



LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA EL DESARROLLO DE ESTUDIOS DE RIESGO POR INUNDACIÓN LENTA

Subdirección para el Conocimiento del Riesgo



Ortofotomosaico de la región de La Mojana,
sector San Marcos (Sucre)
Fuente: IDEAM, 2015

Juan Manuel Santos
Presidente de la República

Carlos Iván Márquez Pérez
Director
Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de
Desastres (UNGRD)

Graciela María Ustariz Manjarrés
Subdirectora General
Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de
Desastres (UNGRD)

Lina Dorado González
Subdirectora para el Conocimiento de Riesgo
(UNGRD)

Nelson Omar Vargas Martínez
Subdirector de Hidrología del Instituto de
Hidrología, Meteorología y Estudios
Ambientales (IDEAM)

Fabio Andrés Bernal
Director del Centro Nacional de Modelación
del Instituto de Hidrología, Meteorología y
Estudios Ambientales (IDEAM)

Equipo técnico Subdirección para el Conocimiento del Riesgo

Grupo de trabajo de campo

Franluid Posada
Wilson R. Sepúlveda
Anuar Aguas
Devis A. Pérez
Duván Durango

Modelación de amenaza por inundación

Julián D. Arbeláez
José Ville Triana
Fabián Caicedo (IDEAM – Centro Nacional de
Modelación CNM).

Modelo de exposición

Jairo Andrés Valcárcel Torres

Evaluación y análisis de vulnerabilidad física

Juan Pablo Forero Acevedo

Diagnóstico y evaluación de la vulnerabilidad social

Paula Andrea Villegas González
Maykel Yiseth Gutiérrez

Evaluación, análisis y cálculo de riesgo

Juan Camilo Olaya González.

Corrección de estilo

Carolina Giraldo González – Subdirección
General

Diagramación y fotografía

Subdirección para el Conocimiento del Riesgo -
UNGRD

Agradecimientos a las entidades que colaboraron

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Departamento Administrativo Nacional de
Estadística (DANE).

Universidad de Cartagena.

Comités Departamentales y Municipales de
Gestión del Riesgo.

Líderes de Juntas de Acción Comunal.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo
de Desastres - 2018

© Derechos reservados

Está prohibida la reproducción total o parcial de
esta publicación con fines comerciales

Contenido

Lista de figuras.....	v
Lista de fotografías.....	vi
Lista de mapas.....	vi
Lista de tablas.....	vi
Abreviaciones y siglas.....	viii
Prólogo	1
Introducción.....	3
Antecedentes.....	5
Motivación.....	5
Objetivos	7
Alcance, uso y aplicación de los lineamientos.....	7
Público Objetivo.....	9
Documentos de referencia para la ampliación de la información	10
Contexto nacional de afectación por inundación	12
Historia de eventos de inundación en el país	12
Principales afectaciones en la historia reciente	19
Normatividad en los procesos de incorporación de las evaluaciones de riesgo en la planificación territorial.....	30
Metodología General	33
Componentes para el análisis del riesgo por inundación.....	37
Amenaza por inundación lenta	38
Introducción	38
Objetivos.....	38
Alcance	39
Detalles metodológicos.....	39
Información básica.....	41
Análisis Hidrológico.....	44
Análisis hidráulico	48
Salidas gráficas.....	56
Conclusiones sobre la metodología.....	60
Modelo de Exposición	61
Introducción	61
Objetivos.....	62
Alcance	62
Detalles metodológicos.....	64
Localización de los elementos expuestos.....	66
Valor de los elementos expuestos.....	67
Características físicas de los elementos expuestos y su distribución geográfica	69
Resultados esperados del modelo de exposición	78

Conclusiones sobre la metodología.....	80
Evaluación y análisis de vulnerabilidad Física	82
Introducción	82
Objetivos.....	83
Alcance	83
Detalles metodológicos.....	85
Evaluación de la vulnerabilidad en el rubro contenidos.....	87
Evaluación de la vulnerabilidad en el rubro edificaciones.....	92
Conclusiones sobre la metodología.....	103
Evaluación y análisis de vulnerabilidad Social	104
Introducción	104
Objetivos	106
Detalles metodológicos.....	106
Condiciones iniciales	107
Contextualización	111
Acercamiento inicial a los actores e instituciones.....	112
Caracterización de hogares y territorial	114
Caracterización de indicadores socioeconómicos	116
Coproducción.....	118
Consolidación	121
Difusión.....	125
Conclusiones sobre la metodología.....	126
Evaluación y análisis de Riesgo.....	128
Introducción	128
Objetivos.....	129
Detalles metodológicos.....	130
Representación de la amenaza por inundación como insumo para la EPR por inundación ¹ 35	
Cálculo de frecuencia anual de ocurrencia a partir de período de retorno (o su inverso, la frecuencia anual de excedencia)	137
Evaluación Probabilista del Riesgo por inundación.....	140
Categorización y zonificación del riesgo por inundación.....	144
Conclusiones sobre la metodología.....	148
Especificaciones técnicas.....	150
Términos de referencia estándar para contratación.....	150
Objeto.....	150
Alcance del objeto	150
Obligaciones específicas en el proyecto	150
Equipo de trabajo	155
Productos esperados.....	157
Recomendaciones generales	159
Referencias	160
Glosario.....	168
Anexo 1. Formatos para la recopilación de información en campo	174

Anexo 2. Formato encuesta contenidos	183
Anexo 3. Detalle metodológico modelo de riesgo	188

Lista de figuras

Figura 1. Público objetivo para el uso y aplicación de los Lineamientos propuestos.....	9
Figura 2. Esquema conceptual de análisis de riesgo por inundación.....	37
Figura 3. Diagrama de flujo e información necesaria para la elaboración de los mapas de inundación.....	40
Figura 4. Metodología análisis de inundaciones.....	43
Figura 5. Ajuste de funciones de probabilidad a serie de cotas de lámina de agua máxima (msnm) registrada para el conjunto estadístico del mes de octubre en la estación San Marcos.....	47
Figura 6. Gráfico de isopercentiles de caudales máximos para diversos periodos de retorno (Tr), estación Magangué (25027680).	48
Figura 7. Ajustes de FDP teóricas a caudales máximos estación Magangué (25027680).....	48
Figura 8 Diagrama de flujo metodología de modelación hidráulica de inundaciones.....	52
Figura 9. Ortofotomosaico de la región de La Mojana, sector San Marcos (Sucre).....	56
Figura 10. Componentes de un modelo de exposición.....	64
Figura 11. Procedimiento para la clasificación de edificios y asignación de tipologías estructurales....	70
Figura 12. Ejemplos de tipologías a partir de la combinación de propiedades estructurales.....	74
Figura 13. Ejemplo: número de pisos identificado en las bases de datos catastrales para una construcción dada	75
Figura 14. Clasificación de funciones de vulnerabilidad física.	86
Figura 15 Procedimiento para evaluar la vulnerabilidad en contenidos.....	87
Figura 16. Función de vulnerabilidad para contenidos.	90
Figura 17. Procedimiento para evaluar la vulnerabilidad de edificaciones.....	92
Figura 18 Fuerzas hidrostáticas.....	95
Figura 19. Presión hidrodinámica	96
Figura 20 Procedimiento para definición de estados de daño.....	99
Figura 21. Valor esperado del daño (Vista 3D).	102
Figura 22. Documento guía para el análisis de la vulnerabilidad social.....	107
Figura 23. Esquema metodológico para el análisis de la vulnerabilidad social.....	109
Figura 24. Elementos de análisis en las preguntas orientadoras del contexto nacional, departamental y municipal.	112
Figura 25. Ejemplos de mapeo de actores de los municipios de Magangué y Mompox (Talleres de participación octubre 2017).	113
Figura 26. Ejemplos de identificación de zonas de inundación (Talleres de participación octubre 2017).	114
Figura 27. Elementos de análisis en las preguntas orientadoras del contexto hogares, individuos o comunidades.....	116
Figura 28. Contenido propuesto para presentar el diagnóstico y análisis del componente de vulnerabilidad social.	121
Figura 29. Esquema metodológico general de EPR por inundación propuesto.....	134
Figura 30. Proceso de caracterización del set de escenarios por inundación.....	137
Figura 31 Construcción de la curva de amenaza para tirante hídrico vs. Período de retorno.....	138
Figura 32. Frecuencia anual de ocurrencia a partir de frecuencias anuales de excedencia. Izq.: Discretización para la intensidad Th_i . Der.: Discretización para todo el rango de intensidad de Th de la curva de amenaza.....	139

Figura 33. Proceso de simulación de Montecarlo para generación de n realizaciones de magnitud de amenaza.....	141
Figura. 34 Componentes para la categorización del riesgo. Adaptado de: (DNP, 2018)	145
Figura 35 Ejemplo de ficha de descripción de propiedades estructurales.....	181
Figura 36 Ejemplo de ficha de descripción de contenidos.....	182

Lista de fotografías

Fotografía 1 Mapa de integración del componente amenaza y vulnerabilidad social en el municipio de Magangué (Bolívar).	120
Fotografía 2. Espacios de participación en el municipio de San Marcos (Sucre).	120

Lista de mapas

Mapa 1. Resumen departamental de número de muertos por inundación para el período 1914-2015.....	14
Mapa 2. Resumen departamental de número de damnificados por inundación para el período 1914-2015.....	15
Mapa 3. Resumen departamental de número de viviendas afectadas por inundación para el período 1914-2015.....	16
Mapa 4. Resumen departamental de número de viviendas destruidas por inundación para el período 1914-2015.....	17
Mapa 5 Porcentaje de hogares registrados afectados por inundación	21
Mapa 6 Daños como porcentaje del PIB departamental.	22
Mapa 7 Daños en bienes muebles en porcentaje.	23
Mapa 8 Número de viviendas a reparar.	24
Mapa 9. Tirante hídrico de la zona inundable, para un periodo de retorno de 50 años en el municipio de Montelíbano (Córdoba)	58
Mapa 10. Velocidad media de flujo de la zona inundable, para un periodo de retorno de 50 años en el municipio de Montelíbano (Córdoba).....	59
Mapa 11. Zonas de amenaza por inundación en San Marcos. Periodo de retorno de 100 años. Distribución geográfica de construcciones en el municipio.....	66
Mapa 12. Ejemplo de resultados de zonificación de la vulnerabilidad social y su relación con la amenaza por inundación para el municipio de Magangué.....	124

Lista de tablas

Tabla 1. Documentos, proyectos y/o experiencias en las cuales se puede consultar y ampliar la información presentada en los lineamientos.....	10
---	----

Tabla 2. Bases de datos como fuente de información para la caracterización del contexto histórico de inundación en el país.....	13
Tabla 3. Afectaciones por tipo de inundación.....	18
Tabla 4. Comparación de número de muertos y total de afectados para cada fuente de información.....	18
Tabla 5. Marco normativo relativo a la incorporación de la GRD por inundación al ordenamiento territorial.....	30
Tabla 6. Revisión de características principales de ER por inundación a diferentes escalas de análisis.....	33
Tabla 7. Incertidumbres involucradas en la metodología propuesta para la amenaza por inundación.....	40
Tabla 8. Descripción general de tipos de modelos hidráulicos.....	54
Tabla 9. Rangos de tirante hídrico de la inundación.....	57
Tabla 10. Rangos de velocidades de inundación.....	57
Tabla 11 Información recomendada para el desarrollo del modelo de exposición según categorías de municipios.....	63
Tabla 12. Incertidumbres en el modelo de exposición y fuentes de información.....	65
Tabla 13. Información relevante para identificar condiciones económicas de los hogares.....	68
Tabla 14. Información relevante para la caracterización de las propiedades estructurales de edificios.....	72
Tabla 15. Herramientas útiles para la recolección de información en campo.....	73
Tabla 16. Ejemplo de un esquema de clasificación para una zona homogénea.....	75
Tabla 17. Ejemplo: esquema de clasificación del sector al que pertenece una construcción dada.....	76
Tabla 18. Ejemplo: porcentajes de participación de tipologías asignadas a una construcción dada conociendo el número de plantas.....	76
Tabla 19 Ejemplos de propiedades de sistema resistentes a cargas, tipos de cubiertas y usos.....	77
Tabla 20. Información mínima que debe contener el modelo de exposición.....	79
Tabla 21. Información auxiliar para el modelo de exposición.....	79
Tabla 22. Usos potenciales del modelo de exposición en la gestión del riesgo por inundaciones.....	81
Tabla 23. Alcance recomendado según categoría de los municipios y el grupo de uso de las edificaciones.....	83
Tabla 24. Incertidumbres involucradas en la metodología propuesta para la evaluación de la vulnerabilidad física.....	85
Tabla 25. Parámetros para definición de tipologías en términos de contenidos.....	88
Tabla 26. Funciones de daño para contenidos de una edificación residencial.....	91
Tabla 27. Parámetros para definición de tipologías de edificaciones.....	93
Tabla 28. Coeficiente de arrastre para relación (b/Th).....	97

Tabla 29. Costos de reparación en relación con los costos de reposición para cada estado de daño en muros.....	100
Tabla 30. Líderes del proyecto a nivel nacional, regional y local. Ejemplo de proyectos liderados desde la UNGRD.....	108
Tabla 31. Preguntas orientadoras para el acercamiento inicial a los actores e instituciones.....	114
Tabla 32. Preguntas orientadoras para el componente de inundaciones.....	115
Tabla 33. Indicadores socioeconómicos.....	116
Tabla 34. Indicadores socioeconómicos.....	118
Tabla 35. Indicadores socioeconómicos.....	124
Tabla 36. Fuentes de incertidumbre en la EPR por inundación para cada componente.....	132
Tabla 37. Dimensiones y variables para estimar el índice de capacidad.....	146
Tabla 38. Descripción de las categorías de riesgo total.....	146
Tabla 39. Actividades, personal requerido y duración estimada para el desarrollo de estudios de evaluación probabilista de riesgo por inundación lenta.....	155
Tabla 40. Conceptos y definiciones relevantes para la aplicación de EPR por inundación como insumo para el ordenamiento territorial.....	168
Tabla 41. Uso y estrato de las construcciones.....	174
Tabla 42. Características de la tenencia y avalúo de la construcción.....	174
Tabla 43. Propiedades del sistema estructural.....	175
Tabla 44. Propiedades para describir los pisos.....	176
Tabla 45. Propiedades de la cubierta.....	177
Tabla 46. Características de las fachadas (muros exteriores).....	178
Tabla 47. propiedades respecto a la altura de las construcciones.....	180

Abreviaciones y siglas

SIGLA	EXPLICACIÓN
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAR	Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible
CEP	Curva de Excedencia de Pérdidas
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DNP	Departamento Nacional de Planeación

ER	Evaluación de Riesgo
EPR	Evaluación Probabilista de Riesgo
GAR	Global Assessment Report - UNISDR
GRD	Gestión del Riesgo de Desastre
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IPCC	Intergovernmental Panel for Climate Change
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MVCT	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
MGN	Marco Geo-estadístico Nacional
PAE	Pérdida Anual Esperada
PIB	Producto Interno Bruto
PMP	Pérdida Máxima Probable
POMCA	Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
PNGIRH	Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico
PPR	Prima Pura de Riesgo
RUD	Registro Único de Damnificados
SIAC	Sistema de Información Ambiental de Colombia
SIG	Sistema de Información Geográfica
SINA	Sistema Nacional Ambiental
SNGRD	Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
SIRH	Sistema de Información del Recurso Hídrico
UNDRO	Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator
UNGRD	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
UNISDR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres

Prólogo

El plan de acción regional para la implementación del Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015–2030 en las Américas, plantea como primera prioridad: comprender el riesgo de desastres. Como respuesta a esto, resulta fundamental que los países de la región avancen en el fortalecimiento de los sistemas y mecanismos para compartir evaluaciones del riesgo de desastres, buenas prácticas y metodologías, entre regiones y sectores, promoviendo así el libre acceso de información, según corresponda y sea pertinente.

Los lineamientos técnicos para el desarrollo de estudios de riesgo por inundación lenta han sido elaborados por la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), en convenio con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Este producto surge ante la necesidad de avanzar en el conocimiento del riesgo a nivel nacional y regional, teniendo en cuenta que la misión de la entidad es mejorar la calidad de vida de las personas y contribuir al desarrollo sostenible. Pero, además, avanzar en el conocimiento del riesgo en el país, con el fin de comprender el riesgo de desastres en sus dimensiones de amenaza, vulnerabilidad, grado de exposición y características del entorno.

Como ejemplo de aplicación de estos Lineamientos, se llevaron a cabo cuatro casos pilotos a nivel de cabecera municipal, en Magangué (Bolívar), Mompo (Bolívar), Montelíbano (Córdoba) y San Marcos (Sucre). Allí participaron de manera activa los Consejos Municipales y Departamentales de Gestión del Riesgo de Desastres. Así como los actores y entidades relacionadas con la temática.

En este sentido, la publicación recopila el contexto de las inundaciones en Colombia, propone un conjunto de pasos metodológicos para evaluar el riesgo por inundación a partir de las experiencias en los casos piloto y el conocimiento en cada una de las áreas. De manera adicional, presenta un insumo para realizar estudios previos, en el marco de proyectos de evaluación de riesgo por inundación a nivel municipal.

