerabilidad, bien sea a través de la identificación de las personas y los elementos potencialmente vulnerables (Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2004; Fekete, Damm, & Birkmann, 2010), mediante la caracterización de factores socio-culturales, económico-productivos, político-institucionales y ambientales (Adger, Brooks, Bentham, & Agnew, 2004; Kuhlicke et al.,

2011) o a través del desarrollo de indicadores de vulnerabilidad de elementos y personas expuestas (Damm, 2010; Fekete, 2009; Rodríguez-Gaviria, 2016).

En la búsqueda de un modelo de evaluación de la vulnerabilidad que considere criterios como requerimientos de datos, calidad, costos y transferencia de la información y los resultados para el municipio de Amalfi se trabajó con el modelo de vulnerabilidad propuesto por Rodríguez-Gaviria (2016), el cual permite hacer una comprensión sistémica de la vulnerabilidad en una escala micro, teniendo en cuenta las relaciones hombre-ambiente, las perturbaciones producto de estas relaciones y las condiciones de vulnerabilidad que existen en el territorio.

2.3.1 Selección de componentes y variables de la vulnerabilidad

Para este proyecto, la evaluación de la vulnerabilidad comprende componentes como la exposición, la susceptibilidad y la capacidad. La exposición hace referencia a las condiciones físicas de las viviendas y a la población que reside en las mismas. La susceptibilidad abarca variables en torno a las condiciones socio-económicas de las familias, mientras que la capacidad reconoce los recursos y las habilidades para hacer frente a las situaciones adversas, en este caso los desastres por inundaciones. Las variables que incorporan los componentes analizados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Variables para la evaluación de la vulnerabilidad

Variable	Descripción	Categorización	Fuente de información	Fuente
Sociales				
Personas con discapacidad permanente	Porcentaje de personas dependientes o con requerimientos especiales	Si No	SISBEN	(Bohórquez, 2013)
Género de los habitantes del hogar	Se refiere a la identidad sexual de los seres vivos, la distinción que se hace entre femenino y masculino	Femenino Masculino	SISBEN	(Dwyer, Zoppou, Nielsen, Day, & Roberts, S., 2004)
Edad de los habitantes del hogar	Tiempo que ha vivido una persona	<17 años > 66 años 18 - 25 años	SISBEN	(Dwyer et al., 2004)
Nivel educativo alcanzado de los habitantes del hogar	Máximo nivel de estudios realizados por cualquier habitante del hogar ya que influye en la sensibilidad y los niveles de concientización frente al tema	Ninguno Primaria o menos Secundaria Técnica o tecnológica Universidad Postgrado	SISBEN	(Bohórquez, 2013)
Acceso a servicios de salud	Prestaciones que brindan asistencia sanitaria. Servicios que constituyen un sistema de atención orientado al mantenimiento, la restauración y la promoción de la salud de las personas.	Si No	Secretaría de Salud Municipal	(Rodríguez-Gaviria, 2016)
Estructura familiar	Número de personas por hogar	1-3 Personas 4-5 Personas >5 Personas	Encuesta por hogar	(Dwyer et al., 2004)
Participación en experiencias asociativas organizacionales	Participación, sectores a los que se dirigen, iniciativas de formación	Si A veces No	Encuesta por hogar	(Rodríguez-Gaviria, 2016)

Variable	Descripción	Categorización	Fuente de información	Fuente
Sociales				
Acceso a medios de comunicación	Se conocen los medios por los cuales se brinda formación y capacitación formal y no formal, la comunicación puede provenir de un medio externo como instituciones, organismos de emergencia o medios de comunicación, o de un medio interno como la observación directa del medio, los vecinos o líderes comunitarios.	Si No	Encuesta por hogar	(Rodríguez-Gaviria, 2016)
Hacinamiento	Porcentaje de viviendas con hacinamiento (# personas por vivienda/# Habitaciones)	< 2,4 Sin Hacinamiento 2,5 - 4,9 hacinamiento medio > 5,0 hacinamiento crítico	SISBEN	(Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, 2012)
Institucionales				
Acceso a alertas	Acceso a un medio de alerta porque la población necesita estar enterada de la posible ocurrencia de una inundación para proteger su integridad física, su infraestructura y sus bienes. Es esencial que la comunicación fluya de manera precisa, oportuna y confiable.	No se Recibe Alerta Observación directa de la quebrada y del tiempo o comunidad o medio externo La alerta se recibe por un medio externo e interno	Encuesta por hogar	(Rodríguez-Gaviria, 2016)
Ayuda Humanitaria	Ayuda humanitaria:(el hogar ha sido beneficiario de materiales de aseo y mercado, de subsidio de arrendamiento u otros, de atención médica y psicológica	La familia no ha recibido ayuda humanitaria La familia ha recibido al menos 1 tipo	Encuesta por hogar	(Rodríguez-Gaviria, 2016)

		de ayuda humanitaria		
		La familia ha recibido al menos 2 tipos de ayuda humanitaria		
Evacuación	Evacuación de la población durante las inundaciones	La familia evacúa la vivienda completamente La familia o algunos de sus miembros permanecen en la vivienda durante las inundaciones	Encuesta por hogar	Rodríguez-Gaviria, 2016
Percepción y confianza frente a las Instituciones Gubernamentales	Hace referencia a la percepción de los habitantes frente a la capacidad de influencia de las instituciones en la solución de sus problemas y en el rumbo de estas mismas y la confianza en las instituciones públicas.	Indiferente al tema Poca Confianza Mucha Confianza	Encuesta por hogar	(Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y Instituto de Estudios del Ministerio Público Procuraduría General de la, 2017)
Aceptación y resultado de los procesos de prevención, atención y educación frente al riesgo	Posición que asume el habitante del municipio frente a los diferentes procesos que hace el gobierno y decide hacer parte de ellos y asumir sus roles.	Activa Pasiva Algunas Veces	Encuesta por hogar	(Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y Instituto de Estudios del Ministerio Público Procuraduría General de la, 2017)

Variable	Descripción	Categorización	Fuente de información	Fuente
Culturales				
Percepción de aspectos de afectan la ocurrencia de inundaciones	Nivel de percepción que tienen las personas sobre la tala de árboles, la disposición inadecuada de las basuras, la contaminación y su influencia en la ocurrencia de inundaciones	Si influye No influye No sabe	Encuesta por hogar	(Grupo Internacional Recursos del Sur, 2007; A. Lavell, 2003; A. M. Lavell, 2001; Narváez, Lavell, & Pérez, 2009)
Percepción de la vegetación de la quebrada	Nivel de Importancia que las personas tienen sobre la existencia vegetación alrededor de la quebrada como medida protección ante las inundaciones	La vegetación si protege La vegetación no protege No es importante	Encuesta por hogar	(Grupo Internacional Recursos del Sur, 2007; A. Lavell, 2003; A. M. Lavell, 2001; Narváez et al., 2009)
Percepción del Riesgo	Capacidad que tiene el municipio (habitantes e instituciones) de detectar, identificar y reaccionar frente a una determinada situación de riesgo.	Si No No sabe	Encuesta por hogar	(Grupo Internacional Recursos del Sur, 2007; A. Lavell, 2003; A. M. Lavell, 2001; Narváez et al., 2009)
Conocimiento del Riesgo	Identificación del territorio, componentes y escenarios de riesgo para promover conciencia del mismo y mediante esto poder reducir o manejar ocurrencias o desastres PLAN BARRIAL DE GDR	Conoce Desconoce	Encuesta por hogar	(Grupo Internacional Recursos del Sur, 2007; A. Lavell, 2003; A. M. Lavell, 2001; Narváez et al., 2009)
Iniciativas de reducción de riesgos	Son las acciones tendientes a reducir y prevenir eventos aún más desfavorables de los que van a suceder o están sucediendo	Presencia de Iniciativas Si sabe a quién acudir y ha participado en alguna actividad de gestión del riesgo Presencia de Iniciativas Si sabe a quién acudir y no ha participado en alguna actividad de gestión del riesgo Ausencia de Iniciativas si no sabe a quién acudir y no ha participado en alguna actividad de gestión del riesgo	Encuesta por hogar	(Grupo Internacional Recursos del Sur, 2007; A. Lavell, 2003; A. M. Lavell, 2001; Narváez et al., 2009)

Categoría	Descripción	Variable	Fuente	Referencias
Ambientales				
Acceso a servicios públicos	El acceso a servicios públicos en un hogar permite una mejor calidad de vida	La vivienda tiene acceso a todos los servicios públicos Con acueducto y alcantarillado y/o sin energía o recolección de residuos Sin acueducto y/o alcantarillado	SISBEN	(Rodríguez-Gaviria, 2016; Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y Instituto de Estudios del Ministerio Público Procuraduría General de la, 2017)
Afectación en la prestación de los servicios públicos	Durante una emergencia se puede presentar afectación en la prestación de los servicios públicos, ya que su interrupción afecta la habitabilidad de la vivienda y la ocurrencia de otros impactos como la contaminación por mezcla de aguas residuales, la incomunicación y la afectación a las condiciones de salud.	No se afecta la prestación de los servicios públicos Se afecta la prestación de los servicios públicos	SISBEN	(Rodríguez-Gaviria, 2016; Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y Instituto de Estudios del Ministerio Público Procuraduría General de la, 2017)
Económicas				
Nivel de empleo Situación laboral	Representa la estabilidad en los ingresos económicos del hogar y por consiguiente su capacidad de preparación, respuesta y ajuste ante eventos amenazantes. Se establece según el nivel de empleo de los miembros de la familia mayores a 18 años, siendo los más vulnerables aquellos con mayor inestabilidad para obtener recursos económicos y poder recuperarse.	# Empresarios # Con Empleo Formal # Pensionados # Trabajo independiente # Trabajo informal # Desempleados	Encuesta por hogar	(Bohórquez, 2013; Ferrari, 2012; Granger, Ken; Jones, Trevor G; Leiba, Marion; Scott, 1999; Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, 2012; Rodríguez-Gaviria, 2016)

<p>Ingresos por hogar</p>	<p>Algunos hogares se encuentran en una situación económica difícil y en desventaja con respecto a otros lo cual conlleva a que ante la ocurrencia de una inundación, requieran de recursos adicionales para asumir los gastos, para compensar las pérdidas, invertir en la reconstrucción y adquirir nuevamente las pertenencias perdidas. Esta variable se evalúa según los ingresos respecto a salario mínimo legal mensual vigente (SMLMV), o si la subsistencia del hogar depende exclusivamente de auxilios del gobierno</p>	<p>Superior a 2 SMLMV Entre 1 y 2 SMLMV Inferior a un SMLMV</p>	<p>SISBEN</p>	<p>(Bohórquez, 2013; Rodríguez-Gaviria, 2016; Universidad Nacional de Colombia; Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2009; Wilches-Chaux, 1993)</p>
<p>Tenencia de la vivienda</p>	<p>Proporciona seguridad a una familia que debe afrontar las necesidades de reconstrucción o rehabilitación después de una inundación. De acuerdo con la Oficina del Alto Comisionado para los Derechos Humanos (2010), la falta de seguridad de la tenencia (en el derecho y en la práctica) hace muy difícil la protección contra el desalojo forzoso, dejando a los más vulnerables, tales como los habitantes de los asentamientos informales, en riesgo de padecer una serie de violaciones de los derechos humanos</p>	<p>Propietaria Arrendataria Poseedor Ocupante de hecho o permiso del dueño</p>	<p>Encuesta por hogar</p>	<p>(Rodríguez-Gaviria, 2016; Universidad Nacional de Colombia; Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2009)</p>
<p>Integrantes del hogar dependientes económicamente por edad</p>	<p>Representa la insuficiencia de ingresos para cubrir las necesidades básicas cuando más de dos personas dependen económicamente de los ingresos del hogar</p>	<p>Número de integrantes</p>	<p>Encuesta por hogar</p>	<p>(Dwyer et al., 2004; García, 2011; Minaya, 1998; Rufat, S., Tate, E., Burton, C. G., & Maroof, 2015)</p>