El conocimiento generado en este documento, puede aprovecharse para el análisis y evaluación del riesgo a nivel municipal (escalas de trabajo detalladas 1:2.000), y en este sentido se convierte en una

herramienta fundamental para generar estrategias de reducción y manejo de desastres. Otro aspecto fundamental, es que los resultados de la aplicación de los lineamientos en un municipio sirven como soporte a los planes de gestión de riesgo municipal y planes de ordenamiento territorial.

La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, continuará con el trabajo de generación de nuevo conocimiento del riesgo y espera que este tipo de productos se sigan construyendo y complementando con otros enfoques metodológicos, con el propósito de crear una Colombia menos vulnerable con comunidades más resilientes.

Carlos Iván Márquez Pérez

Director Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres

Introducción

El documento *Lineamientos metodológicos para el desarrollo de estudios de Evaluación Probabilista del Riesgo por inundación lenta* hace parte del proyecto titulado *Evaluación Probabilista del Riesgo por inundación lenta y/o rápida en municipios seleccionados*, formulado por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) en enero de 2017 en el marco del Plan de Acción del mismo año. Las entidades que participaron en la elaboración de este documento y de los casos piloto para la aplicación de la metodología propuesta fueron el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), a través del Centro Nacional de Modelación (CNM), para la evaluación de la amenaza por inundación lenta, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) con información relevante para la elaboración de los modelos de exposición; la Universidad de Cartagena, Comités Departamentales y Municipales de Gestión del Riesgo y los Líderes de Juntas de Acción Comunal como soporte para el trabajo de campo realizado, con el fin de generar insumos de información para el desarrollo de modelos de exposición y para la evaluación de vulnerabilidad física y social de las cabeceras municipales analizadas.

El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD), formula en el año 2015 el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de desastres: una estrategia de desarrollo 2015-2025. El componente programático de esta herramienta se orienta por los tres procesos misionales: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres. El subproceso para el conocimiento del riesgo, se compone por: I) la identificación de escenarios de riesgo, II) el análisis y evaluación del riesgo, III) el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y, IV) la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastres. En el componente de análisis del riesgo, se propone como proyecto de mediano plazo, los estudios de evaluación de riesgo por inundaciones y avenidas torrenciales en municipios expuestos a estas amenazas.

Como estrategia de desarrollo del Plan Nacional, la UNGRD definió diversos ejes estratégicos entre los cuales el primero se denomina "Conocimiento del Riesgo, en el que se plantea la línea de acción de fomento de la identificación y caracterización de escenarios de riesgo a través de la estrategia de elaboración de documentos de caracterización de escenarios y eventos amenazantes, a partir de dos actividades principales. La primera, definir los lineamientos metodológicos para el desarrollo de proyectos de estudios de evaluación de riesgo por inundación lenta y/o rápida en municipios priorizados. La segunda, sobre la gestión de proyectos de evaluación de riesgo por inundación lenta y/o rápida en municipios priorizados.

El objetivo principal de la primera actividad fue la elaboración, comunicación y publicación de un documento que contuviera el detalle técnico y metodológico necesario para la elaboración de una Evaluación Probabilista del Riesgo (EPR) por inundación lenta a escalas de detalle. Lo anterior en el marco del artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2012) y de su decreto reglamentario – 1807 de 2014 (Ministerio de Vivienda Ciudad y

Territorio, 2014), recopilado en el Decreto 1077 de 2015 (MAVDT, 2015b)– en lo relativo a la incorporación de la GRD en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT). Adicionalmente, se planteó la inclusión de términos de referencia para la contratación de estudios de EPR de riesgo por inundación lenta para su incorporación en los POT, con el objetivo de producir una guía para los entes del orden municipal que contenga tanto los componentes técnicos de detalle, como los requerimientos de personal mínimos exigibles para la elaboración de los estudios planteados.

El presente documento corresponde a los Lineamientos *metodológicos para el desarrollo de estudios de evaluación probabilista de riesgo por inundación lenta*, considerando componentes como la amenaza por inundación lenta, el modelo de exposición, el análisis y evaluación de vulnerabilidad física, el análisis y evaluación de vulnerabilidad social, y por último, la evaluación de riesgo. El enfoque metodológico del que es objeto este documento es la evaluación probabilista de riesgo considerando la incertidumbre proveniente de la amenaza por inundación, la vulnerabilidad física y el modelo de exposición. El componente de análisis y evaluación de vulnerabilidad social se plantea a partir del documento *Lineamientos para el análisis de vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres* (UNGRD-IEMP, 2017) como una experiencia de aplicación en casos piloto en las cabeceras municipales de Magangué y Mompo (Bolívar), San Marcos (Sucre) y Montelíbano (Córdoba).

El documento se divide en ocho capítulos, de la siguiente manera: en el primer capítulo se incluye la introducción de los lineamientos, donde se especifican los antecedentes, motivación, objetivos y alcance. Adicionalmente, se presentan aspectos generales del contexto nacional histórico de la amenaza por inundación en términos de eventos ocurridos y sus consecuencias sobre la población y la infraestructura. Así mismo se presenta el marco normativo sobre el cual se basan los lineamientos, específicamente en términos de la incorporación de la GRD en los Planes y/o Esquemas de Ordenamiento Territorial (POT – EOT). En el segundo capítulo se presenta de manera breve la metodología general de EPR por inundación lenta propuesta en los lineamientos, describiendo cada uno de sus componentes y precisando el estado del arte sobre el cual se basa la propuesta metodológica. En los capítulos tercero a séptimo se presentan las especificaciones técnicas de cada componente del modelo de EPR por inundación lenta en el siguiente orden: modelación de amenaza por inundación, modelo de exposición, evaluación y análisis de vulnerabilidad física, evaluación y análisis de vulnerabilidad social y, por último, evaluación y análisis de riesgo.

La estructura de cada capítulo es exactamente la misma e incluye las siguientes secciones; introducción, objetivos, descripción de la metodología y discusión de la metodología. En el capítulo octavo se presentan las especificaciones técnicas para la contratación de estudios para la EPR por inundación lenta en Colombia en términos de recomendaciones de información de entrada, de procedimientos y de personal calificado e idóneo para adelantar este tipo de productos. Por último, se incluyen recomendaciones como insumo para elaborar términos de referencia estándar, que orienten los procesos de contratación de los estudios de EPR por inundación lenta en el país.

Antecedentes

Los antecedentes que se tienen en el país para el desarrollo de proyectos que contengan lineamientos metodológicos de EPR por inundación, en los cuales se involucren de manera integral los componentes de amenaza, vulnerabilidad, exposición y riesgo, son escasos. Pero en los últimos años, el país ha avanzado en el desarrollado de proyectos orientados a fortalecer el conocimiento para la gestión del riesgo.

Diferentes instituciones y entidades, tales como el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Fondo Adaptación, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), las Universidades, entre otros, han establecido guías o lineamientos metodológicos para la evaluación de diferentes componentes del riesgo.

Así mismo, existen experiencias en las cuales se han desarrollado proyectos que presentan la aplicación de metodologías a casos de análisis reales con fines de ordenamiento territorial. En la temática de inundaciones, uno de los principales estudios realizados en los últimos años, fue el desarrollado por el Fondo Adaptación denominado *El proyecto Intervención integral para la reducción del riesgo de inundaciones en la región de La Mojana*.

Más adelante, en la Tabla 1, se describen de manera general estas experiencias, que han servido como base para soportar el enfoque metodológico de los lineamientos que se plantean en el presente documento.

Motivación

La motivación para la publicación de los *Lineamientos metodológicos para el desarrollo de EPR por inundación lenta* se basa en tres componentes: el primero corresponde a la pertinencia normativa para el uso de las metodologías planteadas como insumo para las entidades territoriales en el proceso de GRD.

En este sentido, el decreto Ley 019 de 2012 (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2012), en su artículo 189, define la incorporación de la GRD en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los POT o en la expedición del nuevo POT, cuando se garantice la delimitación y zonificación de zonas de amenaza y de áreas en condiciones de riesgo, con el fin de promover medidas para la sostenibilidad ambiental del territorio. Posteriormente, el decreto 1807 de 2014 (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014), reglamentó las condiciones y escalas de análisis para estudios básicos y de detalle como insumos para incorporar de manera gradual la GRD en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los POT municipal y distrital o en la expedición de un nuevo plan. Para el caso de los estudios detallados, exige que para los diferentes eventos se debe analizar: la amenaza, la vulnerabilidad, la evaluación del riesgo y la determinación de las medidas de mitigación.

En dicho decreto, se establecen disposiciones de manera general para los eventos amenazantes de movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales en cuanto a la elaboración de estudios básicos y detallados. Si bien se reglamentan los contenidos de la evaluación del riesgo por inundación, su

alcance no permite que se planteen en detalle el proceso metodológico para su desarrollo. Tampoco incluye orientaciones para la elaboración de términos de referencia que, como mínimo, debe incluir un estudio de riesgo por inundación, para su incorporación en los POT.

Considerando lo anterior, el presente documento pretende proporcionar insumos técnicos a los entes territoriales para la incorporación de la GRD a los POT, en lo relativo a la evaluación del riesgo por inundación lenta. En esta misma línea, se planteó la aplicación de la metodología en un proyecto piloto de EPR por inundación lenta en los municipios priorizados de Mompox y Magangué (Bolívar), Montelíbano (Córdoba) y San Marcos (Sucre).

El segundo aspecto gira en torno a dar continuidad a la cooperación y trabajo interinstitucional del SNGRD para el cumplimiento del objetivo común de la función de evaluación y análisis del riesgo que comparten diversas entidades. En este sentido, la Ley 1523 de 2012 define en su artículo 20 la creación del Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo, conformado por: la UNGRD, el Departamento Nacional de Planeación (DNP), el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Servicio Geológico Colombiano (SGC), entre otros. Dentro de las funciones del comité se destacan: i) orientar la realización de análisis y evaluación del riesgo, ii) orientar la identificación de los factores de riesgo de desastre, entiéndase: amenazas, vulnerabilidades, exposición de personas y bienes, y, iii) asesorar el diseño del proceso de conocimiento del riesgo como componente del sistema nacional.

Adicionalmente, considerando el principio de concurrencia de la Ley 1523 de 2012, tiene lugar las competencias “entre entidades nacionales y territoriales de los ámbitos público, privado y comunitario que constituyen el SNGRD cuando la eficacia en los procesos, acciones y tareas se logre mediante la unión de esfuerzos y la colaboración no jerárquica entre las autoridades y entidades involucradas”. Por lo anterior, es de interés de la UNGRD continuar fortaleciendo lazos de cooperación con las entidades del SNGRD para el análisis del riesgo por amenazas naturales y socio-naturales, en este caso particular, la inundación lenta a escala de detalle para suelo urbano.

Por último, valorando que una de las funciones principales de la UNGRD es el análisis y evaluación del riesgo; es de interés fomentar al interior de las entidades del SNGRD las capacidades para el desarrollo de evaluaciones de riesgo que involucren la incertidumbre de los fenómenos y la participación de los actores y entidades locales, siguiendo propuestas metodológicas definidas. Es a partir de resultados de riesgo cuantitativo que es posible caracterizar el riesgo físico de una región o de un portafolio de elementos para definir su posible afectación en un lapso dado. Con este, entre otros resultados, es posible generar medidas de reducción del riesgo.

Objetivos

El objetivo principal de los lineamientos es presentar la descripción de una metodología con enfoque probabilista para la evaluación del riesgo por inundación lenta, así como los términos de referencia básicos sugeridos para su implementación. Considerando las especificaciones del Decreto 1807 de 2014, el estudio considerado es de tipo detallado y la escala de trabajo es 1:2.000 para cabeceras municipales.

La evaluación del riesgo incluye los componentes de amenaza, exposición, vulnerabilidad física y social. Con lo anterior se pretende realizar un aporte técnico integral que complementa al Decreto 1807 de 2014 (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014), por el cual se reglamenta la incorporación de la gestión del riesgo en los POT, específicamente en lo relativo a los artículos 6, 9, 11, 12, 16, 17, 18, 19 de dicho decreto. A partir del objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- i. Definir y especificar la metodología y productos mínimos requeridos para la evaluación de la amenaza por inundación lenta como insumo para la evaluación probabilista de riesgo por inundación lenta.
- ii. Definir y especificar la metodología y productos mínimos requeridos para la elaboración de modelos de exposición como insumo para la evaluación probabilista de riesgo por inundación lenta.
- iii. Definir y especificar la metodología y productos mínimos requeridos para el análisis de vulnerabilidad física como insumo para la evaluación probabilista de riesgo por inundación lenta.
- iv. Definir y especificar la metodología y productos mínimos requeridos para el análisis de vulnerabilidad social.
- v. Definir y especificar la metodología y productos mínimos requeridos para la evaluación probabilista del riesgo por inundación.

Alcance, uso y aplicación de los lineamientos

En este documento se presentan los métodos para la evaluación probabilista del riesgo por inundación, a partir del estado actual del conocimiento y enmarcados en los componentes y actividades propuestas en el Decreto 1807 de 2014. Las metodologías que se presentan en este documento se limitan única y exclusivamente a las inundaciones lentas.

La metodología propuesta para el componente de amenaza es de tipo cuantitativo, considerando la escala de análisis detallada (1:2.000) para las magnitudes de tirante hídrico y velocidad media de flujo calculados a partir del tránsito de caudales máximos asociados a períodos de retorno, por medio de un modelo hidrodinámico calibrado y validado con datos hidrométricos, aportes de información de las comunidades e imágenes de satélite.

En términos del modelo de exposición, la metodología propuesta se basa en la descripción, caracterización y clasificación de los elementos expuestos en tipologías definidas a partir de la combinación de información recopilada en campo y de información oficial provista por entidades y/o instituciones oficiales (DANE e IGAC).

La metodología de análisis de vulnerabilidad física es de tipo cuantitativo, considerando y evaluando por separado las funciones de vulnerabilidad en los rubros de: contenidos materiales de las edificaciones y elementos estructurales y no estructurales de las edificaciones para cada tipología definida en el modelo de exposición.

La metodología de análisis de la vulnerabilidad social se basa en lo planteado en el documento *Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres* (UNGRD-IEMP, 2017).

Por último, la metodología propuesta para el cálculo de riesgo considera las incertidumbres de los componentes de amenaza y vulnerabilidad física para producir resultados a nivel de curvas de excedencia de pérdida (CEP) y pérdidas anuales esperadas (PAE) para cada zona de análisis de uso de suelo urbano.

Con base en experiencias y proyectos que preceden estos lineamientos (ver Tabla 1), para la definición de las condiciones de riesgo mitigable y no mitigable, se propone adoptar acciones de mitigación a partir de análisis de tipo beneficio-costos, lo cual permite comparaciones cuantitativas y objetivas de la pertinencia de diferentes medidas de mitigación y reducción del riesgo, tanto estructurales como no estructurales.

Por lo anterior, entre las principales utilidades que tiene este documento están:

Soporte metodológico para modelación de amenaza por inundación lenta, la elaboración de modelos de exposición, el análisis y evaluación de vulnerabilidad física, la vulnerabilidad social y el riesgo.

Términos de referencia para la contratación de estudios de evaluación de riesgo por inundación lenta con enfoque probabilista, en los municipios del país (suelo urbano).

No se encuentra dentro de los objetivos, utilidad y alcance del documento la definición de los tipos, diseños básicos, características y/o condiciones de las medidas de mitigación y reducción del riesgo. Así como tampoco, se pretende establecer de manera estricta la metodología propuesta como de obligatoria aplicación y cumplimiento en los territorios, sino que se provee como una referencia metodológica para la evaluación de riesgo a partir de la consideración de la incertidumbre en los componentes del proceso de manera objetiva y cuantitativa, con el fin de proporcionar información exhaustiva para la toma de decisiones en el territorio.

A partir de las disposiciones técnicas que se encuentran en el Decreto 1807 de 2014, para la revisión y/o elaboración de los contenidos de los POT, los estudios de riesgo por inundaciones deben realizarse de acuerdo con el principio de gradualidad definido en la Ley 1523 de 2012. Para esto se consideran

dos escalas de trabajo y condiciones técnicas específicas. En los estudios básicos se estipula que la escala de trabajo en suelo urbano es 1:5.000. En los estudios detallados se estipula que la escala de trabajo en suelo urbano es 1:2.000. El presente documento se enfoca en las metodologías a emplear en los estudios detallados.

Público Objetivo

El documento pretende ser un apoyo técnico integral para tres públicos objetivo principales (ver Figura 1):



Figura 1. Público objetivo para el uso y aplicación de los lineamientos propuestos.

Documentos de referencia para la ampliación de la información contenida en los lineamientos

En la Tabla 1 se enuncian los documentos, proyectos y/o experiencias que en los últimos años se han producido en el país en evaluación del riesgo a la luz de las actividades definidas en el Decreto 1807 de 2014 por entidades y/o autores. Dichas experiencias sirvieron como fuente de consulta y punto de partida para el planteamiento de los lineamientos, en compañía de un grupo adicional de fuentes de información que ha sido publicada a nivel internacional compiladas en la bibliografía.

Tabla 1. Documentos, proyectos y/o experiencias en las cuales se puede consultar y ampliar la información presentada en los lineamientos.

Documento/Proyecto	Componente	Información relevante	Fuente
Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación	Modelación de amenaza por inundación	Información a nivel técnico sobre las metodologías y enfoques mayormente aceptados en términos de la representación de la amenaza por inundación	IDEAM-CNM, 2017 (CNM & IDEAM, 2017)
Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres	Vulnerabilidad social	Metodología para el análisis de la vulnerabilidad social, bajo el principio de co-construcción entre las entidades y los diferentes actores del SNGRD. Incluye una caja de herramientas participativas para la caracterización de la vulnerabilidad social frente a desastres	(UNGRD- IEMP, 2017)
Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa	Procedimiento para la ejecución de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escalas detalladas, siguiendo la normatividad presentada en el Decreto 1807 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.	Componentes de la evaluación de riesgo a partir de lo establecido en la normatividad vigente.	(SGC, 2016)

Plan de Acción para la reducción del riesgo de inundaciones y la adaptación al cambio climático en La Mojana – Proyecto La Mojana	Modelación de amenaza por inundación lenta, análisis de la vulnerabilidad física, exposición y evaluación probabilista del riesgo. Caracterización social.	Modelación de amenaza por inundaciones lentas. Enfoque probabilista en la evaluación del riesgo para edificaciones, infraestructura y cultivos agrícolas en la región de La Mojana. Caracterización social.	Fondo Adaptación, 2016 (Fondo Adaptación, 2018)
Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre – El caso de Bogotá, Colombia	Amenaza por inundación, exposición, vulnerabilidad física y de evaluación probabilista de riesgo.	Visión integral de todos los componentes de la evaluación y análisis de riesgo con un enfoque probabilista para amenaza sísmica, de inundación y de deslizamientos.	(Yamin, Ghesquiere, Cardona, & Ordaz, 2013)
Piloto de asistencia técnica para incorporar la gestión integral de riesgos hidroclimáticos en el ordenamiento territorial municipal	Amenaza por deslizamiento e inundaciones.	Provee información técnica para la incorporación de la gestión del riesgo en el ordenamiento territorial en lo referente a las amenazas por deslizamiento e inundaciones.	(IDEAM et al., 2012)

Contexto nacional de afectación por inundación

En esta sección se presentan aspectos relativos a la ocurrencia de eventos históricos de inundación en el país, en comparación con los demás tipos de fenómenos naturales y sus consecuencias. Esto se hace a partir de cotejar y revisar la información consignada en tres bases de datos, entre las que están DesInventar (Desinventar, 2016), EM-DAT (The International Disaster Database) (EM-DAT, 2009) y los resultados publicados en el informe de valoración de daños y pérdidas de la Ola Invernal 2010–2011 por parte del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (BID & Cepal, 2012). Por último, se presentan los conceptos relacionados con la GRD y sobre los cuales se basan los lineamientos. Gran parte de estas definiciones se recogen a partir de lo dispuesto en la Ley 1523 de 2012, el Decreto 1807 de 2014, el documento de Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes (UNGRD, 2017b), entre otras fuentes.

Historia de eventos de inundación en el país

Antes de iniciar la descripción histórica de las inundaciones, se presentan los conceptos principales que orientan su análisis:

El IDEAM afirma que las inundaciones corresponden a “fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas. Se identifican dos tipos de inundaciones:

- **Lentas:** ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros, reportan afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas humanas, el tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses, en Colombia el ejemplo más claro es la región de La Mojana.
- **Crecientes súbitas:** las áreas de afectación son menores, pero el impacto es potencialmente mayor y cobra el mayor número de vidas, responden rápidamente a la ocurrencia de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, los incrementos de nivel son del orden de metros en pocas horas, y el tiempo de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas son igualmente de horas o pocos días, estas se presentan en todas las cuencas de alta pendiente de la región Andina principalmente” (IDEAM, 2014).

Para describir y resumir la ocurrencia de eventos de inundación en el país se hace uso de las bases de datos que se describen en Tabla 2. A continuación, se resume en formato de mapas y gráficos la información contenida para cada una de las bases de datos consultadas.

Tabla 2. Bases de datos como fuente de información para la caracterización del contexto histórico de inundación en el país.

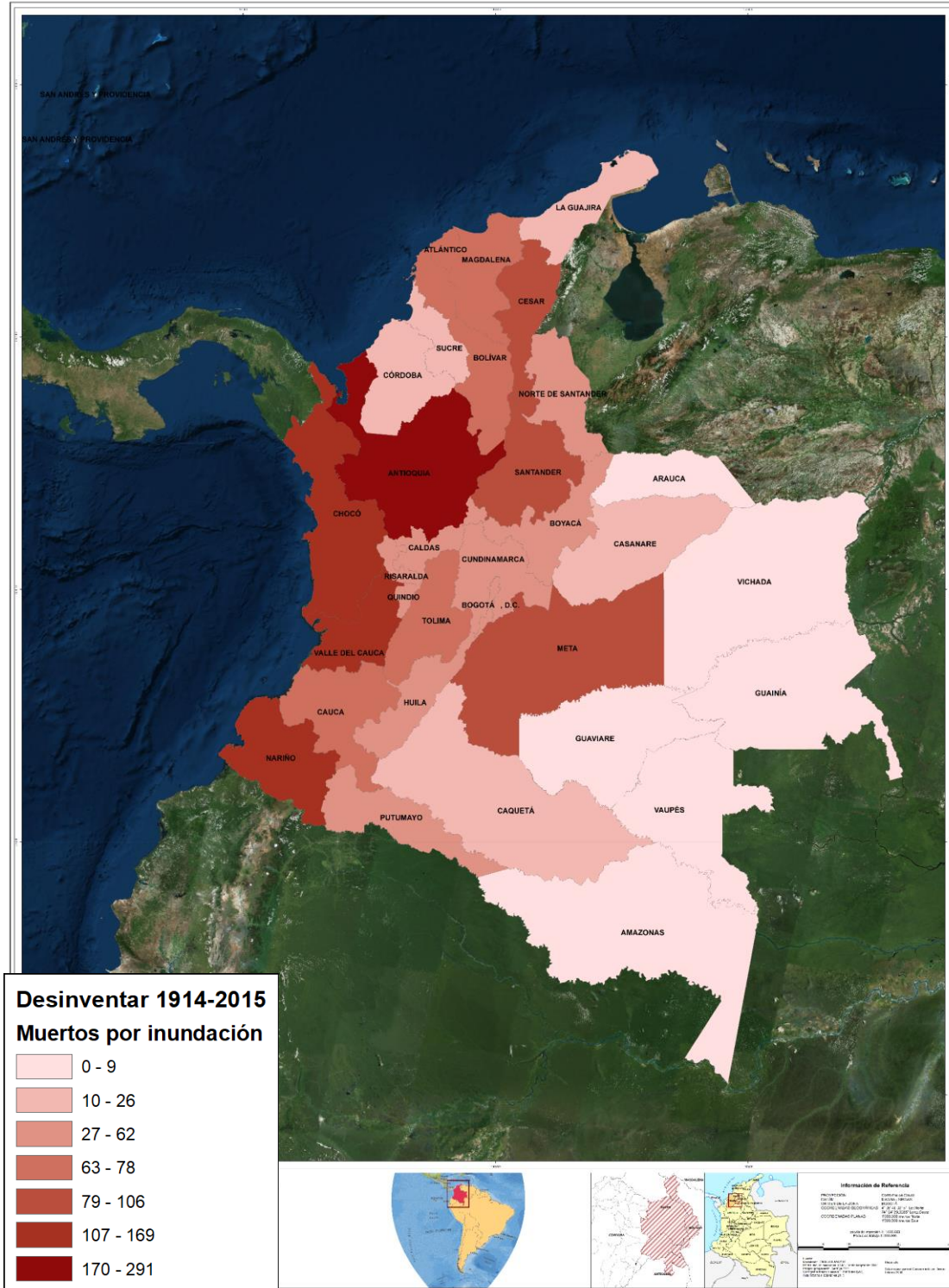
Base de datos	Período	Fuente
Deslventar	1914-2015	Corporación Osso, La Red, UNISDR
EM-DAT	1926-2017	CRED-Universidad Católica de Lovaina (Bélgica)
Ola Invernal 2010-2011	2010-2011	BID-CEPAL

Deslventar (Período consultado 1914 a 2015)

En el período consultado, se recopiló información de afectación a personas en términos de muertos, damnificados y, de viviendas, en términos de número de viviendas destruidas y afectadas por inundación. En los Mapas 1 a 4 se presentan salidas gráficas que resumen los resultados consolidados por departamento, para número de viviendas afectadas y destruidas, así como afectación en personas para el período 1914-2015, considerando exclusivamente los eventos de inundación ocurridos en el país.

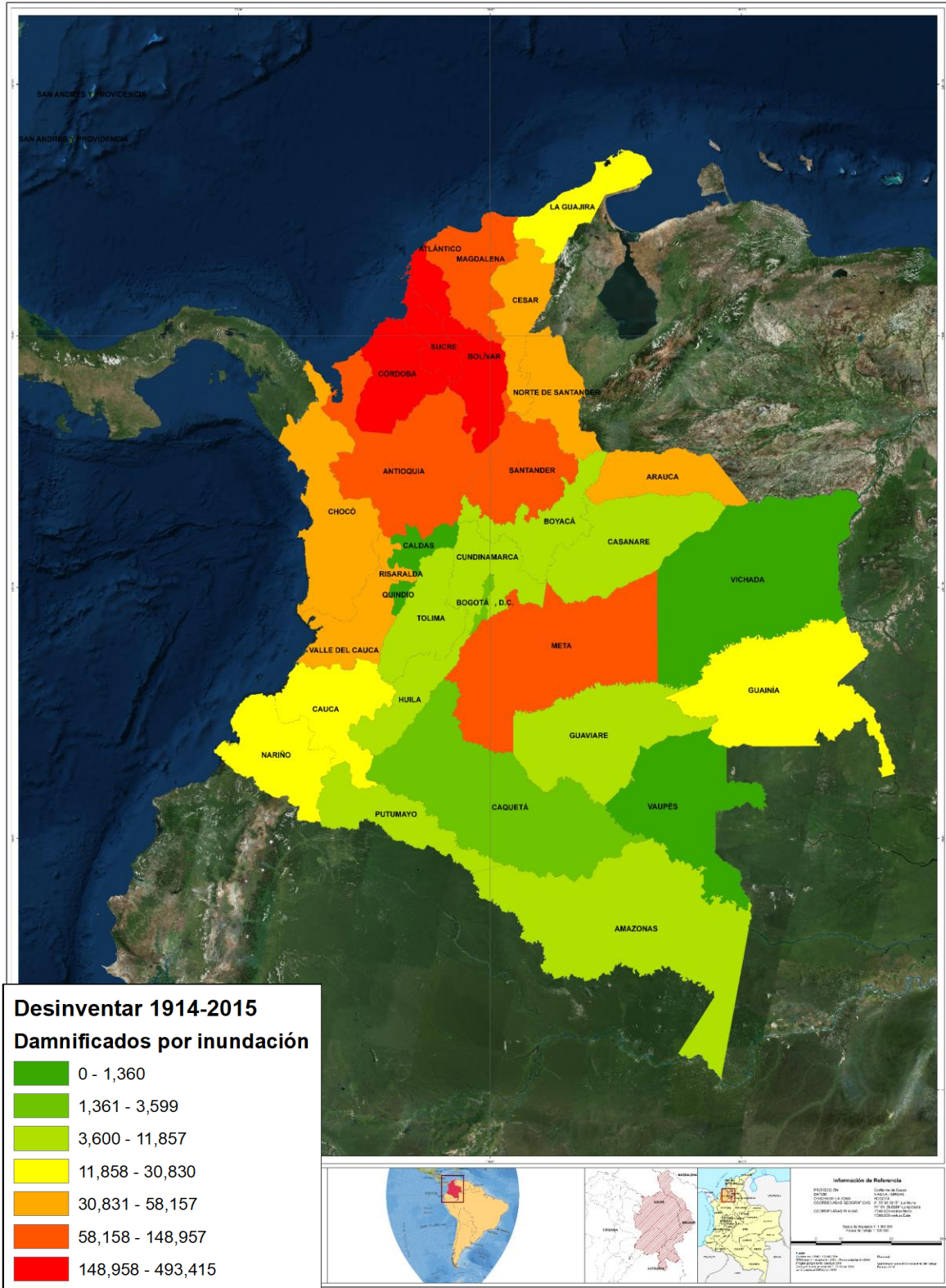
Respecto a la afectación en personas, los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Nariño, Chocó y Santander representan el 42% del total de personas fallecidas en el país por eventos de inundación, con 850 personas registradas distribuidas en los cinco departamentos (ver Mapa 1)

En términos de personas damnificadas, los departamentos mencionados anteriormente representan el 36% de participación. Por otro lado, para el caso de personas afectadas, los departamentos que más se destacan son Bolívar, Chocó, Magdalena, Sucre y Córdoba, con un 50% de participación sobre el total de personas afectadas en todo el país. Para el caso de personas damnificadas, los departamentos que se sobresalen son Bolívar, Córdoba y Sucre, los cuales representan el 57% del total (ver Mapa 2). Por otro lado, se evidencia que los departamentos con mayor participación en términos de viviendas afectadas han sido Chocó, Córdoba, Bolívar y Magdalena (ver Mapa 3). Con viviendas destruidas los departamentos de Nariño, Santander y Magdalena (ver Mapa 4). En estos departamentos se concentra más del 55% de viviendas afectadas en el país por inundación en el período analizado.



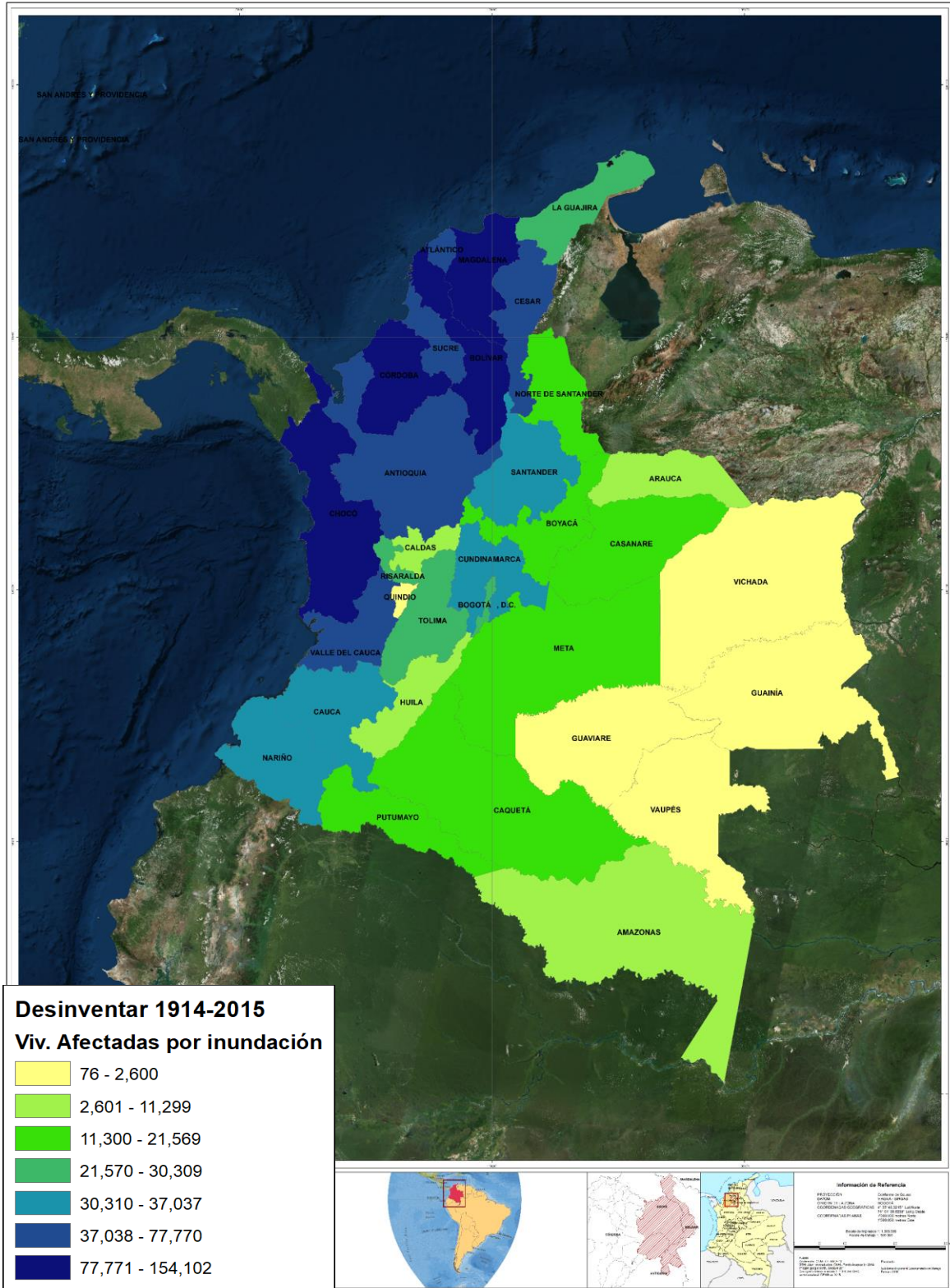
Mapa 1. Resumen departamental de número personas fallecidas por inundación para el período 1914–2015.