Existe cultura del seguro y ahorro entre los habitantes del municipio	Son los recursos financieros adicional y seguros disponibles para cubrir o compensar los gastos de una situación de emergencia	Dispone de ahorros o seguros No dispone de ahorros o seguros	Encuesta por hogar	(Palacios, 2013; Rodríguez-Gaviria, 2016; Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y Instituto de Estudios del Ministerio Público Procuraduría General de la, 2017)
Endeudamiento familiar	Las deudas disminuyen la capacidad para mejorar las condiciones socioeconómicas y afrontar de mejor forma las inundaciones	No tiene deudas Tiene deudas por debajo del 40% de los ingresos familiares Tiene deudas por encima del 40% de los ingresos familiares	Encuesta por hogar	(Palacios, 2013; Rodríguez-Gaviria, 2016; Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y Instituto de Estudios del Ministerio Público Procuraduría General de la, 2017)
Inversión en reparaciones en viviendas por pérdidas en inundaciones	Percepción de los integrantes del hogar sobre la magnitud de las pérdidas de sus pertenencias en inundaciones pasadas que de alguna manera deben ser asumidas disminuyendo sus ingresos y modificando sus condiciones económicas	No ha sufrido pérdidas Ha sufrido pérdidas menores o insignificantes Ha sufrido pérdidas significativas	Encuesta por hogar	(Rodríguez-Gaviria, 2016; Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y Instituto de Estudios del Ministerio Público Procuraduría General de la, 2017)
Inversión en reparaciones en viviendas para evitar o los daños y pérdidas por las inundaciones	La capacidad de las familias para realizar intervenciones en sus viviendas para minimizar la vulnerabilidad ante inundaciones	Ha mejorado sus viviendas No ha mejorado sus viviendas	Encuesta por hogar	(Rodríguez-Gaviria, 2016; Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y Instituto de Estudios del Ministerio Público Procuraduría General de la, 2017)

Adicionalmente se hizo una evaluación detallada de los componentes físicos de la vulnerabilidad. Como variables de exposición asociadas a las edificaciones se seleccionan las siguientes variables:

El **ángulo de impacto** sirve para evaluar la susceptibilidad de una edificación de ser afectada dependiendo de la ubicación de la edificación respecto al drenaje y ángulo de impacto de

la avenida torrencial. Se analiza la relación espacial del elemento vulnerable respecto al drenaje y depende de si el ángulo entre ambos elementos es paralelo, oblicuo o perpendicular, además de considerar si el elemento vulnerable está en la primera fila o más distante categorizando para edificaciones distantes al drenaje según su ángulo paralelo, oblicuo o perpendicular (Thouret et al., 2014). En la Figura 5 se observan las diferentes posibilidades que se pueden presentar con imágenes tomadas en el municipio de Amalfi.







ANGULO DE IMPACTO		
Angulo paralelo, predio a los largo de la primera fila del drenaje	Angulo oblicuo, predio a lo largo de la primera fila del drenaje	Angulo perpendicular, predio a lo largo de la primera fila del drenaje
		
Angulo paralelo, predio distante del drenaje	Angulo oblicuo, predio distante del drenaje	Angulo perpendicular, predio distante del drenaje
		

Figura 5. Posibilidades de análisis de la variable ángulo de impacto

La **altura respecto al nivel base del drenaje**, considera la ubicación del elemento vulnerable en las distintas terrazas aluviales del drenaje objeto de estudio. Esta variable determina la

vulnerabilidad asociada a la elevación respecto al nivel base del drenaje en relación a terrazas aluviales con los rangos adoptados de Thouret et al. (2014) según los siguientes rangos:

1. Elevación entre 15 y 30 m (Terraza 4)
2. Elevación entre 10 y 15 m (Terraza 3)
3. Elevación entre 4 y 10 m (Terraza 2)
4. Elevación entre 2 y 4 m (Terraza 1)
5. Sin elevación (a nivel) o menor a 1 m (Terraza 0)

Exposición asociada a la presencia de elementos naturales como árboles o elementos artificiales como muros, otras edificaciones y/o cualquier objeto que amortigüe u obstaculice el paso de la avenida torrencial y le brinde **protección a la edificación**. Las posibilidades establecidas en esta investigación se pueden ver en la Figura 6 y son:

1. Con presencia de elementos de protección para la vivienda en buen estado
2. Con presencia de elementos de protección para la vivienda en mal estado o con deficiencias técnicas
3. Sin presencia de elementos de protección para la vivienda



Figura 6. Variable elementos de protección

Densidad de la población en la manzana: esta variable determina la vulnerabilidad asociada al número de personas que habitan la manzana. Las posibilidades pueden ser:

1. De 1 a 50 personas por manzana
2. De 51 a 100 personas por manzana
3. Más de 100 personas por manzana

Densidad de la población en la vivienda: esta variable determina la vulnerabilidad asociada al número de personas que habitan en la vivienda. Las posibilidades pueden ser:

1. Menor o igual a 2 personas
2. Entre 3 y 4 personas
3. Entre 5 y 6 personas
4. Mayor o igual a 7 personas

Área de la edificación relacionada con la exposición de una edificación de acuerdo a su área en metros cuadrados. Se adoptaron las siguientes opciones:

1. Área de la edificación entre 10 y 50 m²
2. Área de la edificación entre 50 y 100 m²
3. Área de la edificación mayor a 100 m²

Número de aperturas (ventanas) en la fachada más expuesta: la exposición estará asociada al número de ventanas y/o puertas localizadas en la fachada más expuesta al impacto de la avenida torrencial. De acuerdo con Defeyer (2011) el número de aperturas determina el nivel de penetración del agua a partir de una cierta altura.

Para esta variable se tienen en cuenta ventanas por cada vivienda así:

1. De 1 a 2 ventanas expuestas en fachada
2. De 3 a 4 ventanas expuestas en fachada

3. De 4 a 5 ventanas expuestas en fachada
4. Más de 5 ventanas expuestas en fachada
5. Sin ventanas expuestas en fachada

Número de aperturas (puertas) en la fachada más expuesta: la exposición estará asociada al número de puertas localizadas en la fachada más expuesta al impacto de la avenida torrencial. Para esta variable se tienen en cuenta elementos como puertas por cada vivienda así:

1. De 1 a 2 puertas expuestas en fachada
2. Más de 2 puertas
3. Sin puertas expuestas en fachada

Distancia en metros de la edificación al cauce en donde el grado de exposición estará determinado con esta proximidad de acuerdo con:

1. Distancia de 0 a 15 m
2. Distancia de 15 a 30 m
3. Distancia de 30 a 50 m
4. Distancia de 50 a 100 m
5. Distancia mayor a 100 m

Como variables de tipología de las edificaciones se incluyen aspectos como el reforzamiento de la estructura, el tipo de material utilizado en su construcción y su calidad, véase la Figura 7.

(A-B) Edificaciones con reforzamiento	(C) Mampostería reforzada	(D) Estructuras con confinamiento deficiente	(E) Estructuras ligeras (Mampostería reforzada)	(F) Construcciones simples
 	 	 	 	

Figura 7. Variables del componente tipología

Las descripciones de la tipología definidas se explican a continuación:

1. (A - B) Edificaciones con reforzamiento (Edificaciones de concreto y acero reforzado)
2. (C) Mampostería reforzada (concreto, Bloque, Madera fina) (Edificaciones con sistema estructural de mampostería con elementos de refuerzo (barras, laminas, pernos, platinas, etc.). También incluyen edificaciones en mampostería confinada.)"
3. (D) Estructuras con confinamiento deficiente (mampostería no reforzada). Incluye construcciones en adobe, bahareque, madera, tapia pisada."
4. (E) Estructuras ligeras (Mampostería reforzada). Construidas con materiales tradicionales o de baja calidad incluye construcciones en adobe, bahareque, madera bruta, tapia pisada y las prefabricadas.)
5. (F) Construcciones simples (Edificaciones sin estructura definida, de carácter improvisado, generalmente construidas utilizando materiales precarios o de recuperación. Incluyen edificaciones en proceso de construcción y las construidas en materiales de recuperación (tugurios, ranchos, campamentos, carpas, etc.)

Como variables de fragilidad de las edificaciones se incluyen el **número de pisos o altura de la edificación** relacionada con la cantidad de pisos de la edificación, la cual determina la cercanía del piso al nivel del suelo (ver la Figura 8). Las opciones definidas son:

1. 1 piso (0 - 3 m)
2. 2 pisos (3 - 5 m)
3. 3 pisos (5 - 8 m)
4. 4 pisos o más (> 8 m)

NÚMERO DE PISOS			
1 Piso	2 Pisos	3 Pisos	4 pisos o más
			

Figura 8. Alturas de la edificación

El **estado de conservación o deterioro de la estructura** relacionado con el deterioro de las propiedades mecánicas de los materiales lo cual determina su resistencia a las amenazas.

En la Figura 9 se pueden observar las diferentes representaciones de esta variable.





ESTADO DE CONSERVACION DE LA VIVIENDA			
No se observa deformaciones, grietas o envejecimiento	Daños superficiales no estructurales leves (grietas de 0-0,5 mm)	Fisuras leves en juntas horizontales (grietas de 0,5-1 mm) sin afectación de la estabilidad	Deformaciones severas. Mampostería y concreto con fallas por aplastamiento (grietas de >10mm)
			

Figura 9. Estado de conservación de la vivienda

Esta se puede describir así:

1. Deformaciones severas. Mampostería y concreto con fallas por aplastamiento (grietas de >10mm)
2. Fisuras leves en juntas horizontales (grietas de 0,5-1 mm) sin afectación de la estabilidad
3. Daños superficiales no estructurales leves (grietas de 0-0,5 mm)
4. No se observa deformaciones, grietas o envejecimiento (Separación grietas 0 mm)

El **tipo de fundación estructural** es la susceptibilidad en la edificación de ser afectada dependiendo de presencia o ausencia de cimentación y la altura desde el suelo. En la Figura 10 se pueden apreciar las distintas formas de cimentaciones presentes.




CIMENTACIÓN		
Con losa de cimentación	Elevada en pilotes / columna	Sin cimentación
		

Figura 10. Tipo de fundación de la edificación

Las posibilidades de cimentaciones son:

1. Sin cimentación
2. Con losa de cimentación
3. Elevada en pilotes/columnas

El **año de construcción o edad de la edificación** esta se encuentra asociada a la posible resistencia de la estructura dada por su edad y posible relación con códigos de construcción apropiados, tales como las “Normas de Sismo Resistencia” (ver la Figura 11).