Fuente: Adaptado de DesInventar



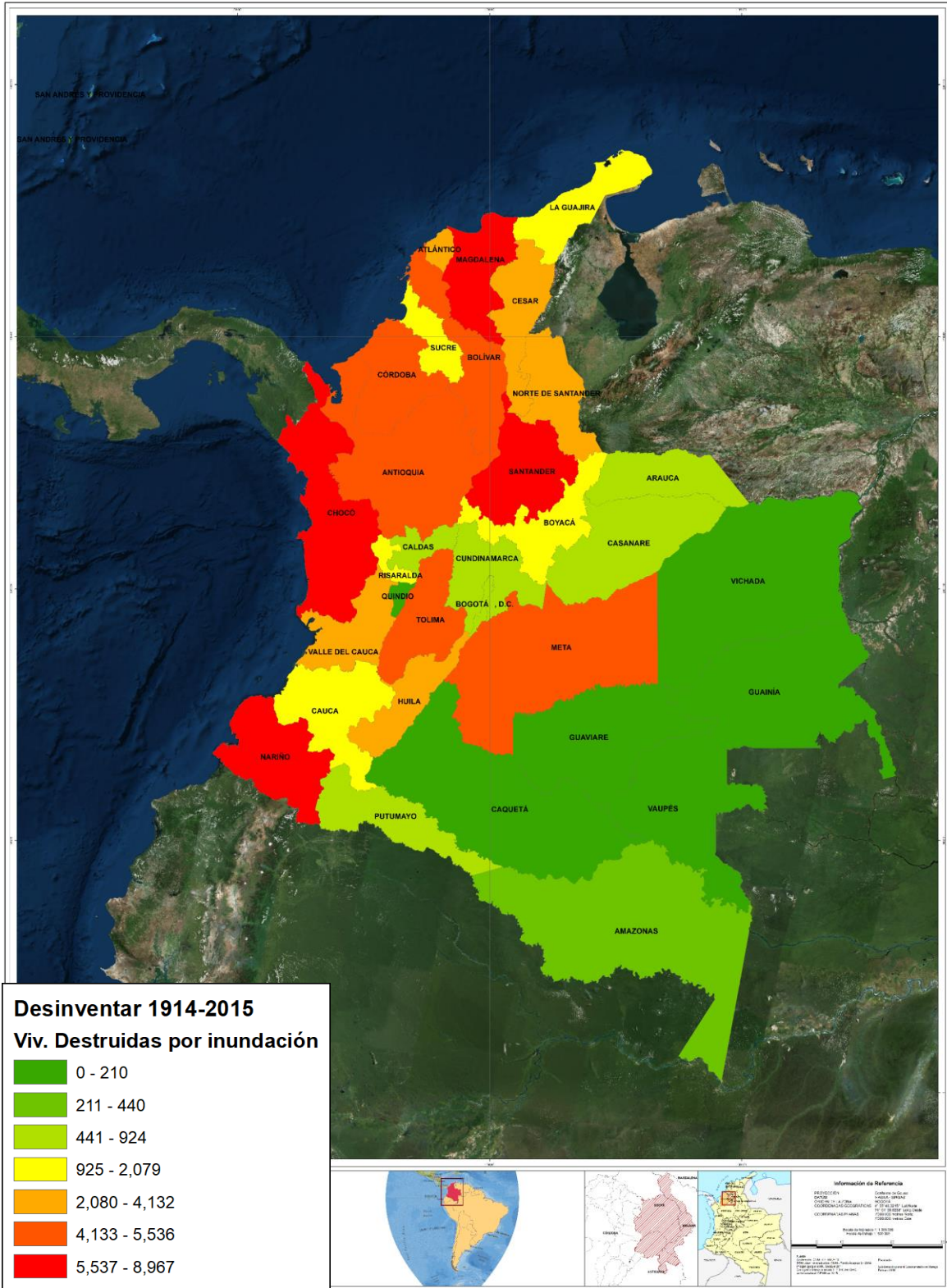
Mapa 2. Resumen departamental de número de personas damnificadas por inundación para el período 1914–2015.

Fuente: Adaptado de DesInventar



Mapa 3. Resumen departamental de número de viviendas afectadas por inundación para el período 1914–2015.

Fuente: Adaptado de DesInventar



Mapa 4. Resumen departamental de número de viviendas destruidas por inundación para el período 1914–2015.

Fuente: Adaptado de DesInventar

EM-DAT (Período consultado 1926 a 2017)

En el período consultado, fue recopilada información de afectación en personas en términos de número de muertos y número de afectados. Así mismo, para los aspectos relacionados con consecuencias materiales, se informan los daños en miles de dólares por inundación.

En la Tabla 3 se presenta el resumen de número de eventos, total de personas fallecidas y afectadas, y el valor de daños en miles de dólares generados por diferentes tipos de eventos de inundación entre 1926 y 2017.

Tabla 3. Afectaciones por tipo de inundación.

Tipo Inundación	Número de eventos	Total muertos	Total afectados	Total daños ('000 US\$)
Costera	2	14	11,050	-
Rápida	2	132	166,283	-
Lenta	46	2,212	10,195,629	3,452,500

Fuente: Adaptado de EM-DAT (Guha-Sapir & Below, 2017).

Con respecto al número de eventos, total de personas afectadas y fallecidas es evidente que históricamente las inundaciones de tipo lento son las que controlan las consecuencias tanto en términos de número de eventos ocurridos como en magnitud de los impactos sobre la población y los bienes de tipo material.

Tabla 4. Comparación de número de muertos y total de afectados para cada fuente de información.

Fuente de información	Total muertos	Total afectados
EM-DAT (1926 – 2017)	2358	10,372,962
DesInventar (1914 – 2015)	2022	17,035,091

En resumen, al comparar los registros de las bases de datos de DesInventar y de EM-DAT (ver Tabla 4), es posible concluir que las inundaciones y, más específicamente, las de tipo lento son los eventos que desde inicios del siglo XX han tenido mayor relevancia en Colombia. Esto, gracias a la alta ocurrencia de eventos que se presentan año a año, con diversas intensidades que generan afectaciones en personas y en bienes muebles e inmuebles. Si bien existen algunas diferencias en los datos registrados en las dos bases de datos, los órdenes de magnitud en términos de personas afectadas y fallecidas se encuentran dentro de un rango aceptable dadas las diferencias metodológicas que existen en el proceso de registro y reporte de la información.

Principales afectaciones en la historia reciente

El Fenómeno de La Niña 2010-2011 (comúnmente conocido como Ola Invernal 2010-2011) en la historia reciente del país, es uno de los eventos más significados asociados a las inundaciones. La ocurrencia de este evento y los impactos en personas, viviendas, infraestructura y en la economía del país aceleraron la promulgación de la Ley 1523 de 2012, por la cual se adoptó la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

Los detalles específicos sobre las características del evento y de sus consecuencias se encuentran documentados en la publicación hecha por el IDEAM titulada Impactos del fenómeno de la Niña en Colombia, 2010 (Euscátegui & Hurtado, 2011), la cual se actualizó posteriormente en el año 2011. La segunda referencia se titula *Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia, 2010-2011*, documento elaborado por el BID, en cooperación con la CEPAL en 2012 (BID & Cepal, 2012).

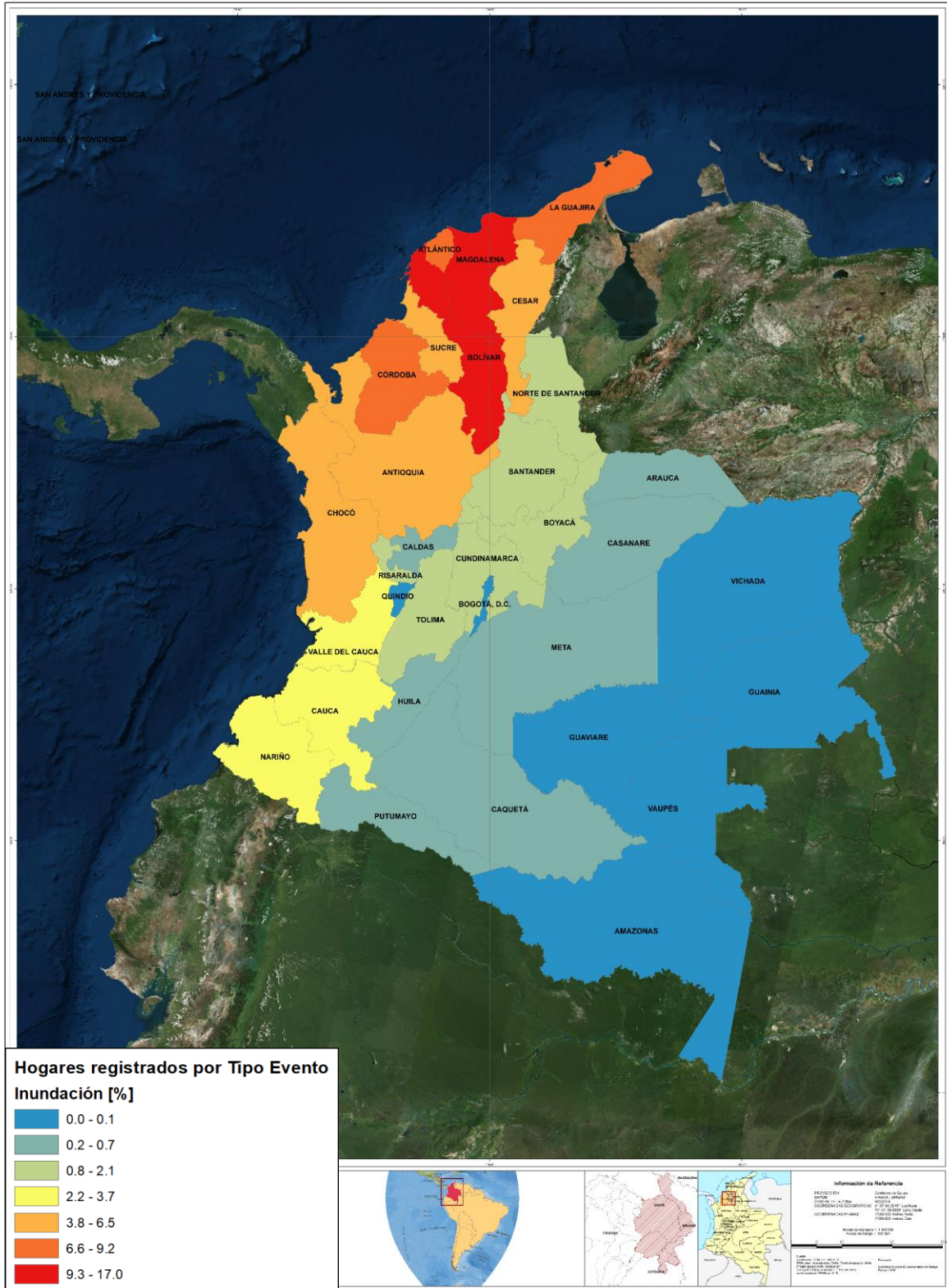
Los mapas de resumen que se presentan a continuación se basan en la segunda referencia y pretenden resumir las afectaciones sobre personas y bienes materiales que se presentaron en dicho evento, considerando específicamente los daños por inundación (ver Mapa 8), en los cuales se presentan salidas gráficas para el número de hogares registrados en el Registro único de Damnificados (RUD) por eventos de inundación, los daños materiales como porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) departamental, daños en bienes de consumo y, por último, el número de viviendas a reparar.

A partir del Mapa 5, se evidencia que los departamentos de Bolívar, Magdalena y Cauca son los que reportan un mayor número de personas afectadas, lo que corresponde al 29% del total reportado en el Registro Único de Damnificados (RUD), seguidos por Atlántico, Nariño, Antioquia, La Guajira, Valle del Cauca, Chocó, Sucre, Cesar y Tolima, con un porcentaje de participación de afectación por encima del 3% del total de registros.

El total de personas registradas en el RUD es de 3.219.239, de las cuales el 73% corresponde a damnificados y el 27% restante son afectados. Este grupo de personas registradas corresponde al 7% de la población total del país en el año 2011. De igual manera, el consolidado final de número de hogares registrados asciende a 874.464 (BID & CEPAL, 2012). Del grupo de hogares que se encuentran informados, el 73.6% resultó afectado específicamente por el evento de inundación debido a su alta concentración y exposición en las cuencas bajas, sobretodo en la macrocuenca Magdalena-Cauca.

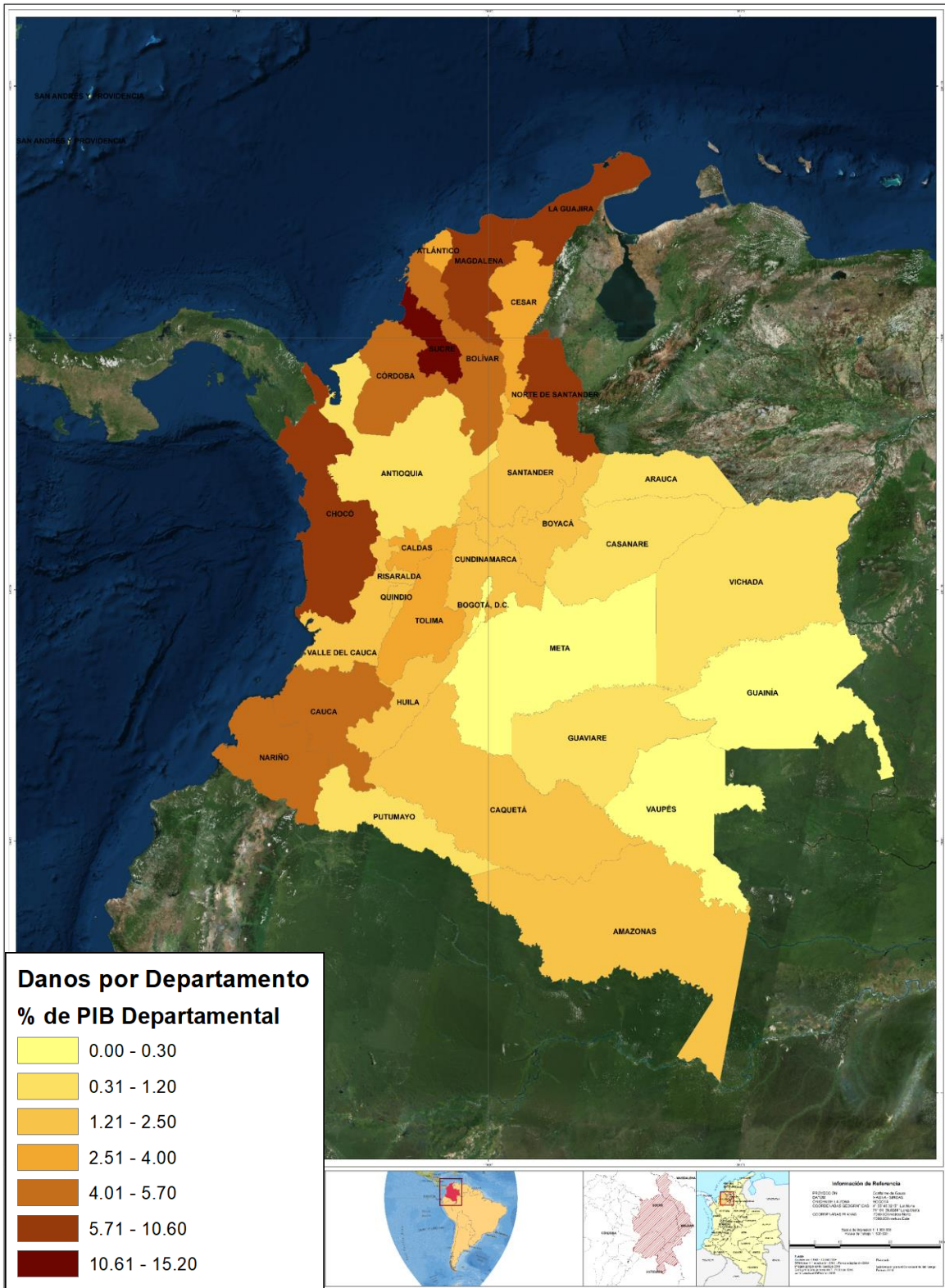
Adicionalmente, el Mapa 8 presenta el número de viviendas registradas que son clasificadas para reparación o para reconstrucción en cada departamento. Como resultado del evento, se registraron en el RUD 552.175 viviendas afectadas, de las cuales el 44% se localizan en zonas urbanas. Los departamentos de Atlántico, Bolívar, Cauca, Córdoba, La Guajira y Magdalena son los departamentos con mayor número de viviendas afectadas, con el 52.9% de participación sobre el total. A partir del RUD, para el área urbana el 16% de las viviendas deben ser reubicadas o reconstruidas, mientras que el 84% restante pueden repararse in situ (BID & CEPAL, 2012). Según la CEPAL (2012), los daños totales en viviendas se estiman en 2 billones de pesos y los departamentos con las áreas rurales más afectadas son, en su orden: Bolívar, Cauca, Córdoba, La Guajira y Magdalena con el 56.6% del total registrado

en el RUD. Los departamentos con mayor participación dentro de esta estimación de pérdidas a partir de las viviendas registradas son en su orden: Atlántico, Bolívar, Cauca, Córdoba, La Guajira y Magdalena, concentrando el 53.6% del total de daño en bienes muebles (ver Mapa 6 y Mapa 7).