EDAD DE LA VIVIENDA			
Antes de 1989 (más de 38 años)	Entre 1989 y 1998 (entre 9 y 38 años)	Entre 1998 y 2009 (entre 8 y 9 años)	Entre 2010 y presente (menos de 7 años)
			

Figura 11. Clasificación de las viviendas por edad

La clasificación de las viviendas por edad es la siguiente:

1. Antes de 1989 (más de 38 años)
2. Entre 1989 y 1998 (entre 9 y 38 años)
3. Entre 1998 y 2009 (entre 8 y 9 años)
4. Entre 2010 y presente (menos de 7 años)

En cuanto a la **fragilidad a escala de manzana**, se retoma lo propuesto por Thouret et al., (2014) en donde esta categoría se divide en las siguientes variables que también se pueden apreciar en la Figura 12:

Densidad construida de la manzana: establece la fragilidad de la cuadra dependiendo de la cantidad de edificaciones o lotes vacíos que tenga la cuadra, siendo más frágil una cuadra que esté totalmente construida en comparación a una cuadra sin construcciones.

Forma, compactación y regularidad de los límites de la manzana: establece la fragilidad de la cuadra según la forma, compactación y regularidad de los límites de la misma, siendo más frágil las cuadras de forma regular, cuadrículada o rectangular.

Densidad vial de la manzana: establece la fragilidad de la cuadra según la cantidad de vías dentro o alrededor de la cuadra, siendo más frágil las cuadras con edificios dispersos entrecruzados por varias calles y menos frágil las cuadras sin calles que la entrecrucen.

Fragilidad por densidad de la construcción de la manzana	Forma, compactación y regularidad de los límites de la manzana	Densidad vial de la manzana
 <p>Parcialmente construido con algunos espacios libres</p>	 <p>Construcción similar en un 75%, pero manzana con forma irregular</p>	 <p>Sin calles dentro de la manzana pero rodeado por calles anchas</p>
 <p>Pocas edificaciones esparcidas</p>	 <p>Forma de la manzana irregular y con irregularidades en los límites de la manzana</p>	 <p>Pocas calles dentro de la manzana y rodeado por calles estrechas</p>
 <p>Totalmente construidos, algunos parqueaderos, patios y/o jardines</p>	 <p>Forma de la manzana muy compleja, con varios edificios fuera de los límites de la manzana</p>	 <p>Densamente construido sin calles dentro de la manzana o edificios dispersos como en áreas rurales</p>

Continuación

 <p>Sin construcciones</p>	 <p>Forma compacta de la manzana con algunas irregularidades</p>	 <p>Edificios distanciados entre ellos y manzanas entrecruzadas por varias calles</p>
	 <p>Forma rectangular o cuadrada</p>	 <p>Edificios dispersos y manzanas entrecruzadas por varias calles *</p>

Figura 12. Fragilidad a escala de manzana

Fuente: imágenes tomadas en el municipio de Salgar

* Imágenes registradas por Thouret et al., (2014)

2.3.2 Análisis de las condiciones de vulnerabilidad en campo y oficina

Para evaluar las condiciones de vulnerabilidad se emprendieron una serie de actividades previas para la obtención de datos en campo: inicialmente se analizó la información sobre la amenaza proveniente de la metodología para evaluación de la amenaza descrita en el numeral 2.2. con descriptores morfométricos.

Posteriormente se procede a realizar un pre-muestreo superponiendo la información disponible de construcciones que se encuentran localizadas dentro de esta zona inundable (elementos expuestos). Este pre-muestreo arroja una cantidad de 433 predios inundables por la Quebrada La Tequendamita.

A continuación se realiza el muestreo siguiendo el método probabilístico de (Bartlett, Kotrlik, & Higgins, 2001) en donde el tamaño de la muestra necesario en la zona de estudio para alcanzar el criterio del 3% de margen de error relativo corresponde al 10% de las viviendas u hogares. Adicionalmente, ese porcentaje se aumenta con el fin de tener ventaja en caso de que en campo se presentaran situaciones como no tener respuesta o imposibilidad de realizar la encuesta en un predio.

Las fuentes de información utilizadas para la evaluación de la vulnerabilidad fueron encuestas en hogares localizados sobre la mancha de inundación estimada y la base de datos del SISBEN. En la cabecera urbana de Amalfi se realizaron 57 encuestas en hogares, los cuales fueron seleccionados de manera aleatoria procurando que la distribución espacial de los mismos incluyeran todas las manzanas ubicadas en la zona inundable. La cifra de 57 hogares corresponde a un 13% del total de viviendas localizadas sobre la mancha de inundación, por lo que es suficientemente representativa.

Para evaluar las condiciones de vulnerabilidad física se diseñó una encuesta para recopilar la información en campo, apoyados con tecnologías como el software de libre acceso Open Data Kit-ODK (Universidad de Washington, 2015). Esta herramienta consta de 3 aplicaciones (ver la Figura 12): el ODK Build para el diseño del cuestionario ordenado y claro para recopilar información en campo con la aplicación ODK Aggregate y la aplicación ODK Aggregate necesaria para almacenar dicha información a través de un servidor online que finalmente permite procesar y tabular los datos.

Con ODK es posible obtener datos en tipo audio, texto, imagen, numérico y espacial, en formatos comunes (CSV o KML) para analizarlos en otras herramientas como Excel para realizar cálculos y fórmulas y Google Earth para representar datos geográficos.

Algunas variables como ángulo y posición en el que se encuentra la edificación, altura y distancia en metros respecto al drenaje, densidad vial, densidad de construcción, forma, compactación y regularidad de la manzana se evaluaron a través de la observación en ortofoto disponible en el Municipio para el proyecto.

2.3.3 Evaluación de expertos

Con el fin de evaluar la importancia de cada variable en la estimación de las condiciones de la vulnerabilidad, se realiza una encuesta dirigida a expertos en gestión del riesgo desde diversas profesiones de la ingeniería, las ciencias sociales y el urbanismo.

Esta fase consiste en preparar un formulario de encuesta y buscar la colaboración de expertos con amplia trayectoria en los diversos procesos de la gestión del riesgo y que tuvieran la disponibilidad y voluntad para participar en un proceso de consulta y calificación cualitativa de las variables especialmente físicas de la vulnerabilidad.

El formulario que fue elaborado con la aplicación “formularios” de Google contiene 15 secciones que se resumen así: se inicia con la presentación del proyecto, seguida por las definiciones establecidas en el desarrollo de la investigación para poner a los encuestados en contexto, después de esto, se solicitó a los encuestados calificar las variables de los componentes, con un valor de 0 a 1 (de menor a mayor vulnerabilidad), y finalmente se solicita establecer un rango de vulnerabilidad para las clasificaciones alto, medio y bajo, siguiendo los parámetros anteriores.

2.3.4 Completitud y análisis de la información

A través del software Microsoft Excel, se analizó la información resultante del proceso anterior, estableciendo así una clasificación final de cada una de las variables y de los rangos de vulnerabilidad, siendo congruentes con lo sugerido por cada uno de los expertos y con base en los conocimientos del territorio del grupo investigador. Para este proyecto se estableció que dadas las condiciones de similitud de las respuestas de los expertos, la manera más óptima de clasificar las variables es utilizando una media aritmética.

Se adicionó a la información suministrada por los expertos otra relacionada con la afectación a la vivienda, a sus habitantes, su estado, densidad de construcción, forma y densidad vial de la manzana, clasificadas por el grupo investigador bajo los mismos parámetros.

Teniendo entonces las calificaciones de cada variable por componente se asignó a cada predio visitado en campo una calificación de alto, medio y bajo; adicionalmente se hizo un proceso de verificación de la calidad de la información a través de la aplicación Google Street View.

2.3.5 Tratamiento estadístico

Una vez realizadas las respectivas encuestas en campo se realiza un análisis de correspondencia múltiple (ACM) que permite trabajar datos categóricos. El ACM resume la información contenida en una tabla de contingencia, la cual está compuesta por los datos de frecuencia de aparición de las variables en un conjunto de elementos (predios encuestados) y lo interpreta como un procedimiento objetivo de asignar valores numéricos a variables cualitativas, por ejemplo, las calificaciones de alto, medio o bajo asignadas para cada variable.

El ACM permite visualizar asociaciones entre las variables de los componentes elegidos y cómo éstas influyen en las condiciones de vulnerabilidad. La interpretación de los resultados del ACM obtenidos a través del uso del software estadístico R (Rodríguez-Gaviria, 2016), se basa en la representación gráfica de las relaciones entre variables en un espacio euclidiano el cual tiene una menor complejidad dimensional, lográndose así una reducción del carácter multidimensional del problema (Abdi & Valentin, 2007; Ayele, Zewotir, & Mwambi, 2014).

Cada dimensión en el espacio euclidiano resultante tiene asociado un porcentaje de la variación o de la inercia del sistema en estudio. Estos porcentajes están dados por los valores propios arrojados por el método. En cada dimensión hay una importancia relativa de las variables estudiadas, y es de esta forma como se clasifican los aportes particulares de cada una de las variables (Rodríguez-Sabate, Morales, Sanchez, & Rodríguez, 2017).

2.3.6 Evaluación de las condiciones de vulnerabilidad

Para establecer la vulnerabilidad de los predios, se analizaron los datos obtenidos del ACM, principalmente las contribuciones de cada dimensión a la variabilidad total de los datos y la de cada una de las variables dentro de dicha contribución por dimensión. Para la estimación del indicador de la vulnerabilidad se tiene en cuenta la suma de las contribuciones por dimensión de cada una de las variables y multiplicándolas por el aporte de cada dimensión, repitiendo esta operación para cada uno de los porcentajes de contribución para cada una de las dimensiones analizadas. Finalmente se realiza una sumatoria de los datos obtenidos obteniéndose así un valor total que representa el Indicador de Vulnerabilidad (IV) para cada uno de los predios.

Para clasificar la vulnerabilidad de los predios en alta, media y baja, se utiliza la distribución por cuartiles, de esta manera los predios que tienen un indicador de vulnerabilidad (IV)

dentro del primer cuartil son identificados con condiciones de vulnerabilidad alta, y los predios con indicadores IV correspondientes al tercer cuartil se clasifican con condiciones de vulnerabilidad baja. Los predios restantes, incluyendo los que tiene valores dentro de la media y la mediana se consideran con condiciones de vulnerabilidad media.

2.3.7 Elaboración de mapa de vulnerabilidad

Por medio del software ArcGis, se observaron los resultados obtenidos en la fase anterior sobre la cartografía, añadiendo, a través de la herramienta Join dichos resultados a la tabla de atributos de los predios evaluados y clasificándolos a través de un sistema de colores.

Los resultados finales se clasificaron estadísticamente a través de cuartiles, con el propósito de identificar los hogares y las manzanas que presentan una mayor vulnerabilidad. Esta clasificación divide los hogares y manzanas por grupos 1, 2 y 3, de tal modo que los hogares y las manzanas del primer grupo son los más vulnerables entre todos.

2.4 Metodología para la evaluación del riesgo

La Ley 1523 de 2012 en el artículo 4 establece que el riesgo de desastres corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

Para la determinación de las zonas que requieren de una intervención de corto, mediano o largo plazo, de acuerdo con las medidas señaladas anteriormente, se llevó a cabo la

combinación entre la amenaza y la vulnerabilidad de la siguiente manera (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

Tabla 3. Construcción de escenarios de intervención propuestos

Grupo vulnerabilidad	Período de retorno de la mancha de inundación	Escenario de intervención
Grupo 3	2.33 años	Corto plazo
Grupo 2		Mediano plazo
Grupo 1		Mediano plazo
Grupo 3	25 años	Mediano plazo
Grupo 2		Mediano plazo
Grupo 1		Mediano plazo
Grupo 3	100 años	Largo plazo
Grupo 2		Largo plazo
Grupo 1		Largo plazo
Grupo 1, 2 o 3	No hay riesgo	No intervención prioritaria

La mancha de inundación de período de retorno de 2.33 años permite identificar las zonas que no deberían estar ocupadas permanentemente, a menos que estuviesen adaptadas para las inundaciones o por encima de la cota de inundación.