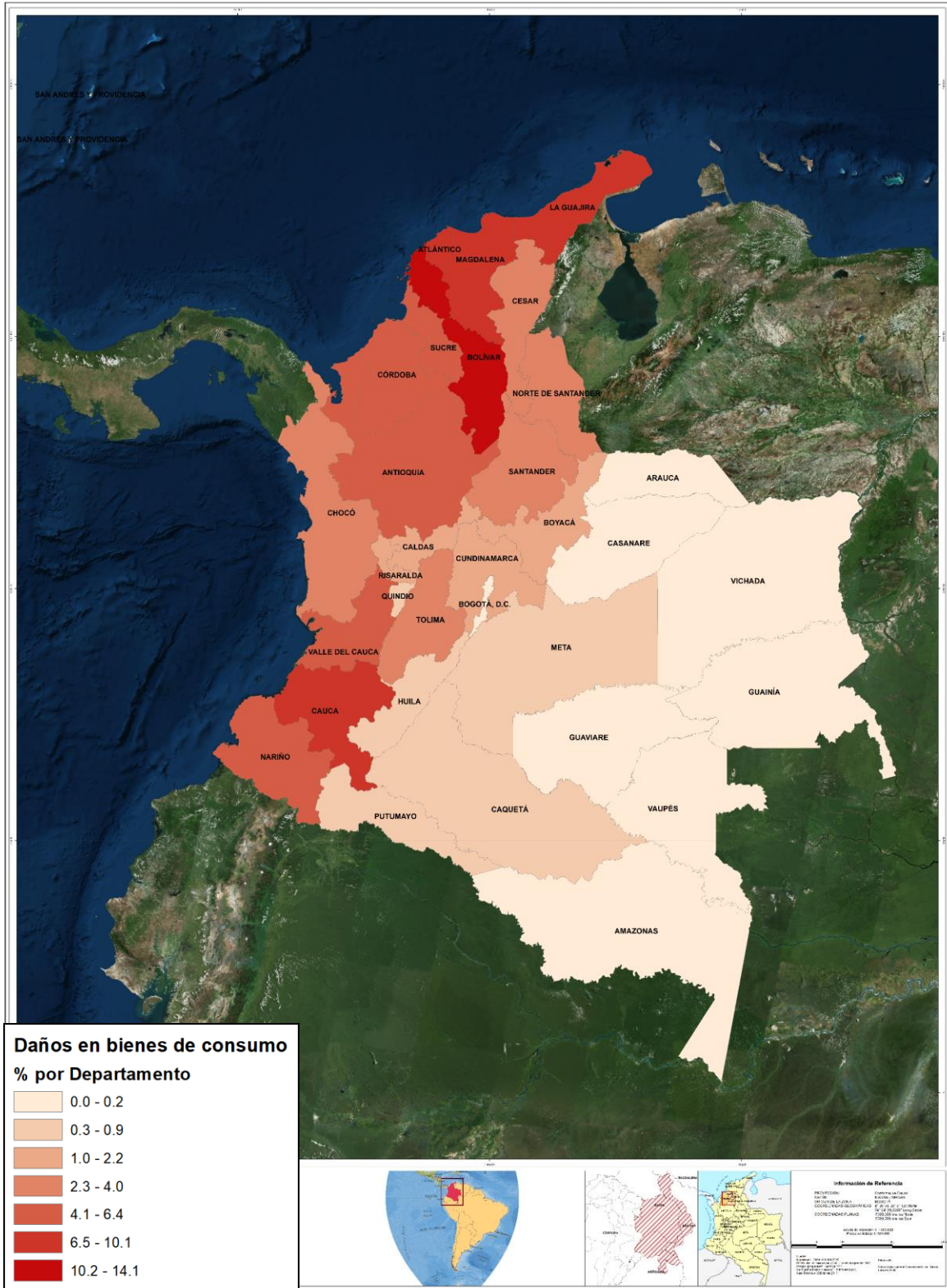
Mapa 5 Porcentaje de hogares registrados afectados por inundación

Fuente: Adaptado de (BID & CEPAL, 2012).



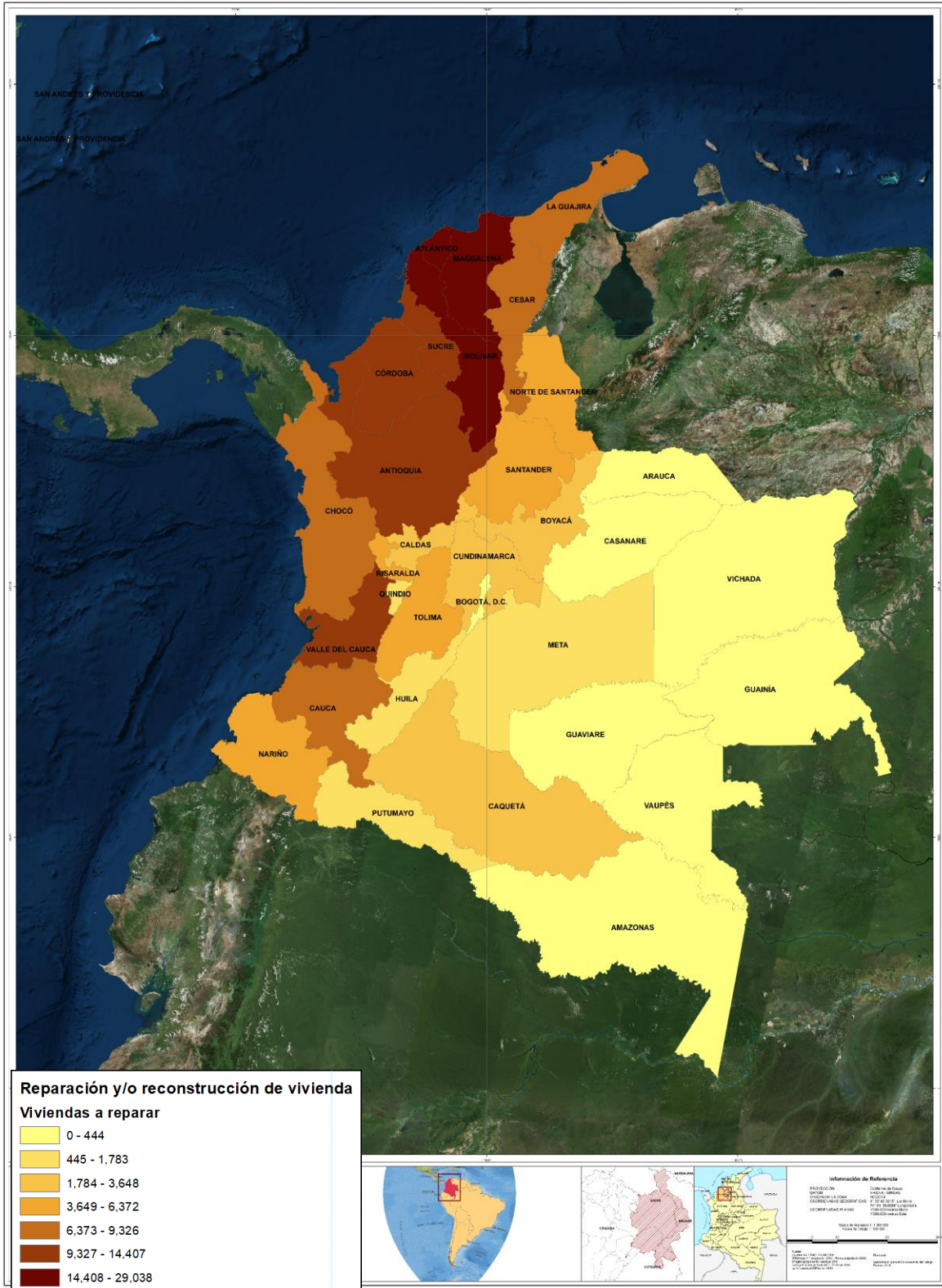
Mapa 6 Daños como porcentaje del PIB departamental.

Fuente: Adaptado de (BID & CEPAL, 2012).



Mapa 7 Daños en bienes muebles en porcentaje.

Fuente: Adaptado de (BID & CEPAL, 2012).



Mapa 8 Número de viviendas a reparar.

Fuente: Adaptado de (BID & CEPAL, 2012).

De acuerdo con BID & CEPAL (2012), en términos macroeconómicos, los efectos negativos del evento sobre la actividad económica fueron de 0.12 puntos porcentuales de la tasa de crecimiento del PIB, únicamente para el año 2010. Para el año 2011, según el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, dentro de los pasivos contingentes constituyentes del riesgo fiscal del país, las inundaciones representaron el 2.0% de la tasa de crecimiento del PIB, en comparación con la amenaza sísmica, la cual representa el 1.4%, y las demás amenazas participan aún en menor cuantía (ver Mapa 6).

A partir del Mapa 6 se observa que la mayor afectación se presenta, en su orden, en Sucre, Magdalena, Chocó, La Guajira, Norte de Santander, Cauca, Bolívar y Córdoba. En estos departamentos los sectores con mayor afectación son hábitat (44%) e infraestructura (38%). En el sector de hábitat, el más importante corresponde a vivienda, con un 38%.

A manera de resumen de lo presentado en los últimos apartados respecto de las inundaciones y sus efectos en el país, es posible concluir lo siguiente:

- Histórica y recientemente, los mayores impactos y efectos sobre las personas y los bienes muebles e inmuebles como consecuencia de la ocurrencia de eventos de inundación en el país se registran en los departamentos de Bolívar, Magdalena, Chocó, Atlántico, Córdoba, La Guajira, Sucre, Norte de Santander, Cauca, Cesar, Antioquia y Nariño.

Esto ocurre debido a una multiplicidad de factores, pero es posible resumirlos en función de las condiciones de amenaza y exposición. En términos de amenaza por inundación, dichos departamentos se encuentran localizados en las macrocuencas Magdalena-Cauca y Pacífico, lo cual genera que la probabilidad de ocurrencia de eventos de inundación a nivel rural y urbano sea considerablemente alta, sobre todo en las zonas de cuenca baja, dadas unas condiciones topobatimétricas que favorecen la ocurrencia del fenómeno.

Considerando el nivel de exposición, de acuerdo con las proyecciones de población del DANE (DANE, 2012) para 2017, en los departamentos mencionados se concentra el 39.5% de la población del país con un total de 19.500.774 habitantes. Por ende, no solo se encuentran condiciones propicias a nivel topográfico o hidroclimático para la ocurrencia de eventos de inundación, sino que en dichas zonas se encuentra concentrado casi el 40% de la población total del país y, como consecuencia, el valor expuesto del país en términos de hábitat e infraestructura que puede experimentar daños y afectaciones.

- Los mayores impactos de los eventos de inundación comúnmente se presentan en los hogares que pierden la habitabilidad de sus viviendas y en las regiones y/o comunidades que se encuentran aisladas por vía terrestre o que tienen serios problemas de comunicación. Debido a las implicaciones sociales, se deben considerar también los daños en los sectores de servicios, específicamente en el de agua potable, salud y educación. En el sector productivo, las afectaciones comúnmente se concentran en los sectores agrícola y de producción energética.

- Respecto a los pasivos contingentes que constituyen el riesgo fiscal del país, las inundaciones representan el primer renglón de importancia dentro de las amenazas naturales, con una participación de 2.0% sobre la tasa de crecimiento del PIB, por encima de eventos sísmicos, que representan el 1.4%, y muy por encima de otros eventos que no se encuentran rigurosamente reportados.
- Histórica y recientemente, en términos de número de eventos ocurridos, afectación a personas y en viviendas se evidencia que los eventos de inundación son los mayores causantes de impactos y consecuencias en el país a nivel social y económico, por encima de los sismos, actividad volcánica, entre otros. En este sentido, más específicamente, son las inundaciones de tipo lento las mayores generadoras de afectaciones en personas y materiales a lo largo de la historia del país (ver Tabla 3).

Considerando exclusivamente los impactos generados por el evento del Fenómeno de La Niña 2010–2011 es posible identificar que: aun cuando los eventos de inundación ocurridos son mayoritariamente de tipo lento en los departamentos de la cuenca baja de la macrocuenca Magdalena Cauca, es decir, Antioquia, Sucre, Magdalena, Bolívar, Córdoba y Atlántico, y son zonas en las que a pesar que existe una adaptación y convivencia con eventos de inundación por parte de la población, especialmente en la región de la Depresión Momposina, no son zonas que se encuentren exentas de que se presenten cuantiosas pérdidas y daños económicos en bienes muebles e inmuebles (ver Tabla 3 y Mapa 8) que afectan a la población. Por tanto, es factible hablar de niveles de adaptabilidad de comunidades frente a los eventos de inundación lenta en el país, pero es muy importante tener en cuenta que, tanto a nivel histórico como reciente, los medios de vivienda y subsistencia de dichas comunidades se han visto afectados por la frecuencia con la que ocurren eventos de este tipo, así como por la intensidad con la que se presentan y generan consecuencias sobre los diferentes sectores sociales y productivos de las regiones.

Conceptos y terminología relacionados con la gestión del riesgo de desastre

Esta sección se ocupa de la definición de un grupo de términos relacionados con el marco conceptual de la reducción del riesgo de desastre (RRD) y, en particular, con la EPR a la luz de lo dispuesto en la Ley 1523 de 2012, entre otras fuentes. La totalidad de términos de los lineamientos se encuentran en la sección del Glosario.

Amenaza. 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.

Análisis y evaluación del riesgo: Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos para determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación.

Conocimiento del riesgo: Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre.

Desastre: Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en la personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del SNGRD ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción.

Exposición (elementos expuestos): Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden afectarse por la manifestación de una amenaza.

Gestión del riesgo: Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entendiéndose: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

Intervención: Corresponde al tratamiento del riesgo mediante la modificación intencional de las características de un fenómeno con el fin de reducir la amenaza que representa o de modificar las características intrínsecas de un elemento expuesto con el fin de reducir su vulnerabilidad.

Prevención de riesgo: Medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible.

Reducción del riesgo: Es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar un nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera.

Reglamentación restrictiva: Disposiciones cuyo objetivo es evitar la configuración de nuevo riesgo mediante la prohibición taxativa de la ocupación permanente de áreas expuestas y propensas a eventos peligrosos. Es fundamental para la planificación ambiental y territorial sostenible

Reglamentación prescriptiva: Disposiciones cuyo objetivo es determinar en forma explícita exigencias mínimas de seguridad en elementos que están o van a estar expuestos en áreas propensas a eventos peligrosos con el fin de preestablecer el nivel de riesgo aceptable en dichas áreas.

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.

Vulnerabilidad: 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 afectarse por eventos físicos peligrosos.

Ordenamiento: Otro aspecto importante a analizar es el concepto de ordenamiento, que acorde con la Ley 388 de 1997 "comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, emprendidas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas, en ejercicio de la

función pública que les compete, dentro de los límites fijados por la Constitución y las leyes, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales” (Congreso de Colombia, Ley 388 de 1997, 1997).

A partir de lo dispuesto en el Decreto 1807 (Ministerio de Vivienda, 2014) hay tres conceptos fundamentales que están relacionados con la incorporación de la GRD al ordenamiento territorial y que se deben considerar dentro de los alcances de los lineamientos presentados en este documento:

- **Áreas con condición de amenaza:** Son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo Plan de Ordenamiento Territorial (POT) la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.
- **Áreas con condición de riesgo:** Corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que están urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos.
- **Delimitación:** Consiste en la identificación del límite de un área determinada, mediante un polígono. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.
- **Zonificación:** Es la representación cartográfica de áreas con características homogéneas. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.

Por su parte, la Ley 1523 de 2012 también presenta conceptos importantes para este documento, entre los que se destacan:

- **Análisis y evaluación del riesgo:** Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación.
- **Conocimiento del riesgo:** Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre.
- **Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres:** Es el conjunto de entidades públicas, privadas y comunitarias, de políticas, normas, procesos, recursos, planes, estrategias, instrumentos,

mecanismos, así como la información atinente a la temática, que se aplica de manera organizada para garantizar la gestión del riesgo en el país.

Por último, el documento CONPES 3807 presenta conceptos útiles para comprender la inclusión del riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial. Los principales son (DNP, 2016):

- **El Plan de Ordenamiento Territorial (POT):** Instrumento útil para regular, durante un término de 12 años, la utilización, transformación y ocupación del espacio físico en el largo plazo de los distritos y municipios. Hay tres tipos de POT según el número de habitantes y la complejidad de las dinámicas territoriales de los municipios. POT para municipios con población superior a 100.000 habitantes; Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) para municipios con población entre 30.000 y 50.000 habitantes; y Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) para municipios con población inferior a 30.000 habitantes.
- **Modelo de ocupación territorial:** Es aquel que fija de manera general la estrategia de localización y distribución espacial de las actividades, determina las grandes infraestructuras requeridas para soportar estas actividades y establece las características de los sistemas de comunicación vial que garantizarán la fluida interacción entre aquellas actividades espacialmente separadas.
- **Suelo de protección:** Constituido por las zonas y áreas de terreno localizados dentro de cualquiera de los suelos urbanos, de expansión o rurales, que tienen restringida la posibilidad de urbanizarse, por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos.