La mancha de período de retorno de 25 años representa zonas que podrían inundarse una vez cada 25 años en las que deberían contemplarse medidas de reducción del riesgo como la adquisición de seguros, reforzamiento estructural, instauración de sistemas de alerta y fomentar redes de comunicación efectiva y campañas de promoción y prevención de educación para gestión del riesgo.

Con la mancha de 100 años se debería asegurar que toda la infraestructura vital, como hospitales, centros de salud, instituciones educativas e instituciones financieras estén por fuera de ella.

Luego de evaluar el riesgo se proponen medidas de intervención clasificadas en medidas correctivas en el corto plazo y prospectivas en un periodo de tiempo mayor (Figura 13).

Intervención prospectiva (prevención del riesgo)			Intervención correctiva (mitigación del riesgo)	
CORTO	MEDIANO	LARGO	CORTO	MEDIANO
Mejoramiento de canales de información sobre el riesgo			Recuperación de retiros y rondas hidráulicas	
Participación comunitaria y fomento de presupuestos participativos			Reasentamiento de población	
Educación ambiental			Mejoramiento de condiciones de habitabilidad viviendas	
Divulgación y promoción de normas de urbanismo y construcción			Reforzamiento estructural de infraestructura	
Vigilancia y control de urbanismo y vivienda			Reubicación de plantas físicas institucionales	
Reglamentación del uso del suelo en zonas no ocupadas			Recuperación de microcuencas urbanas y suburbanas	
Conservación de zonas protegidas por amenaza o riesgo			Recuperación de humedales	
Definición de zonas para la expansión urbana			Mantenimiento de diques y otras estructuras hidráulicas	
Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos			Reforestación de cuencas	
Mejoramiento de condiciones sociales y económicas			Ejecución de proyectos de reconstrucción	
Establecimiento de sistemas de alerta temprana			Construcción de albergues dignos	
Prioridad en proyectos de agua potable, agua residual, control de vectores de enfermedades y gestión de residuos				
Aseguramiento y creación de fondos				
Creación de bancos de alimentos				
Capacitación y organización de la comunidad				
CONVENIONES EXPOSICION SUSCEPTIBILIDAD CAPACIDAD				

Figura 13. Intervención prospectiva y correctiva

Fuente: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (2013).

3. RESULTADOS

3.1 Evaluación de la amenaza

A continuación se podrán observar los resultados obtenidos de ejecutar las metodologías propuestas en el capítulo 2. Además en los anexos a este informe final se incluyen los modelos hidrológicos e hidráulicos, la cartografía generada y los mapas producto de las diferentes evaluaciones para ser consultados con mayor detalle.

3.1.1 Reconstrucción de manchas de inundación por medio de conocimiento local

Para la recopilación de información histórica se hizo uso de herramientas participativas como las entrevistas formales e informales a personas clave que hacen parte de los actores de la gestión del riesgo a nivel local. La información obtenida con esta herramienta fue conservada en registro fotográfico lo que permitió profundizar en el conocimiento de una zona y su problemáticas desde diferentes perspectivas (Fotografía 1).

Para captar su propio punto de vista sobre las inundaciones y su problemática, se realizó también un taller con grupos focales y la comunidad, con el propósito de reunir el conocimiento de las personas y realizar un ejercicio de captura de información sobre altura y condición de inundación. Esta información también fue capturada a través de la realización de encuestas por hogar.



Fotografía 1. Trabajo participativo para reconstrucción de manchas de inundación

Finalmente, el procesamiento y análisis de la información recolectada permitió identificar como se aprecia en la Figura 14 las inundaciones que más tienen recordación en Amalfi y ser organizada espacialmente (ver Mapa 1 – Anexo 02). Los registros reflejan una ventana temporal corta y los registros completos tienen muy poca correlación, esto puede responder a las siguientes causas:

- La memoria local pierde precisión con el tiempo: magnitud del evento y fecha
- Ocurrencia de eventos súbitos menores de 3 horas
- El conocimiento local del territorio no necesariamente implica conocimiento acerca del origen de los fenómenos de inundación
- Sesgos individuales por diferentes motivaciones
- Cantidad de registros de un evento que permitan contrastar los datos
- Calidad y veracidad de la fuente entre otros

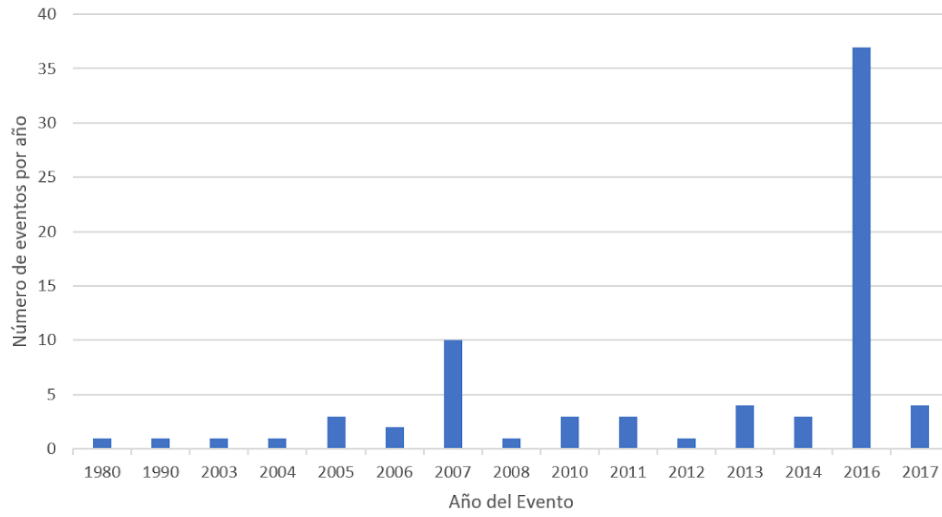


Figura 14. Número de registros por evento de inundación



Mapa 1. Localización de sitios críticos de inundación

3.1.2 Modelación hidrológica

La siguiente es la información existente, secundaria y pública que se empleó en los estudios hidrológicos:

- Cartografía del Estudio de Ordenamiento Territorial del año 2000 y de la propuesta del Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de 2015.
- Cartografía básica de Antioquia IGAC: 2010.

Estaciones hidroclimatológicas del IDEAM: Amalfi (Cod: 27010850), Cueva Santa (Cod: 27010890), Gómez Plata (Cod: 27010890), Gómez Plata (Cod: 27010900), Monos Hda (Cod: 27010960) y Angostura (Cod: 27020210), ver la siguiente (Cod: 27020210), ver la siguiente

- Figura 15:

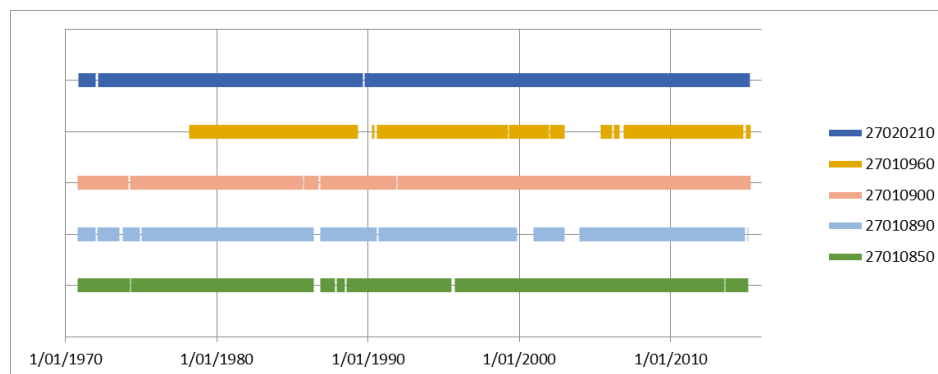


Figura 15. Ventana temporal y completitud de las series hidrológicas empleadas

Análisis de las cuencas y sus respectivos parámetros estimados pueden observarse en la **Figura 16** y en la Tabla 4, la cuenca de la Tequendamita objeto de estudio se observa en el Mapa 2-Anexo 01.

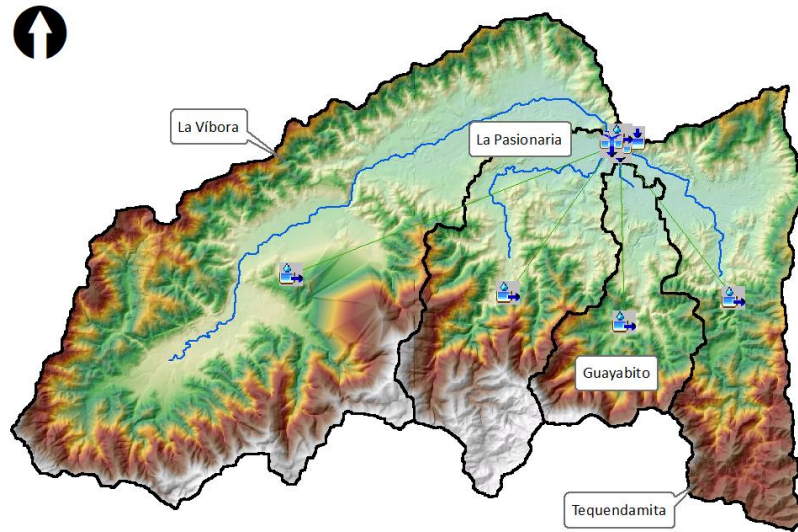
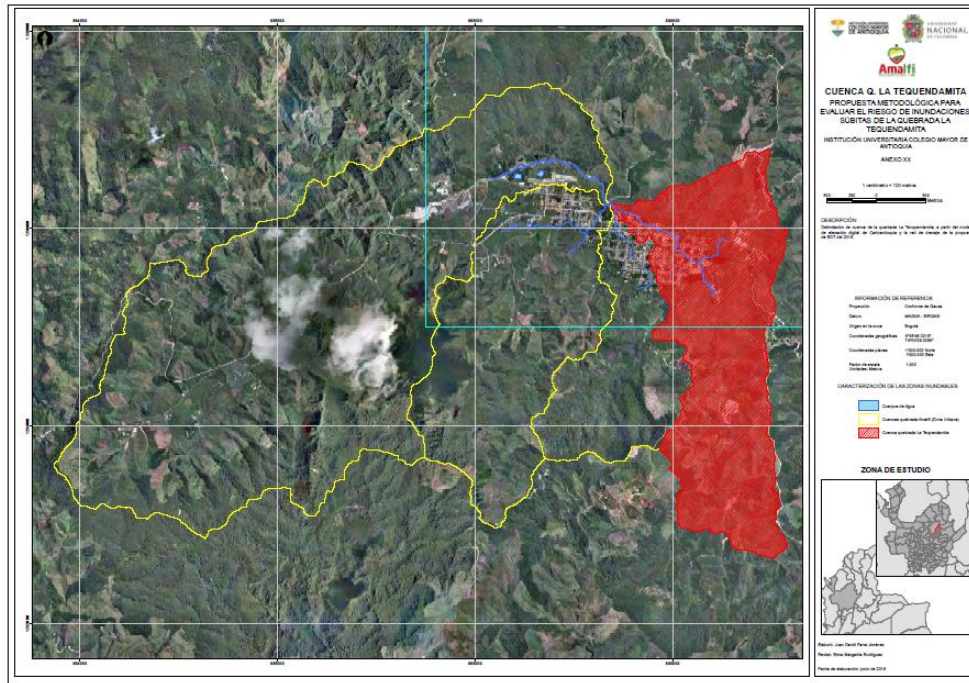