Normatividad en los procesos de incorporación de las evaluaciones de riesgo en la planificación territorial

A continuación, se presentan en orden cronológico los principales instrumentos normativos para la planificación y ordenamiento del territorio y los aspectos más relevantes respecto de la amenaza por inundación en el país.

Tabla 5. Marco normativo relativo a la incorporación de la GRD por inundación al ordenamiento territorial.

Normativa	Aspectos relevantes: principal objetivo
Ley 99 de 1993 (Congreso de Colombia, 1993)	Se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se reorganiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA).

Ley 388 de 1997 (Congreso de Colombia, 1997)	“El establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes”.
Decreto 1469 de 2010 (MAVDT, 2010)	“Se reglamentan las disposiciones relativas a las licencias urbanísticas; al reconocimiento de edificaciones; a la función pública que desempeñan los curadores urbanos y se expiden otras disposiciones”.
Decreto Ley 19 de 2012 (Presidencia de la República, 2012)	“Se dictan normas para suprimir o reformar regulaciones, procedimientos y trámites innecesarios existentes en la Administración Pública” En el artículo 189 se dicta la incorporación de la gestión del riesgo en la revisión de los planes de ordenamiento territorial.
Ley 1523 de 2012 (Congreso de Colombia, 2012)	Se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.
Decreto 1640 de 2012 (MADS, 2012)	Se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos.
Decreto 1807 de 2014 (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014)	Se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 19 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los POT.
Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (DNP, IDEAM, MADS, & UNGRD, 2014)	Define los objetivos, programas, acciones, responsables y presupuestos, mediante las cuales se ejecutan los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres en el marco de la planificación del desarrollo nacional. Entre sus objetivos estratégicos están: mejorar el conocimiento del riesgo de desastres en el territorio nacional y reducir las condiciones existentes de riesgo.
Decreto 1076 de 2015 (MAVDT, 2015a)	Compila las normas reglamentarias preexistentes dadas para el Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, dentro de las cuales se encuentra el Decreto 1807 de 2014, en lo referente a la incorporación del riesgo en el ordenamiento territorial.
Decreto 1077 de 2015 (MAVDT, 2015b)	Se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.
Decreto 298 de 2016 (MADS, 2016)	Define las funciones de la Comisión Intersectorial de Cambio Climático (CICC), entre ellas, la de coordinar la articulación del Sisclima (Sistema Nacional de Cambio Climático) con otros sistemas, programas y redes que participen en las acciones de cambio climático y gestión del riesgo de desastres.

	Precisa la finalidad de los Nodos Regionales de Cambio Climático, entre ellas, la adaptación en materia de cambio climático, articulada con los procesos de planificación y ordenamiento territorial y gestión integral del riesgo.
Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2016)	Ser el instrumento del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres creado por la Ley 1523, que define los objetivos, programas, acciones, responsables y presupuestos, mediante las cuales se ejecutan los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres en el marco de la planificación del desarrollo nacional.
Conpes 3870 de 2016 (DNP, 2016)	Orientar y asistir técnica y financieramente a las entidades territoriales para fortalecer sus capacidades en materia de ordenamiento territorial y sus instrumentos de gestión de la expansión urbana y de desarrollo armónico entre el campo y la ciudad.

Fuente: Adaptado de UNGRD (2017^o), (BID & CEPAL, 2012) e (IDEAM et al., 2012)

Metodología General

En términos metodológicos, el Decreto 1807 de 2014 establece la evaluación del riesgo como “el resultado de relacionar la zonificación detallada de amenaza y la evaluación de la vulnerabilidad. Con base en ello, se categorizará el riesgo en alto, medio y bajo, en función del nivel de afectación esperada”. Con el objetivo de dar cumplimiento a esta normativa, la metodología general que se plantea en el presente documento para la evaluación de riesgo por inundación lenta tiene un enfoque probabilista en la modelación de la amenaza, vulnerabilidad física y riesgo. De manera adicional se plantea el diagnóstico y evaluación de la vulnerabilidad social a partir de la metodología planteada en el documento “Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres” (UNGRD-IEMP, 2017). En este capítulo se presentan las consideraciones generales de la metodología planteada en sus componentes principales para la escala de trabajo de los estudios detallados reglamentados por el Decreto 1807 de 2014.

En las últimas dos décadas, a raíz del cambio de paradigma desde el control de inundaciones a la gestión del riesgo por inundaciones a nivel mundial, han sido propuestas numerosas metodologías y esfuerzos de estimación del riesgo tanto a escala global (Salazar, 2013), como por ejemplo el Global Assessment Report (GAR 2013 y 2015) (UNISDR, 2015), pasando por escalas nacionales (de Moel et al., 2015), hasta escalas regionales (ver Cardona, 2017) y locales. Si bien los marcos de referencia de las metodologías utilizadas siguen un enfoque similar, existen diferencias considerables entre los enfoques que se abordan según la escala de análisis. A continuación, se presenta un resumen de las características principales de las metodologías existentes a partir de la escala de análisis. Dentro de los aspectos relevantes que se presentan para cada escala, se detallan ejemplos de proyectos y/o experiencias que se hayan adelantado, resolución espacial del modelo digital de elevación utilizado para dicho proyecto, el método general utilizado para la evaluación de riesgo, consideraciones de incertidumbre y validación del modelo y, por último, el uso social que tuvo el proyecto.

Tabla 6. Revisión de características principales de ER por inundación a diferentes escalas de análisis.

Escala de análisis	Aspecto relevante	Observación
Supra nacional –	Ejemplos:	GAR 2011, 2013 & 2015
Escala global & continental	Resolución Modelo Digital de Elevación (MDE):	1-10 Km
	Método:	<ul style="list-style-type: none"> Modelos globales de inundación fluvial
	Estimación de amenaza y daño	<ul style="list-style-type: none"> Altura de marea para inundación costera Consecuencias en términos de mallas de PIB o población afectada en zonas de inundación a partir de modelos probabilistas o deterministas.
	Incertidumbre y validación:	<ul style="list-style-type: none"> Incertidumbre ontológica en términos de la no inclusión de obras de protección de inundaciones existentes

		<ul style="list-style-type: none"> Validación a partir de datos globales de daños y consecuencias (Por ejemplo: EM-DAT, DesInventar, NatCatSERVICE, entre otras)
	Uso social:	<ul style="list-style-type: none"> Fondos de alivio de desastres Re aseguramiento
Macro – Escala nacional	Ejemplos:	Unión Europea – Floods Directive 2007/60/ec
	Resolución:	100 m – 1 Km
	Método:	<ul style="list-style-type: none"> Modelos genéricos de estimación de amenaza.
	Estimación de amenaza y daño	<ul style="list-style-type: none"> Agregación de simulaciones hidráulicas Estimación de daño en términos de usos del suelo y funciones de daño a partir de modelos deterministas.
	Incertidumbre y validación:	<ul style="list-style-type: none"> Similar a la de escala Supra Nacional. Dificultad para generar una evaluación consistente a nivel nacional considerando todos los tipos de inundación.
	Uso social:	<ul style="list-style-type: none"> Programas de aseguramientos a nivel nacional Comunicación y concientización de la comunidad Focalización de regiones que requieren estudios de detalle con fines de ordenamiento territorial
Meso – Escala regional & provincial	Ejemplos:	POMCAS, Proyecto La Mojana
	Resolución:	20 – 100 m
	Método:	<ul style="list-style-type: none"> Amenaza en términos de información hidrológica recopilada en campo y/o modelos lluvia escorrentía combinados con modelación hidrodinámica 0D, 1D, 2D o acoplada 1D+2D
	Estimación de amenaza y daño	<ul style="list-style-type: none"> Daño en términos de usos del suelo y funciones de daño considerando intensidades de inundación para enfoques probabilistas o deterministas.
	Incertidumbre y validación:	<ul style="list-style-type: none"> Práctica común el hecho de asumir una misma frecuencia de excedencia para eventos distribuidos a lo largo de la región de análisis. En caso de ser incluidas, se tiene una alta incertidumbre de las obras de control de inundaciones en términos de sus probabilidades de fallo.
	Uso social:	<ul style="list-style-type: none"> Priorización de proyectos de inversión Soporte y apoyo a los procesos de planeación departamental y municipal Comunicación y concientización de la comunidad
Micro – Escala local, ciudades y centros poblados	Ejemplos:	Evaluaciones probabilistas del riesgo por inundación lenta para las cabeceras municipales de Mompox y Magangué (Bolívar), Montelíbano (Córdoba) y San Marcos (Sucre) en Colombia.
	Resolución:	1 – 25 m

Método: Estimación de amenaza y daño	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos hidrológicos con información en campo y/o de lluvia escorrenfía combinados con modelación hidrodinámica 2D. • Estimación de daño en términos probabilistas o deterministas considerando funciones de daño para diferentes elementos expuestos a partir de medidas de intensidad de inundación como, por ejemplo; tirante hídrico y/o velocidad media de flujo.
Incertidumbre y validación:	<ul style="list-style-type: none"> • Modelación hidráulica (epistémica) • Probabilidad de falla de obras de protección (epistémica) • Probabilidad de ocurrencia del evento (aleatoria) • Daño y consecuencia en elementos expuestos (epistémica) • Valor y caracterización estructural de los elementos expuestos (epistémica)
Uso social:	<ul style="list-style-type: none"> • Insumo para evaluación y selección de medidas específicas de reducción del riesgo. • Insumo para el ordenamiento territorial vinculando la GRD por inundación a escala urbana y local • Optimización de inversión. Análisis beneficio-costos • Comunicación y concientización de la comunidad

Fuente: Adaptado de (de Moel et al., 2015)

Considerando la Tabla 6 se concluye que la escala de análisis, las metodologías y el uso de las Evaluaciones de Riesgo (ER) se encuentran estrechamente ligadas. Por un lado, en escalas globales y nacionales, las ER por inundaciones realizadas bajo una metodología exhaustiva soportan los esquemas de reaseguramiento y/o pueden constituirse como insumos valiosos a organizaciones internacionales en la identificación de regiones vulnerables del planeta con el objetivo de priorizar inversiones en conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y/o manejo de desastres. Por otro lado, en escalas regionales y locales, las ER por inundación pueden conducir a evaluaciones de detalle para la propuesta y selección de medidas específicas de reducción del riesgo y la optimización de las inversiones por medio de análisis detallados de beneficio costo de medidas de intervención.

Valorando las consideraciones mencionadas referentes al método de estimación de amenaza y daño, la escala de análisis para la cual se plantean los lineamientos y adicionalmente que los “modelos probabilistas de evaluación de riesgo, proporcionan una metodología rigurosa para evaluar las pérdidas potenciales por eventos amenazantes antes de que ocurran” (Yamín et al, 2013), se propone que en el marco de los “Lineamientos Metodológicos para el desarrollo de estudios de Evaluación Probabilista del Riesgo (EPR) por inundación lenta” se enfoquen y sugieran el uso de modelos probabilistas para la estimación del riesgo para los suelos urbanos, para dar cumplimiento con los requerimientos del Decreto 1807 de 2014 respecto a la incorporación de la gestión del riesgo por inundación en los POT para estudios de detalle a escala 1:2.000.

De manera general, el proceso de EPR debe estar en capacidad de estimar la frecuencia con la que se presentarán pérdidas o daños que superen un valor dado (Yamín et al, 2013). El procedimiento que se sigue para la EPR consiste en determinar las consecuencias económicas, sociales, ambientales, humanas, etc. “en el grupo de elementos expuestos dada la ocurrencia de un escenario, que colectivamente describe la amenaza natural para, posteriormente, integrar los resultados de manera probabilista” (Melchers, 1999).

Para la EPR, el riesgo debido a amenazas naturales es comúnmente expresado en términos de la Curva de Excedencia de Pérdidas (CEP), la cual especifica la frecuencia, típicamente anual, de la ocurrencia de pérdidas. Esta frecuencia anual también es comúnmente conocida como la tasa de excedencia y es definida por la siguiente expresión reconocida ampliamente en aplicaciones de ingeniería sísmica y estructural (Esteva, 1967) en (Torres, Jaimes, Reinoso, & Ordaz, 2014). Esta expresión ha sido utilizada en el país en proyectos de evaluación probabilista del riesgo por inundaciones, como por ejemplo en el Proyecto La Mojana (Cardona, 2017).

$$v(p) = \sum_{i=1}^{\text{eventos}} \Pr(P > p | \text{Evento } i) \cdot f_A(\text{Evento } i)$$

Ecuación 1.

La anterior expresión relaciona la tasa de excedencia de la pérdida $v(p)$ con la probabilidad de que la pérdida sea superior a p , dado que ocurrió el i -ésimo evento $\Pr(P > p | \text{Evento } i)$, afectada por la frecuencia de ocurrencia del evento. Al resultado de esta ecuación se conoce comúnmente como la CEP.

Por su parte, la modelación probabilista de la amenaza, cualquiera que esta sea, consiste en determinar la intensidad de cada uno de los eventos que la describan de manera colectivamente exhaustiva en cada punto del terreno, así como también la frecuencia anual de ocurrencia de cada uno de dichos eventos. Los valores estimados de intensidad de la amenaza para cada punto en el terreno se combinan por medio de un proceso de convolución con la vulnerabilidad de cada uno de los elementos expuestos, la cual, dependiendo del tipo de amenaza que se evalúe, debe ser modelada y analizada con el objetivo de caracterizar la respuesta física, social, ambiental, etc. de cada uno de los elementos expuestos frente a la amenaza (Cardona, 2017; ERN - AL, 2011; Ordaz, Torres, & Domínguez, 2013; Torres et al., 2014).

El estado del arte completo en términos de la concepción y desarrollo de las evaluaciones de riesgo a nivel general y, en particular, para el caso de inundaciones se presenta en el documento “Evaluación Probabilista del Riesgo por inundación lenta en las cabeceras municipales de San Marcos (Sucre), Montelíbano (Córdoba), Mompox (Bolívar) y Magangué (Bolívar)” (UNGRD, 2018)(2018).

Componentes para el análisis del riesgo por inundación

En la Figura 2 se presenta un esquema metodológico específico para la evaluación de riesgo por inundaciones planteado por Merz & Thieken (2004). Bajo este esquema metodológico se plantean los tres componentes específicos para el cálculo y análisis de riesgo:

- Amenaza por inundación
- Modelo de exposición
- Análisis de vulnerabilidad física
- Evaluación de vulnerabilidad social

Para, posteriormente, estimar el daño mediante la estimación de la curva de riesgo o curva de excedencia de pérdidas en las dimensiones de interés (monetarias, sociales, ambientales, etc.).

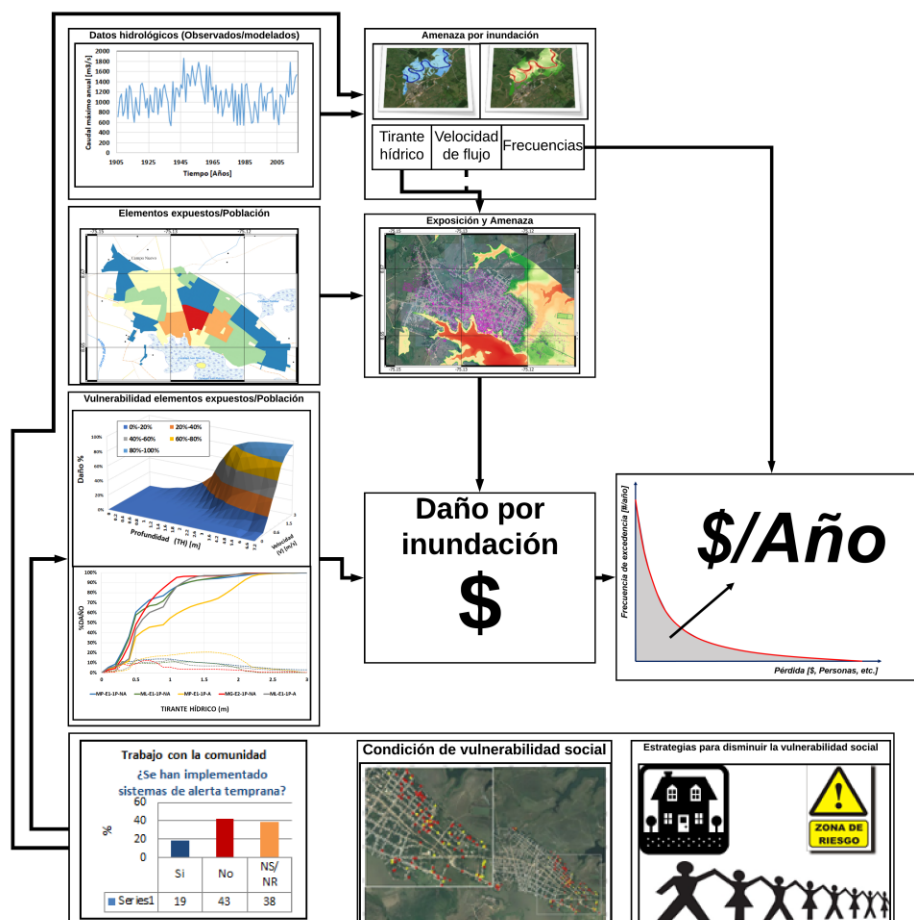


Figura 2. Esquema conceptual de análisis de riesgo por inundación.