Figura 16. Cuencas en el estudio hidrológico (Amalfi - Antioquia)

Tabla 4. Resumen de parámetros

Nombre	Área [Km ²]	CN	Ia [mm]	ϕ [mm/h]
La_Pasionaria	4.14	82.9	10.4	10.0
Tequendamita	4.06	87.9	7.0	10.0
Guayabito	2.10	85.0	9.0	7.5
La_Víbora	11.51	82.3	10.9	10.0



Mapa 2. Mapa de la cuenca

Los resultados obtenidos de la estimación de caudales de diseño se aprecian en la Tabla 5:

Tabla 5. Caudales

Método	Periodo de retorno	La Pasionaria	Tequendamita	Guayabito	La Víbora
Soil Conservation Service	2.3	17.3	21.0	14.8	31.3
	5	21.9	25.8	18.6	39.9
	10	26.9	30.9	22.6	49.1
	25	34.8	38.9	29.0	63.8
	50	41.9	46.0	34.8	77.1
	100	50.2	54.2	41.4	92.5
Initial and Constant	2.3	12.8	22.7	21.6	42.1
	5	15.8	27.6	25.6	51.6
	10	18.9	32.7	29.9	61.6
	25	23.9	40.7	36.4	77.3
	50	28.2	47.8	42.1	91.2
	100	33.2	55.9	48.7	107.2

A continuación en la Figura 18 y la Figura 18 se observan los resultados de la estimación del modelo lluvia-escorrentía.

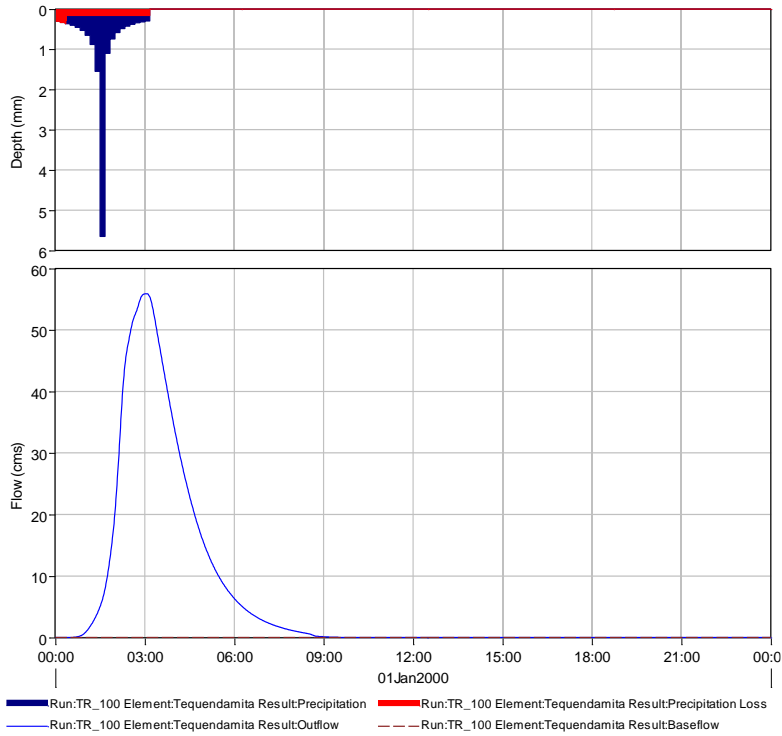


Figura 17. Hidrograma Quebrada La Tequendamita

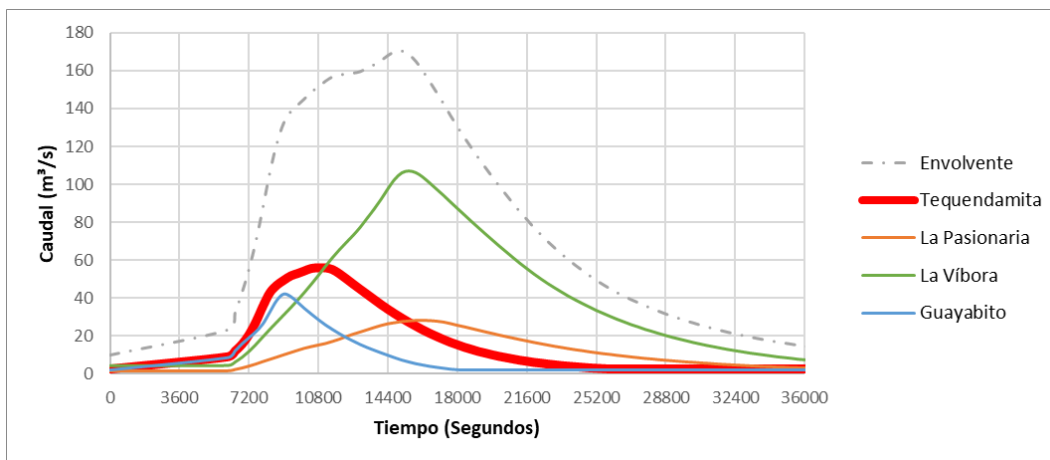


Figura 18. Transitorio hidrológico para el modelo hidráulico de la quebrada La Tequendamita (Amalfi - Antioquia)

3.1.3. Modelación hidráulica

Información básica

- Topografía de suministrada por el municipio de Amalfi en diciembre de 2017.
- Modelo digital de elevación del IGAC (Corantioquia) de 2010.

Modelación hidráulica bidimensional

Se priorizó la modelación bidimensional del tramo urbano hasta el sitio llamado Los Encuentros de la quebrada La Tequendamita dada la complejidad del comportamiento y la particularidad de la construcción de la geometría de la zona: calles funcionan como canales de tránsito de los caudales de excesos, variabilidad en la rugosidad, confluencia y control en la confluencia con la quebrada La Víbora. Para lo anterior se empleó el modelo IBER 2D (versión 2.4.3) (Bladé et al., 2012). A continuación, se realiza una breve descripción de las condiciones utilizadas para la modelación.

Definición de la geometría

La geometría de cauces fue construida a partir de un archivo shapefile que delimita los bordes de las superficies ingresadas al modelo hidráulico. Las superficies se generaron teniendo en cuenta el tamaño de malla, las condiciones de rugosidad y resolución espacial disponible (Figura 19).

El dominio de simulación y la discretización espacial para el cauce analizado fue el siguiente: Quebrada La Tequendamita: se analiza 1.4 km de cauce a partir de la confluencia hacia aguas arriba, definiendo una malla no estructurada de 0.5 m para el cauce principal y hasta 5 m para las zonas inundables Figura 20.

Confluencia: se analizan 168 m aguas arriba y aguas abajo de la confluencia, definiendo una malla no estructurada de 0.5 m para los cauces y hasta 5 m para las zonas inundables.

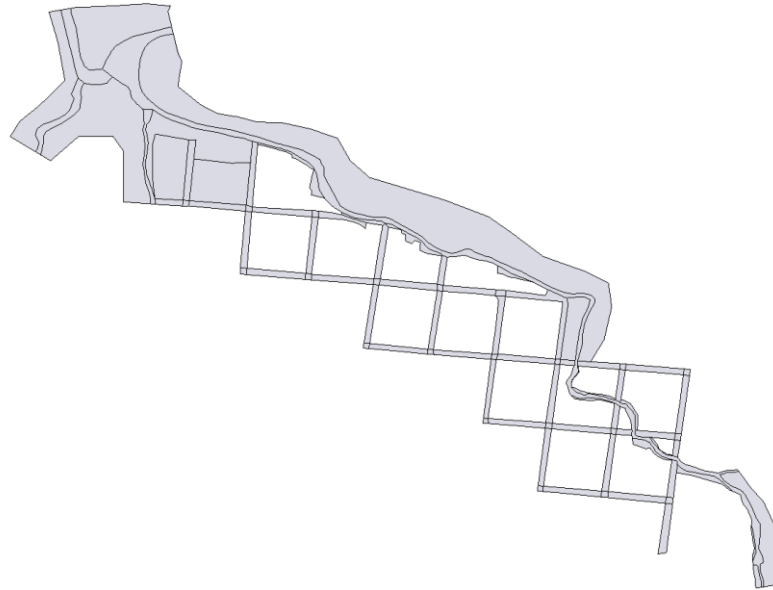


Figura 19. Superficies definidas en el modelo bidimensional

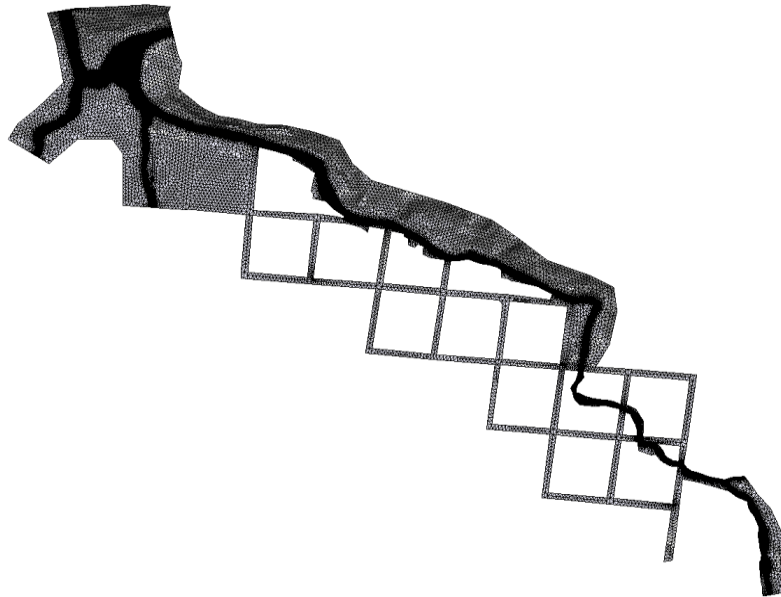


Figura 20. Geometría y mallado de la simulación bidimensional de la quebrada La Tequendamita

Condiciones de frontera e iniciales

Se realizó la simulación para el caudal asociado a 100 años periodo de retorno en la todas las quebradas a partir de los hidrogramas estimados en el apartado hidrológico, caudal utilizado para zonificar la amenaza por inundación. Para unas condiciones de crítico, subcrítico en las entradas del modelo.

Para todas las simulaciones se consideró una condición inicial de profundidad del agua de 1 m para los cauces de las quebradas.

Rugosidad

El modelo IBER calcula el esfuerzo del fondo a partir de la ecuación de Manning, por lo tanto, es necesario definir el coeficiente de rugosidad a partir del tipo de superficie real de los cauces, ver la Figura 21.

Se utilizaron los siguientes coeficientes:

- Lechos de quebradas: 0.025.
- Infraestructuras (vías y andenes): 0.018.
- Vegetación ribereña y prados con arbustos: 0.080.
- Viviendas y construcciones: 0.150.

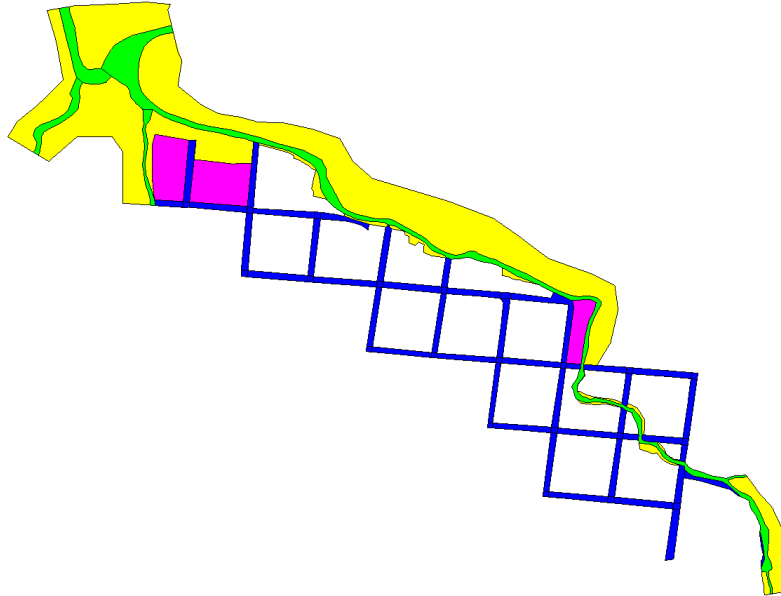


Figura 21. Distribución espacial de la rugosidad de la quebrada La Tequendamita

Configuraciones adicionales

Para poder complementar las simulaciones es necesario especificar algunas configuraciones adicionales al modelo. Uno de estos parámetros corresponde al límite seco mojado, el cual indica que para una celda particular del dominio se incluye en el cálculo si el volumen almacenado en la misma es superior al límite físico del frente de inundación, de lo contrario, el programa no la tiene en cuenta para el cálculo. Para todas las simulaciones, el límite seco mojado corresponde a 0.01 m. Sensibilidades previas para valores menores de este valor, no genera cambios significativos en los resultados.

Para la estabilidad numérica es necesario definir la condición de Courant–Friedrichs–Levy (CFL), el cual asegura convergencia en todos los nodos del dominio durante todo el tiempo de simulación. Se utilizó una CFL de 0.45, valor por defecto en el programa. Sensibilidades previas para valores menores de este valor, no genera cambios significativos en los resultados.

Aunque el modelo IBER permite el uso de diferentes modelos de turbulencia, no fueron utilizados, ya que para los casos simulados la contribución de esfuerzos por fricción del fondo, son predominante comparados con los esfuerzos turbulentos, representados en el parámetro de viscosidad turbulenta. Este último tendrá mayor relevancia en cauces con zonas de recirculación importantes, lo cual es prácticamente despreciable en las condiciones hidráulicas evaluadas.

Para todos los casos se realizaron simulaciones de 3600 segundos (60 minutos), tiempo suficiente para transitar el dominio espacial de cálculo y asegurar las condiciones máximas en cada volumen de la malla. Además, se ingresaron todas las obras de cruce presentes en el tramo de estudio.

Se muestran los mapas para las variables de profundidad, velocidad, producto de ambos y amenaza para el tramo de la quebrada Tequendamita simulado (Figura 22, Figura 23 y Figura 24) y el mapa de amenaza para periodo de retorno de 100 años (Mapa 3-Anexo 03).

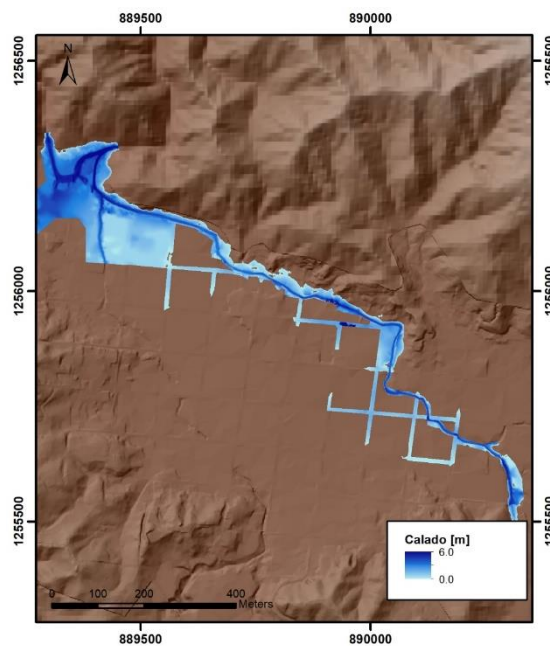


Figura 22. Mapa de profundidades en la Quebrada Tequendamita

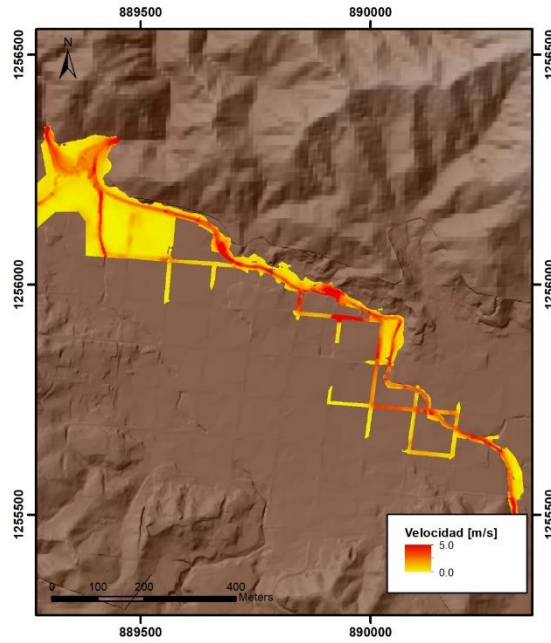


Figura 23. Velocidades de flujo simulación bidimensional Quebrada La Tequendamita

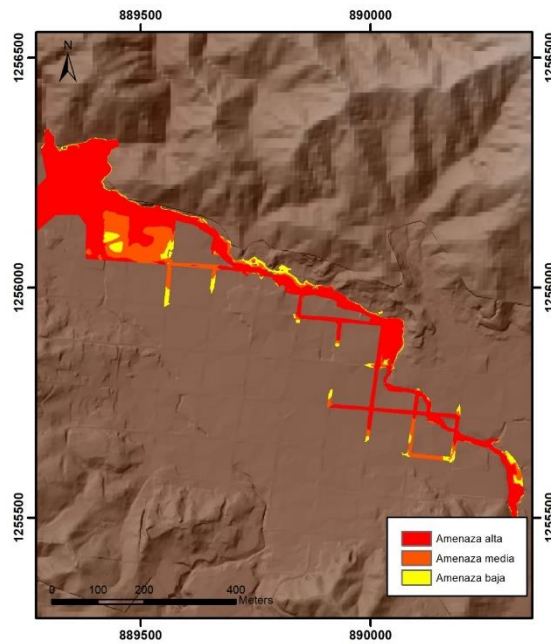
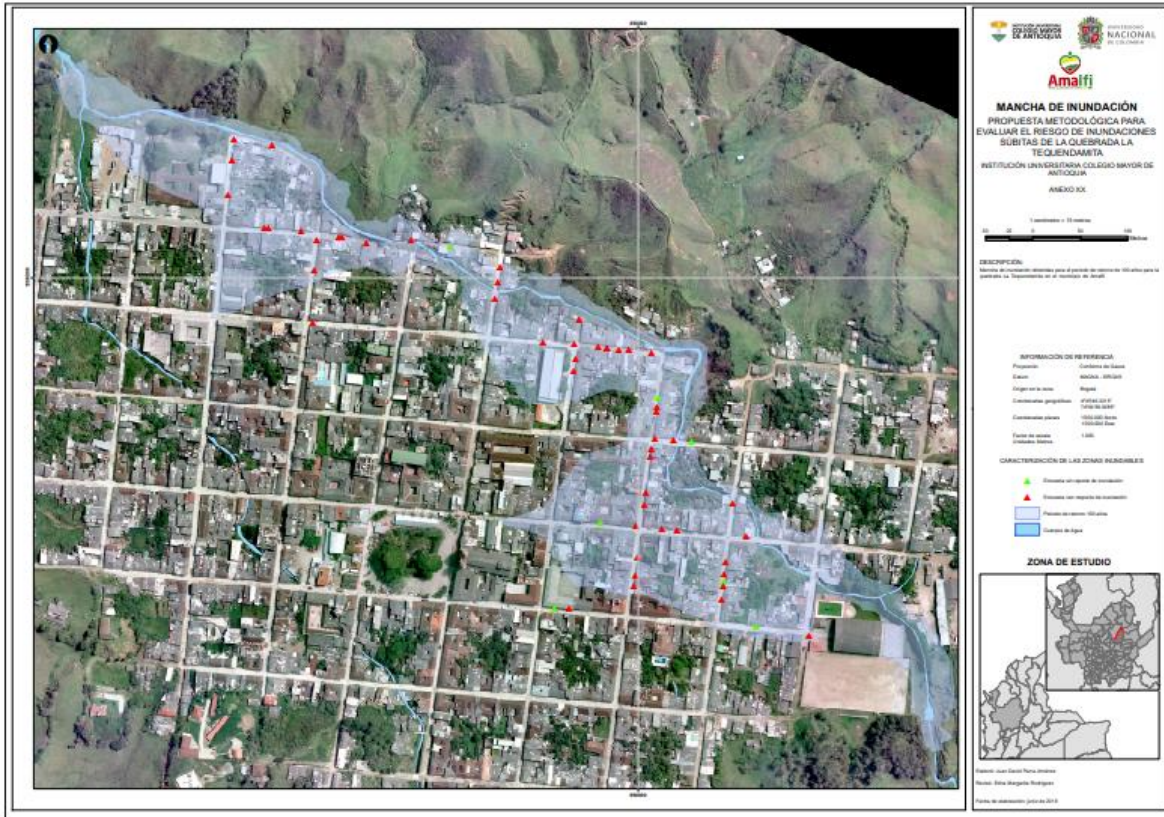


Figura 24. Amenaza de la Quebrada La Tequendamita



Mapa 3. Zonificación de inundación quebrada La Tequendamita

3.2 Evaluación de la vulnerabilidad

Toda la información necesaria para la evaluación de la vulnerabilidad en sus componentes fue obtenida por medio de la aplicación de las encuestas por hogar. Se efectuó el cálculo del ACM sobre la tabla de contingencia que contiene la calificación de las variables para cada hogar con base en las encuestas (alto (3), medio (2) y bajo (1)).

Además, se obtuvo el siguiente resultado dentro del análisis de correspondencia múltiple, frente a las dimensiones analizadas y su aporte a la variabilidad de los resultados. La Figura 25 muestra los porcentajes que aportan a la varianza de los datos, en el proyecto, como se expuso en la metodología se utilizaron las primeras tres dimensiones, donde la primera

dimensión aporta el 8,7%, la segunda dimensión el 6,5% y la tercera dimensión aporta un 5,9% a la variabilidad de los datos.