Fuente: Adaptado de (Merz & Thieken, 2004), referenciado en (de Moel et al., 2015).

Amenaza por inundación lenta

Introducción

Los presentes lineamientos contienen enfoques metodológicos para el análisis de amenaza por inundación. Se pretende en primera instancia exponer herramientas de análisis hidrológicos e hidráulicos necesarias para elaborar una modelación hidrodinámica a escala detallada. Al igual que orientar la presentación de los resultados de la amenaza, a nivel de salida gráfica. La elaboración de los mapas de amenaza por inundación requiere de procesos sistemáticos en los cuales se deben especificar los conjuntos de datos en que se basarán los mapas y la metodología que se implementará. Dado lo anterior, en este documento se incluyen métodos y/o modelos para la generación de la amenaza por inundación, de tal manera que dichos resultados sean herramientas fundamentales para los usuarios en la toma de decisiones en cuanto a medidas predictivas, preventivas y correctivas de sus territorios. Adicionalmente provee los insumos necesarios para integrar los resultados de la amenaza, al proceso de Evaluación Probabilista del Riesgo (EPR) por inundación.

Con los resultados de la modelación en cuanto a magnitudes de intensidades de tirante hídrico (T_h) – velocidad de flujo (V), se pueden construir los mapas de zonificación de amenaza por inundación, considerando las especificaciones del Decreto 1807, en el análisis detallado de amenaza por inundación, con los cuales las diferentes entidades territoriales pueden iniciar el proceso de generación del análisis de riesgo y atención de emergencias frente a la ocurrencia de un evento, y/o la inclusión en el ordenamiento territorial del municipio. Los mapas de amenaza de inundación hacen parte de las medidas preventivas de tipo no estructural para la gestión integral del riesgo de inundaciones a través de la Evaluación Probabilista del Riesgo.

Objetivos

El objetivo principal de este capítulo es servir de referencia para la elaboración, revisión, aprobación, o interpretación de estudios de la amenaza por inundación, como insumo fundamental para la EPR por inundación lenta. Los objetivos específicos son:

- Obtener la amenaza por inundación específicamente en los cascos urbanos seleccionados, representada principalmente por magnitudes de intensidades como; velocidad de flujo (V) y el tirante hídrico (TH) para diversos escenarios de caudales, es decir, magnitudes que igualen o excedan un intervalo de recurrencia dado (p. ej. Periodos de retorno de 2.33, 25, 100 años, entre otros) y tiempos de permanencia de la inundación para eventos continuos, es decir, series de caudales que correspondan a periodos de ocurrencia de eventos extremos (ENSO La Niña) y recurrentes de inundaciones.

- Orientar técnicamente a las autoridades regionales y locales en cuanto a la elaboración de estudios detallados de amenaza por inundación en sus áreas de jurisdicción.
- Identificar las herramientas conceptuales y metodológicas apropiadas para los estudios de amenaza por inundación, en aras de garantizar que éstos cumplan con un rigor técnico enmarcado en los avances que ofrece la academia y la institucionalidad.

Alcance

El alcance del componente hidrológico es determinar las probabilidades de ocurrencia de determinados eventos, expresados como caudales para periodos de retorno (T_r) con base en el análisis de frecuencia de eventos extremos. Adicionalmente se toma en consideración la caracterización de series continuas de eventos históricos en los cuales se refleje la variabilidad del régimen hidrológico del sistema hídrico con la presencia de eventos ENSO. Igualmente se presentan estrategias metodológicas que permiten abordar este componente en condiciones de información escasa.

De otro lado, a partir de la modelación hidráulica, proveer información gráfica de la inundación ocurrida y esperada, tal como, alturas de la lámina de agua, profundidades, velocidades del flujo, extensión de la inundación y tiempo de permanencia, ya sea para un evento de una probabilidad dada o varias probabilidades determinadas a partir del tránsito de los caudales determinados en el análisis hidrológico de la inundación.

Cabe aclarar que estos lineamientos pretenden ser una guía con una recopilación de las mejores metodologías disponibles y aplicadas en la actualidad en Colombia, tanto para la modelación hidrológica, hidráulica y espacial. Por lo tanto, es claro que el criterio profesional siempre será la base fundamental para el análisis de las inundaciones.

Detalles metodológicos

La metodología para la elaboración del componente de amenaza por inundación de los lineamientos propuestos se basa en la “Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación” (IDEAM, 2017), la cual contiene algunos enfoques metodológicos para el análisis de inundaciones y la elaboración de distintos mapas de inundación en función de la escala y su respectiva aplicación.

En la Figura 3 se presenta de manera resumida los diferentes tipos de mapas de inundación que se pueden elaborar en función del objetivo del análisis de la inundación. Lo primero que se debe definir es dicho objetivo teniendo en cuenta el uso y los usuarios de dicho mapa de inundación, e identificar la información básica necesaria para su elaboración, la metodología o metodologías por las que se puede elaborar dicho mapa y los respectivos productos que se pueden obtener.

Teniendo en cuenta lo anterior y el objetivo de los presentes lineamientos, el tipo de mapa de inundación a elaborar es el de amenaza, el cual provee información de las magnitudes de intensidad como tirante hídrico (TH), velocidad de flujo (V) y la permanencia de la inundación, principalmente.

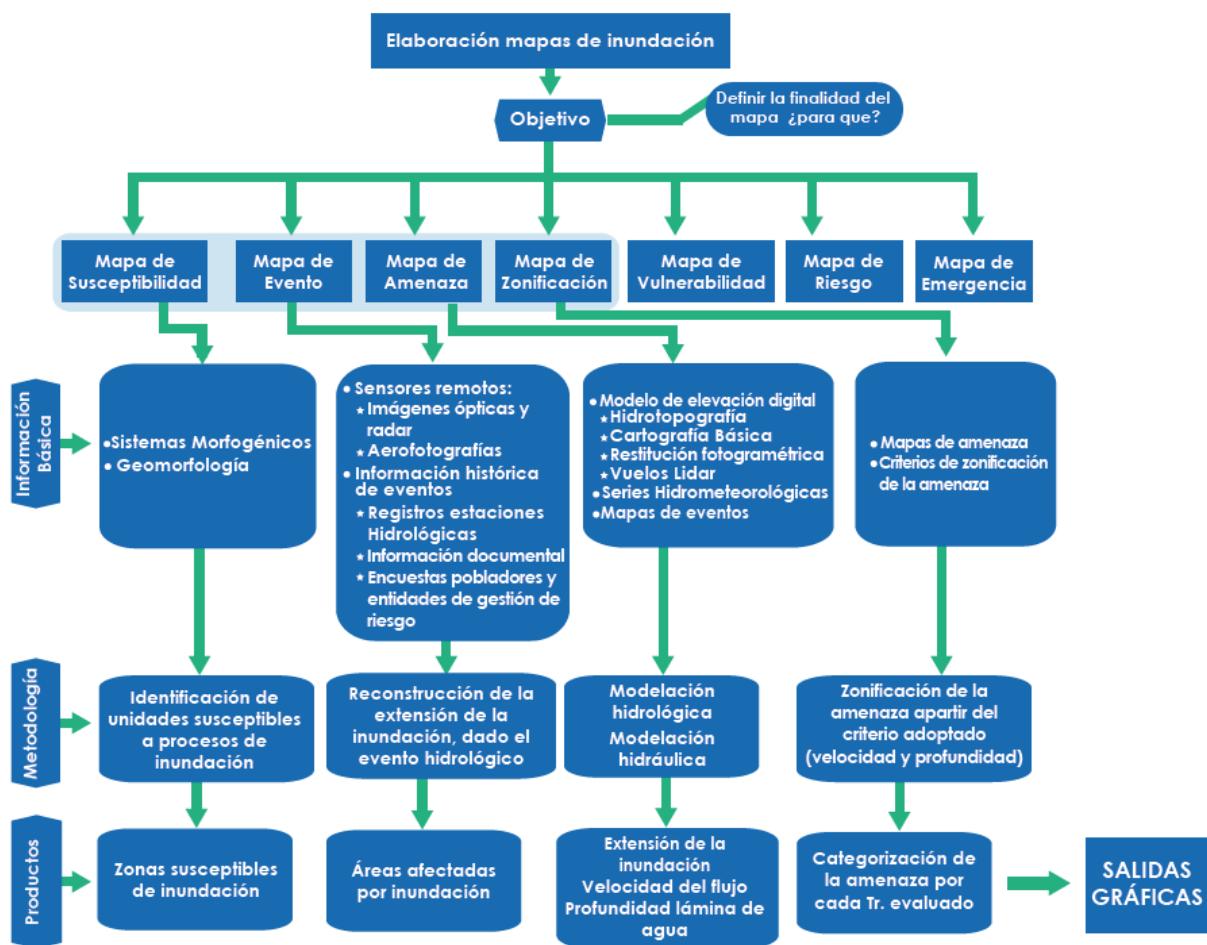


Figura 3. Diagrama de flujo e información necesaria para la elaboración de los mapas de inundación.

Fuente: (IDEAM, 2017)

Algunas de las fuentes de incertidumbre involucradas en el proceso metodológico para la elaboración de los mapas de amenaza por inundación se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Incertidumbres involucradas en la metodología propuesta para la amenaza por inundación.

Fuentes de incertidumbre	Propuesta metodológica
a. Incertidumbre debida a errores de medición:	Esta incertidumbre se aborda con el análisis de consistencia de la información hidrométrica, en la que se evalúan, datos dudosos, homogeneidades y tendencias de la serie de tiempo.
1. Lecturas de niveles en miras por el observador	La información de topobatimetrías y datos Lidar, se validan con el proceso de modelación hidrodinámica ya que se pueden comparar datos de cotas de lámina de agua modelada con información de eventos ocurridos. Así
2. Lecturas de niveles por sensor automático	

3. Medición de caudales (Aforos: badeo, suspensión, ADCP)	también con la realización de visitas de campo por parte del modelador hidráulico para verificar profundidades del cauce en algunos puntos, localización exacta de estaciones hidrológicas y observar las formas y alturas aproximadas del terreno.
4. Levantamientos topobatimétricos	
5. Amarre de cota cero al sistema de referencia nacional	
6. Levantamientos LIDAR	
b. Incertidumbre en procesos:	La incertidumbre en los procesos u obtención de la información de entrada para el modelamiento, se aborda en primera medida conociendo la dinámica de las inundaciones de los sistemas hídricos de los tramos de estudio. Al tener noción de los órdenes de magnitud de los eventos, se logra disminuir la incertidumbre de un dato estimado.
Transcripción de datos de campo	
Elaboración de curvas Nivel – Caudal	
Extrapolación de datos extremos	Realización de visitas de campo para localización de estructuras hidráulicas que puedan ser un control hidráulico para el flujo del agua para los eventos de caudales máximos analizados.
Interpolación para la obtención del DTM	
Acople entre batimetrías e información LIDAR	
Inclusión de estructuras hidráulicas de protección contra inundaciones	
c. Incertidumbre en modelos:	Se aborda a partir del análisis de frecuencia de caudales máximos anuales e intra anuales, para diferentes períodos de retorno.
1. Ajuste de funciones de probabilidad	Se aborda a partir del proceso de validación del modelo hidrodinámico a partir de miras de medición de tirante hídrico para eventos ocurridos en la zona de análisis.
2. Parametrización en modelos hidrológicos: coeficientes de escorrentía, coberturas de la tierra, entradas meteorológicas	Se aborda a partir del proceso de calibración hidrométrica y validación del modelo hidrodinámico a partir de la variación de la rugosidad del lecho y la planicie de inundación con el fin de obtener las mismas cotas de lámina de agua y la misma extensión de inundación de eventos ocurridos.
3. Parametrización en modelos hidráulicos: rugosidad, condiciones de frontera	Se aborda a partir de la inclusión dentro del modelo hidrodinámico, de alineamientos y características geométricas de las obras de control de inundaciones existentes en la zona de análisis.

Información básica

Dentro de la información básica es necesario contar con un Modelo Digital del Elevación (DEM por sus siglas en inglés) detallado (1 metro de resolución espacial como mínimo) con el cual se realizará la modelación hidráulica de las inundaciones, así como las series hidrometeorológicas e información gráfica georreferenciada de los eventos ocurridos en el pasado, con los cuales se puede comparar y validar los resultados de la modelación realizada. Adicionalmente se debe contar con información de estructuras hidráulicas para el control de las inundaciones tipo box couvert, muros de contención,

jarillones, etc, la caracterización de dichas obras debe ser incorporada en la topología del modelo hidráulico que tiene como base el MDE.

1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

Los Modelos Digitales de Elevación (DEM por sus siglas en inglés) se definen como un conjunto de datos numéricos que describen la distribución espacial de la altitud en una zona determinada. Se puede considerar que un DEM contiene información de dos formas. La primera es explícita mediante los propios datos contenidos en el modelo y la segunda es una información implícita, en el sentido de que intervienen las relaciones espaciales entre los objetos o datos, relaciones que pueden considerarse incluidas en el modelo, del mismo modo que los propios datos (Felicísimo, 1994).

Existen DEM disponibles de forma gratuita para casi todo el globo terráqueo, sin embargo, para la EPR a nivel urbano (detallado), es importante contar con un DEM de resolución espacial de 1 metro (pixel = 1x1 m), para obtener cartografía a escala 1: 2.000, como se especifica en el Decreto 1807, para estudios detallados, donde la unidad mínima de mapeo es 100 m².

Existen varias tecnologías y procesos para el levantamiento de esta información: el levantamiento topográfico, fotogrametría, Lidar (actualmente en aviones y drones), Radar (usando interferometría), entre otros.

Es importante la integración de la topografía (DEM) con la topobatimetría, la cual consiste en la construcción de la superficie subacuática del tramo en estudio. Para esta labor se pueden utilizar técnicas como: badeo, suspensión, perfiladores de corriente acústico doppler (ADCP por sus siglas en inglés), entre otros. La cartografía básica del área de estudio (existente), aporta no solo información del relieve, sino de los elementos artificiales, los cuales son importantes al momento de analizar los resultados obtenidos de la modelación.

2. Series hidrometeorológicas

Registros históricos de precipitación, niveles y caudales, del área de estudio, resultado del monitoreo hidrológico del IDEAM u otras entidades que sigan los estándares de medición establecidos por la OMM (OMM, 1994).

3. Mapas de eventos

Se obtienen mediante la integración de información de sensores remotos, con la cual se identifica la extensión de la inundación, y las mediciones realizadas en campo para establecer la altura de la lámina de agua (TH) en los sectores afectados por la inundación.

También se pueden reconstruir eventos históricos a partir de la consolidación de imágenes de soporte para el periodo de análisis y establecer la extensión de la inundación asociada, aunque en estos casos es un poco más difícil caracterizar

otros atributos del flujo. Se pueden analizar los registros de las series de nivel y caudal con el ánimo de asociarlos en zonas que cuenten con información de las planicies de desborde y su relación con los sitios de medición existentes.

Metodología modelación de la amenaza por inundación

En la Figura 4 se presenta el proceso metodológico específico a seguir para elaborar el mapa de amenaza por inundación por medio de modelación de tipo hidrológica, hidráulica y espacial. Para lograr lo anterior se hace necesario la ejecución de cinco pasos secuenciales, los cuales son:

1. Obtención de información gráfica de un evento ocurrido.
2. Modelación hidrológica.
3. Elaboración de un modelo digital de terreno lo suficientemente detallado.
4. Modelación hidráulica con su respectiva calibración y validación.
5. Generación de mapas de tirante hídrico (TH), velocidad de flujo (V), permanencia y en general cualquier otra variable que se requiera analizar en términos de amenaza.

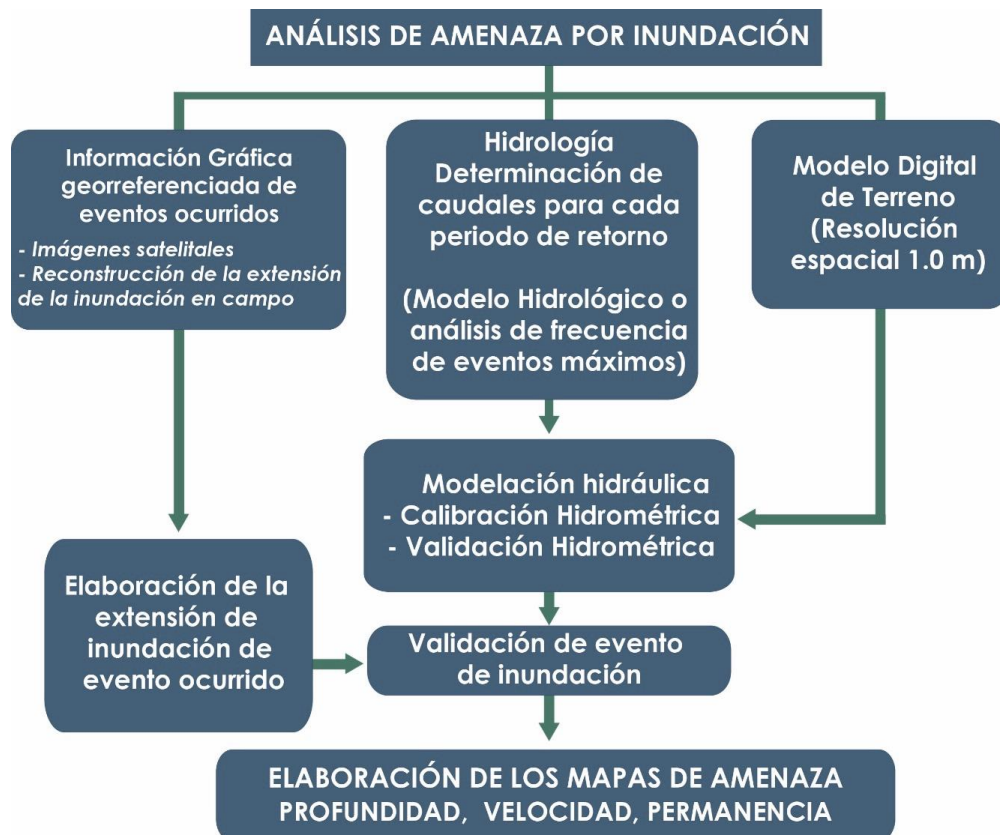


Figura 4. Metodología análisis de inundaciones

Fuente: (IDEAM, 2017)

Análisis Hidrológico

El estudio o análisis de datos hidrológicos es el punto de partida para todo proceso de modelamiento hidrodinámico hídrico, por tal motivo, es indispensable contar con series de caudales y niveles consistentes (Haan, 2002) de los ríos objeto de modelación.