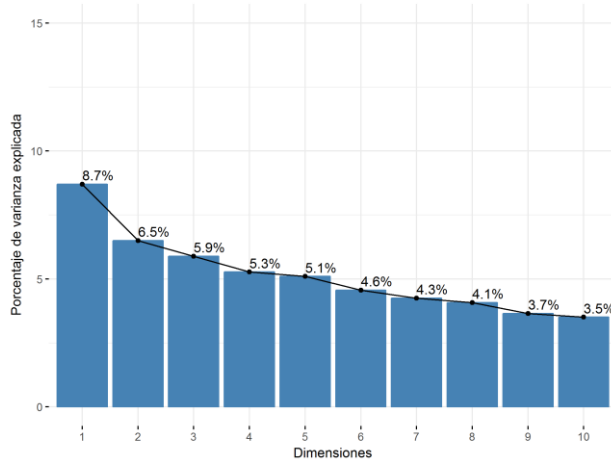


Figura 25. Porcentaje de varianza por dimensión

En la Figura 26 se muestra cuáles son las variables más representativas dentro de la variabilidad que aporta la dimensión 1, teniendo como las tres principales: cimentación de la vivienda (V11), evacuación (V34) y apertura de puertas (V14).

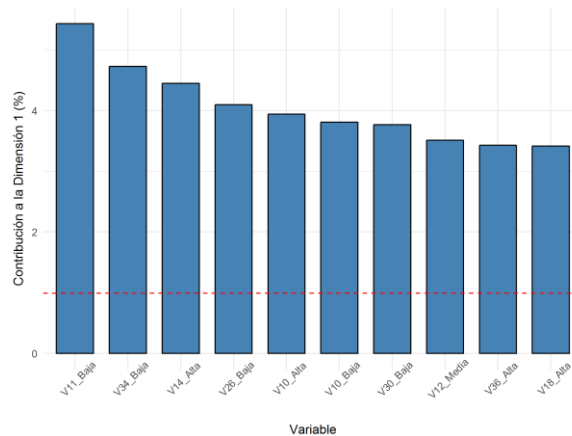


Figura 26. Contribución de las variables a la dimensión 1

En la Figura 27 se muestra cuáles son las variables más representativas dentro de la variabilidad que aporta la dimensión 2, teniendo como las tres principales: forma de la manzana (V3), distancia al drenaje (V6) y edad de la vivienda (V8).

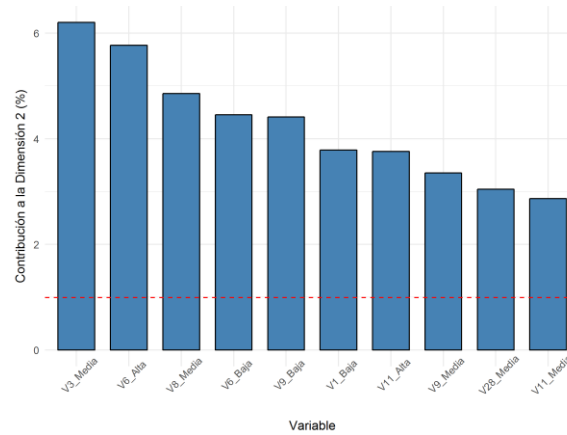


Figura 27. Contribución de las variables a la dimensión 2

En la Figura 28 se muestra cuáles son las variables más representativas dentro de la variabilidad que aporta la dimensión 3, teniendo como las tres principales: distancia al drenaje (V6), apertura de puertas (V14) y apertura de ventanas (V15).

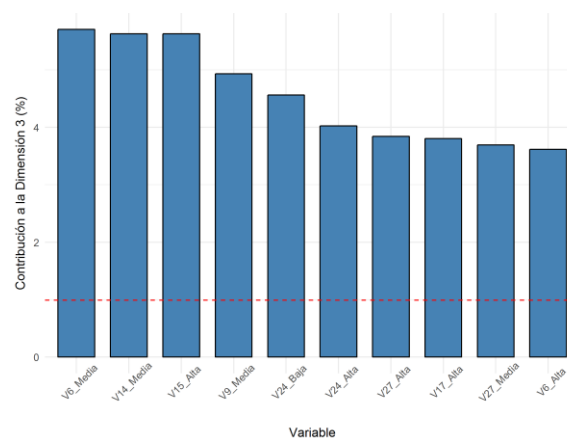


Figura 28. Contribución de las variables a la dimensión 3

Tras realizar el análisis anterior se logra identificar cuales variables, cuando se analizan la totalidad de las variables por correspondencia múltiple, aportan mayor porcentaje a la varianza de los datos para la zona urbana de Amalfi, pero debido a las condiciones del municipio y la importancia ya expuesta de cada variable se decidió realizar el indicador de vulnerabilidad física teniendo en cuenta todas las variables dentro de las tres primeras dimensiones.

Con la metodología fue posible analizar la vulnerabilidad por cada componente a través de la suma de los pesos de la columna obtenida en el ACM, ponderados por la importancia de cada variable estimada en la elicitación. Por tanto se produjeron mapas de clasificación de la vulnerabilidad total por orden de priorización (Grupos 1, 2 y 3, siendo los del Grupo 3 los más vulnerables), ver Mapa 4.

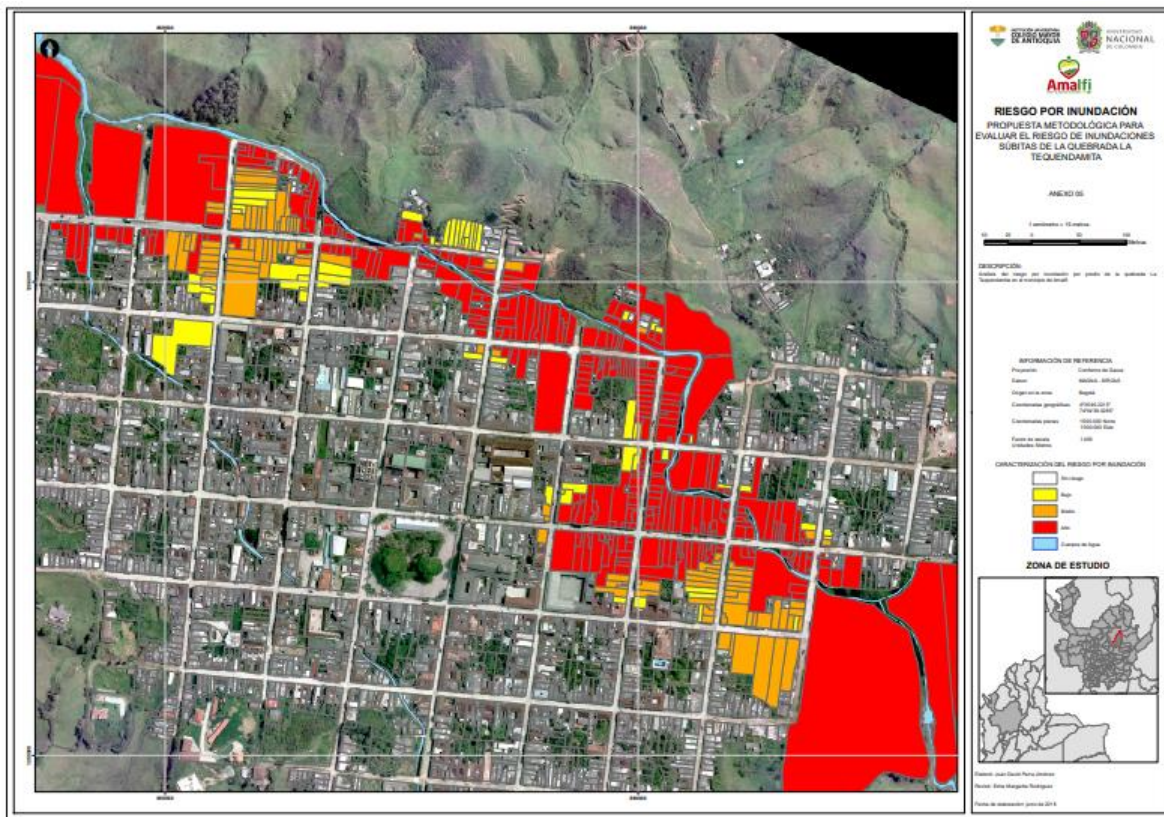


Mapa 4. Mapa de vulnerabilidad

3.3 Evaluación del riesgo

La mancha de 100 años se convierte en la envolvente de las manchas para períodos de retorno 2.33 y 25 años, esta mancha al ser analizada siguiendo los parámetros de la Figura 4, se convierte en un determinante a la hora de definir una zonificación de riesgo pues las condiciones de amenaza que se generan por las velocidades y alturas de inundación son críticas.

Se categorizaron los predios en bajo, mediano y alto riesgo de acuerdo con su nivel de exposición frente a la amenaza estimada como se puede observar en el Mapa 5.



Mapa 5. Mapa de riesgo

La inexistente ronda hídrica en varios tramos de la quebrada La Tequendamita, la apropiación del cauce con diferentes obras de infraestructura y residenciales potencian los niveles destructivos (mayores velocidades y nuevas zonas inundables) de la quebrada, elevando los niveles de riesgo de los predios adyacentes.

Los siguientes son sitios críticos identificados en la presente investigación y que podrán ser objetos de mitigabilidad, como se pueden apreciar en la Figura 29:

- Cruce vial de la Carrera 16
- Cruce vial de la Calle 20
- Cruce vial de la Carrera 17
- Cruce vial de la Calle 21
- Cruce vial de la Carrera 18
- Ronda hídrica general

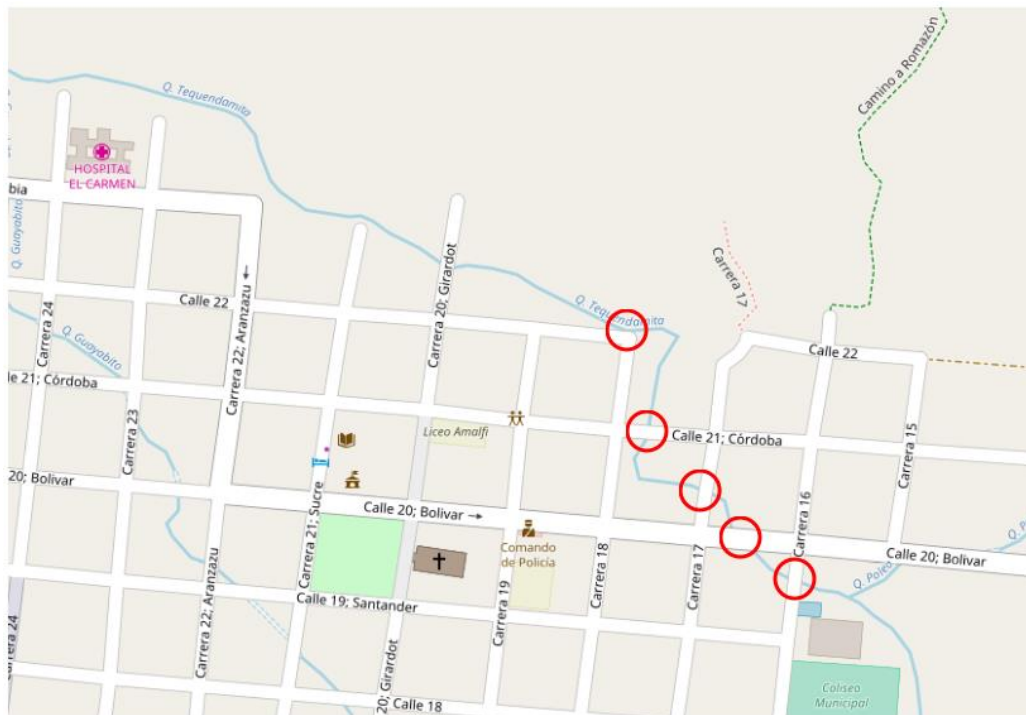


Figura 29. Localización de sitios críticos

4. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones se orientan a contemplar una serie de acciones en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo, el Plan de Desarrollo y en el Plan Ordenamiento Territorial, además:

- Comprender que la gestión del riesgo de desastres no se reduce a la atención de emergencias. Por el contrario, es un tema transversal en la planeación del desarrollo y el ordenamiento territorial del municipio. En tanto tema transversal, el municipio debe generar proyectos para el mejoramiento de las condiciones de habitabilidad de las familias localizadas en la zona riesgo alto.
- Reubicar cualquier tipo de infraestructura estratégica que se encuentre localizada en zonas de riesgo alto por inundación.
- Recuperación y descontaminación de caños que se encuentran en un deterioro visible por los residuos allí desechados y la confluencia de las aguas residuales de viviendas que no poseen servicio de alcantarillado.
- Desarrollar proyectos de agua potable, aguas residuales, control de vectores de enfermedades y gestión de residuos.
- Capacitar a los funcionarios públicos para el fortalecimiento institucional en gestión del riesgo, gestión pública, gestión ambiental, planificación del desarrollo y ordenamiento territorial.
- Capacitar a los grupos de manejo de la emergencia (Cuerpo de Bomberos y Cruz Roja) establecidos en el área urbana para el manejo del desastre.
- Comprar terrenos para la protección rondas hídricas, es menester adelantar obras de drenaje adecuadas para la evacuación de aguas, las cuales tengan la capacidad de transportar los flujos provenientes de la precipitación.

- Consolidar procesos de participación ciudadana y control social, sobre todo capacitar en participación ciudadana en la gestión pública. Al respecto, se debe crear comités barriales en los que se incluya el trabajo en torno a la gestión del riesgo o fortalecer las Juntas de Acción Comunal en estos temas. Para ello, se pueden programar cursos, capacitaciones y talleres para la promoción, divulgación y formación en educación ambiental y de gestión del riesgo.
- Impulsar medidas de aseguramiento de bienes, especialmente públicos.
- Instalar y poner en operación sistemas de monitoreo y alerta frente a la ocurrencia de inundaciones.
- Mantener actualizada y con información veraz la base de datos del SISBEN.
- Se recomienda incluir los resultados de la evaluación del riesgo por inundación como apoyo en la formulación de planes, programas y proyectos en los planes de desarrollo, planes de ordenamiento territorial y planes de gestión del riesgo, y rendir cuenta de las inversiones en el municipio permitirá no solo el control al cumplimiento de la normatividad sino la reducción del riesgo de las comunidades urbanas aumentando su resiliencia.
- Los resultados de esta investigación, contemplados de manera separada o conjunta (evaluación de la amenaza, de la vulnerabilidad y el riesgo) pueden equipararse con los estudios técnicos para la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial de acuerdo con las obligaciones del Decreto 1807 de 2014.
- También es importante resaltar que la información aportada por las comunidades sirve para generar conocimiento y es de gran utilidad en la toma de decisiones, más si son incluidos en un SIG, el cual permite almacenar, manipular e integrar la información.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Abdi, H., & Valentin, D. (2007). Multiple correspondence analysis. *Encyclopedia of Measurement and Statistics*, 95(2), 116–28. <http://doi.org/10.1016/j.cmpb.2009.02.003>
- Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M., & Saleem, T. (2016). Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt. *Journal of Arid Environments*. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.06.004>
- Adamovic, M., Branger, F., Braud, I., & Kralisch, S. (2016). Development of a data-driven semi-distributed hydrological model for regional scale catchments prone to Mediterranean flash floods. *Journal of Hydrology*. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.032>
- Adger, W., Brooks, N., Bentham, G., & Agnew, M. (2004). *New indicators of vulnerability and adaptive capacity. Tyndall Centre Technical Report 7*. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research.
- Alcaldía de Medellín, & Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2004). *Formulación del plan de manejo de las microcuencas de las Quebradas La Rosa y La Bermejala*. Medellín, Colombia.
- Ayele, D., Zewotir, T., & Mwambi, H. (2014). Multiple correspondence analysis as a tool for analysis of large health surveys in African settings. *African Health Sciences*, 14(4), 1036–1045. <http://doi.org/10.4314/ahs.v14i4.35>
- Bartlett, J. E., Kotrlik, J. W., & Higgins, C. C. (2001). Organizational Research : Determining Appropriate Sample Size in Survey Research. *Information Technology, Learning and Performance Journal*.
- Bedoya, M., Contreras, C., & Ruiz, F. (2010). Alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad y cambio climático. In *Estudio Nacional del Agua 2010* (p. 281). Bogotá, Colombia.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., ... Coll, a. (2012). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 30(1), 1–10. <http://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>

- Bohórquez, J. E. T. (2013). Social vulnerability assessment of natural hazards in Manzanillo (Colima). A methodological contribution [Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales en Manzanillo (Colima). Un aporte de método]. *Investigaciones Geograficas*, 81(100), 79–93. <http://doi.org/10.14350/RIG.36333>
- Choudhury, M. U. I., & Haque, C. E. (2016). “We are more scared of the power elites than the floods”: Adaptive capacity and resilience of wetland community to flash flood disasters in Bangladesh. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <http://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.08.004>
- Chow, V. Te. (1964). *Handbook of applied hydrology*.
- Congreso de la República de Colombia. Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. (2012). Bogotá, Colombia.
- Congreso de la República de Colombia. LEY 1551 de 2012. Por la cual se dictan normas para modernizar la organización y el funcionamiento de los municipios. (2012). Colombia.
- Corporación OSSO & La Red. (2015). Sistema de inventario de efectos de desastres-DESINVENTAR. Cali, Colombia.
- Damm, M. (2010). *Mapping social-ecological vulnerability to flooding*. United Nations University.
- Defeyer, A. (2011). *Modelos de vulnerabilidad de las edificaciones y las personas y medida del riesgo ante el fenómeno de inundación: el caso del pueblo de Cantagallo (Bolívar, Colombia)*. Universidad Paul-Valery.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S., & Roberts, S. (2004). *Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards*. *Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those*. Canberra, Australia: Geoscience Australia Record.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2004). *Technical Manual FLOOD MODEL*. Washington, United States of America.
- Fekete, A. (2009). Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany. *Natural Hazards and Earth System Science*, 9(2), 393–403.
- Fekete, A., Damm, M., & Birkmann, J. (2010). Scales as a challenge for vulnerability assessment. *Natural Hazards*, 55(3), 729–747. <http://doi.org/10.1007/s11069-009-9445-5>
- FEMA. (2014). *Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping. Flood Depth and Analysis Grids*.
- Ferrari, M. P. (2012). Análise de vulnerabilidade e percepção social das inundações na

- cidade de Trelew (Argentina). *Cuadernos de Geografía*, 21(2), 99–116.
- García, C. (2011). *Mountain risk management: integrated people centred early warning system as a risk reduction strategy, Northern Italy*. Università degli Studi di Milano-Bicocca.
- Granger, Ken; Jones, Trevor G; Leiba, Marion; Scott, G. (1999). Community Risk in Cairns: A Multi-hazard Risk Assessment. *Australian Journal of Emergency Management, Winter 199*, 25–26.
- Grupo Internacional Recursos del Sur. (2007). *Tiempo para entregar el relevo. Reducción del Riesgo de Desastre desde la Perspectiva de Gestión Ambiental, Ordenamiento Territorial, Finanzas e Inversión Pública*. San José, Costa Rica: Editorama.
- Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2017). Amenaza-inundación. Retrieved from Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- Kuhlicke, C. ., Steinführer, A. ., Begg, C. ., Bianchizza, C. ., Bründl, M. ., Buchecker, M. ., ... Faulkner, H. . (2011). Perspectives on social capacity building for natural hazards: Outlining an emerging field of research and practice in Europe. *Environmental Science and Policy*, 14(7), 804–814. <http://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.05.001>
- Lavell, A. (2003). *La Gestión Local del Riesgo. Nociones y Precisiones en Torno al Concepto y la Práctica*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: CEPREDENAC-PNUD.
- Lavell, A. M. (2001). Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. *Scripta Nova*, 1–23.
- Minaya, A. (1998). ... Aplicación De Los Sistemas De Información Geográfica In A. Maskrey (Ed.), *Navegando entre brumas* (Vol. Capítulo 5).
- Ministerio de Vivienda Sociedad y Territorio. Decreto 1807 de 2014 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento (2014). Colombia.
- Narváez, L., Lavell, A., & Pérez, G. (2009). *La Gestión del Riesgo de Desastres: Un enfoque basado en procesos*. Lima, Perú: PREDECAN.
- Palacios, S. (2013). *Diagnóstico de vulnerabilidades económicas y capacidades de las familias que habitan al potencial riesgo de deslizamientos e inundaciones*. Universidad de Casa Grande.
- Parra-Jiménez, J. D. (2017). *Análisis de la incertidumbre en la estimación de las zonas inundables con descriptores geomorfológicos derivados de MDE y modelos hidrodinámicos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Pérez, G. J. (2014). *Propuesta metodológica para la estimación de zonas de inundación con información escasa por medio de descriptores geomorfológicos derivados de modelos*

digitales de elevación. Universidad Nacional de Colombia.

Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. (2012). *Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe 2012*. Rio de Janeiro, Brasil.

Rodríguez-Gaviria, E. M. (2016). *Diseño metodológico para la evaluación del riesgo por inundación a nivel local con información escasa*. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.

Rodriguez-Sabate, C., Morales, I., Sanchez, A., & Rodriguez, M. (2017). The multiple correspondence analysis method and brain functional connectivity: Its application to the study of the non-linear relationships of motor cortex and basal ganglia. *Frontiers in Neuroscience*, 11(JUN). <http://doi.org/10.3389/fnins.2017.00345>

Rufat, S., Tate, E., Burton, C. G., & Maroof, A. S. (2015). Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 470–486.

Thouret, J. C., Ettinger, S., Guitton, M., Santoni, O., Magill, C., Martelli, K., ... Arguedas, A. (2014). Assessing physical vulnerability in large cities exposed to flash floods and debris flows: The case of Arequipa (Peru). *Natural Hazards*, 73(3). <http://doi.org/10.1007/s11069-014-1172-x>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y Instituto de Estudios del Ministerio Público Procuraduría General de la. (2017). *Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres*.

Universidad de Washington. (2015). Department of Computer Science and Engineering. Open Data Kit- ODK.

Universidad Nacional de Colombia; Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2009). *Avenida, Vulnerabilidad y Riesgo por Movientos en Masa, Avenidas Torrenciales e Inundaciones en el Valle de Aburrá. Formulación de Propuestas de Gestión del Riesgo*.

Universidad Nacional de Colombia. (2010). *Criterios metodológicos mínimos para la elaboración e interpretación cartográfica de zonificaciones de amenaza por inundaciones fluviales para el territorio colombiano con una aplicación práctica de dos áreas piloto (inundaciones lentas y súbitas) Fase I*. Medellín, Colombia.

Universidad Nacional de Colombia. (2014). *Zonificación de amenazas por inundaciones a escala 1:2.000 y 1:5.000 en áreas urbanas para diez municipios del territorio colombiano. Fase IV*. Medellín, Colombia.

USACE. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual. CPD-74B*.

Vargas, R., & Díaz-Granados, M. (1998). Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad-

Duración-Frecuencia para Colombia.

Vélez, M. V., & Smith, R. (1997). *Hidrología de antioquia*. Medellín: Secretaría de Obras Públicas del departamento de Antioquia.

Wilches-Chaux, G. (1993). *La vulnerabilidad global*.