Los mapas de amenaza por inundación pueden elaborarse para eventos continuos en el tiempo o eventos singulares como caudales asignados a periodos de retorno. Si el tramo a modelar no cuenta con series hidrológicas consistentes para el análisis de frecuencia de caudales máximos, se debe hacer uso de modelos hidrológicos. En la *Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación del IDEAM* (IDEAM, 2017) se pueden consultar algunos métodos propuestos para diversas condiciones de disponibilidad de información, estos son: transposición de datos de caudal en la misma corriente pero no en el sitio de interés, análisis regionales de caudales máximos instantáneos anuales, modelos de transformación lluvia en escorrentía que son utilizados cuando no existe la posibilidad de obtener medidas directas de caudales de drenaje en las cuencas hidrográficas (método de hidrograma unitario, modelos computacionales).

El componente hidrológico puede ser desarrollado de la siguiente manera: inicialmente se identifica la información disponible en cuanto a caudales y niveles de las estaciones hidrométricas existentes, se plantea un modelo conceptual de las condiciones de contorno del sistema hidrodinámico con base en la información hidrológica disponible y teniendo en cuenta el alcance del proyecto. Finalmente se realiza el tratamiento estadístico correspondiente de aleatoriedad de series temporales (conjuntos estadísticamente válidos) y de consistencia de información para el análisis de frecuencia.

Según Chow et al. (Chow, Maidment, & Mays, 1994), la magnitud de un evento extremo está inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia, es decir, eventos muy severos ocurren con menor frecuencia que eventos más moderados. Por lo anterior el objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad.

En los procesos estocásticos las series hidrológicas se analizan como variables aleatorias, aplicando pruebas de aleatoriedad que permitan identificar conjuntos estadísticos válidos que operan como variables aleatorias, es decir, que no responden a ningún patrón (Domínguez, 2007). Existen varias pruebas de aleatoriedad para demostrar que una serie de caudales constituye un conjunto estadístico válido. Estas pruebas se diferencian por su nivel de complejidad. En hidrología han encontrado amplia aplicación la prueba de las rachas y la prueba del número de inversiones (Bendot & Piersol, 2010).

La prueba de las rachas (o las series) se basa en el conteo de rachas en alguna característica de la serie de caudales anuales y/o mensuales. En calidad de hipótesis nula se plantea que H_0 : La muestra es aleatoria y como hipótesis alternativa que H' : La muestra no es aleatoria. Para aplicar esta prueba es

necesario clasificar cada dato de la serie de caudales anuales en una de dos clases. Cada clase puede ser representada con un símbolo (+ y – por ejemplo) de esta forma cada valor de la serie de caudales anuales que cumpla $Q_i \geq \bar{Q}$ se reemplaza por un signo “+” y de lo contrario (si $Q_i < \bar{Q}$) el valor se reemplaza por un signo “-”. La cantidad total de rachas “R” en las secuencias de “+” alternados con “-” es igual al número de rachas de signos “+” más el número de rachas de signos “-”, dada la Ecuación 2.

$$R = (r_a + r_b)$$

Ecuación 2.

Donde:

R: rachas empíricas

ra: secuencia de rachas positivas en la serie estadística

rb: secuencia de rachas negativas en la serie estadística

Para las secuencias aleatorias R tiene una distribución normal con media:

$$\bar{R} = \frac{n + 1}{2}$$

Ecuación 3.

Y desviación:

$$\sigma_R = \frac{\sqrt{n - 1}}{2}$$

Ecuación 4.

Al definir un nivel de significación α el intervalo de confianza para R es:

$$\bar{R} - t_{1-\alpha}\sigma_R < R \leq \bar{R} + t_{1-\alpha}\sigma_R$$

Ecuación 5.

Donde $t_{1-\alpha}$ es un percentil de la distribución estándar normal. Si el valor empírico de R cae dentro de este intervalo, la hipótesis nula, que asevera la aleatoriedad de la serie de caudales, no se rechaza, de lo contrario se acepta la hipótesis alternativa sobre la no aleatoriedad de la serie de datos.

La estacionariedad o no estacionariedad de las series hidrológicas, hace referencia a la conservación de los momentos estadísticos de una variable aleatoria. Por tal motivo un proceso estocástico es definido estacionario en el sentido estricto, si al evolucionar la función de distribución que la caracteriza (p. ej. Series mensuales), esta no cambia en el tiempo (Ruíz-Abellón, 2017).

El procedimiento para el análisis de frecuencia caracterizando las series como variables aleatorias es el siguiente:

- Seleccionar el conjunto estadístico: Se listan los periodos mensuales incluido el anual como muestras del universo estadístico, revisar axiomática de Kolmogorov (Kolmogorov, 1931).
- Realizar pruebas de aleatoriedad: Como fue descrito se demuestra la aleatoriedad de los conjuntos estadísticos mediante la prueba de las rachas (Bendot & Piersol, 2010).
- Realizar el ajuste de las funciones de distribución de probabilidad teórica (FDP) (Haan, 2002): Se recomienda el uso de funciones tales como: Normal, LogNormal, Exponencial, Gamma, LogGamma, GenGamma, Gumbel_L (sesgada a la izquierda), Gumbel_R (sesgada a la derecha), PowerLaw, GenExtreme, Weibull_max y Weibull_min

Para validar el ajuste de la distribución teórica a los datos empíricos se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

Los criterios de selección de la FDP (Función de Distribución de Probabilidad):

- El error medio absoluto relativo.
- Error máximo absoluto relativo.
- Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (ω^2).

En la Figura 5 se presenta un ejemplo de salida gráfica de ajuste de funciones con los respectivos criterios de selección.

La línea punteada (azul) representa la función empírica de probabilidad de la serie en estudio, la línea continua (roja) representa el ajuste de cada función teórica. El encabezado de cada figura lo compone: el nombre de la FDP, el error medio y máximo de ajuste y la prueba de bondad de Kolmogorov, $K=0$ se rechaza el ajuste, $K=1$ se aprueba el ajuste. La FDP que se escoge es la que presente menor error medio y menor error máximo en el ajuste y que la prueba de bondad sea $k=1$. Para el ejemplo presentado, esta condición la cumple la FDP=GenGamma (Distribución Generalizada Gamma).

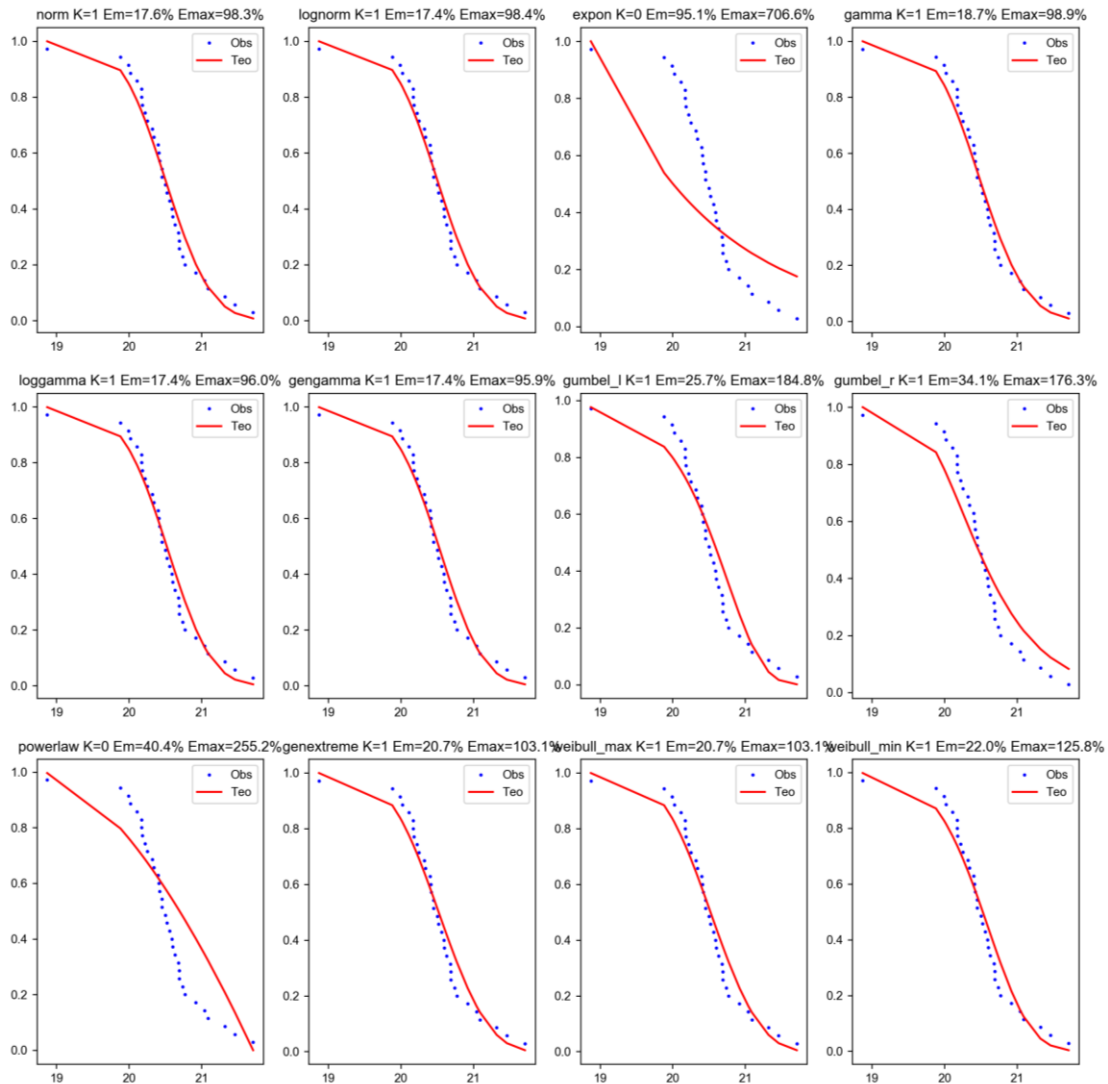


Figura 5. Ajuste de funciones de probabilidad a serie de cotas de lámina de agua máxima (msnm) registrada para el conjunto estadístico del mes de octubre en la estación San Marcos

Finalmente se procede con la obtención de valores esperados para diversos periodos de retorno (T_r): los percentiles asociados a probabilidades de excedencia se deben graficar como isopercentiles (ver Figura 6) entendidos como gráficas de dispersión que unen los percentiles mensuales que presentan el mismo valor de probabilidad de excedencia, en los que se puede visualizar la variabilidad hidrológica del hidrosistema en estudio, así como la gráfica de cada función de probabilidad teórica a nivel mensual incluyendo el ajuste de máximos anuales (ver Figura 7).

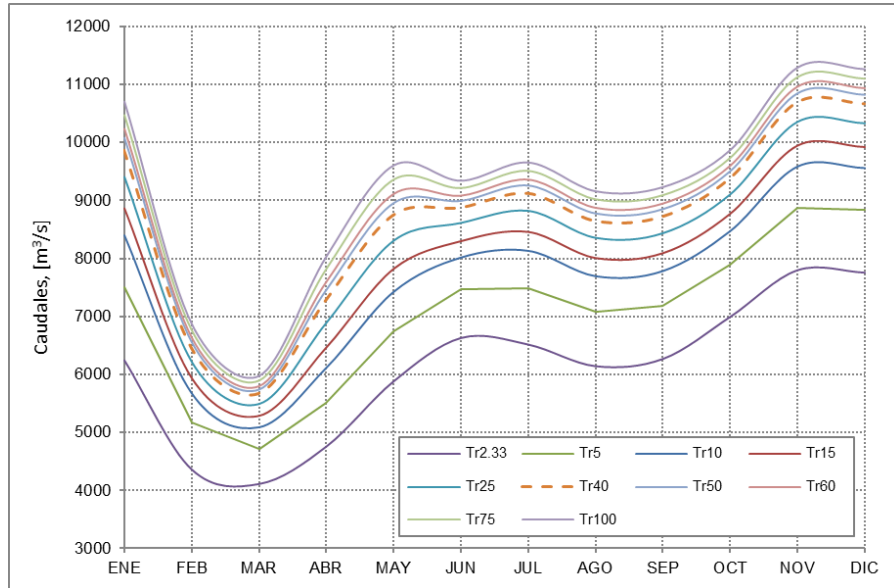


Figura 6. Gráfico de isopercentiles de caudales máximas para diversos periodos de retorno (Tr), estación Magangué (25027680).

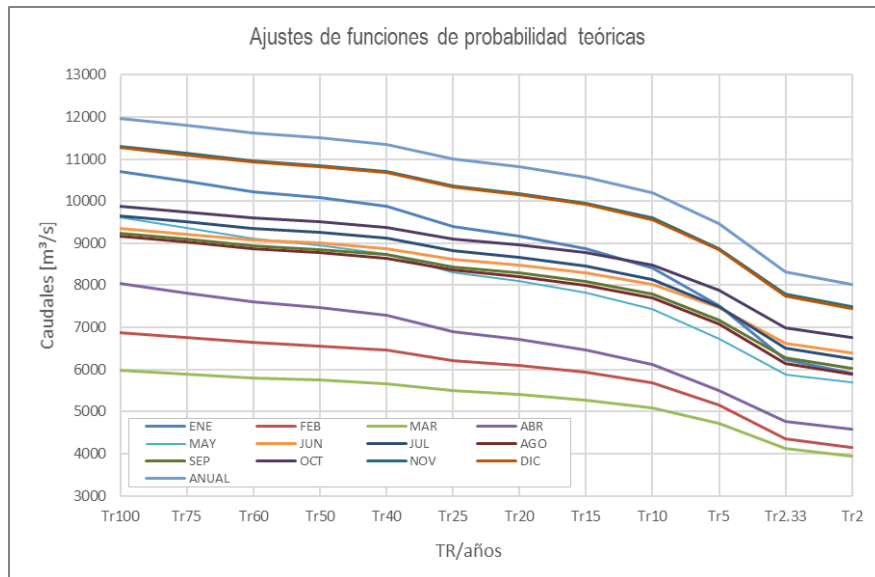


Figura 7. Ajustes de FDP teóricas a caudales máximos estación Magangué (25027680).

Análisis hidráulico

La modelación hidráulica parte de diferentes aproximaciones al flujo de agua en la naturaleza (unifásico, bifásico, unidimensional, bidimensional, tridimensional, permanente, no permanente), que simplifican las ecuaciones físicas que lo modelan, cuya resolución permite estimar parámetros tales como tirante hídrico, velocidad media de flujo y energía (Instituto Geológico y Minero de España, 2008).

Selección del tipo de modelo hidráulico

La primera decisión que se debe tomar cuando se pretende desarrollar un modelo hidráulico de inundaciones es el tipo de modelo a utilizar. Existen diferentes tipos de modelos según la complejidad espacial de las ecuaciones que soluciona el mismo: unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales (1D, 2D, 3D), para los cuales existen diferentes programas computacionales, tanto de distribución gratuita como comerciales.

En la Tabla 8 se presentan una variedad de herramientas disponibles para realizar la modelación de inundaciones. En dicha tabla se describe claramente los procesos representados en cada uno de los modelos, así como las características que deben ser tenidas en cuenta para la selección apropiada de un modelo hidráulico en particular, tales como la escala del problema, los recursos computacionales disponibles y las necesidades del usuario.

Dado el comportamiento de las inundaciones de tipo lento, en donde el agua desborda su cauce principal y fluye en direcciones diferentes a la del cauce principal, es decir, deja de tener un comportamiento unidimensional, se recomienda el uso de modelos bidimensionales que solucionen las ecuaciones completas de onda poco profundas sin perder la resolución detallada del modelo digital de terreno del sitio de interés, que para el caso de análisis de amenaza por inundación a escala 1:2.000 la resolución del modelo digital del terreno se recomienda que debe ser de 1.0 m.

Resolución espacial y temporal

Luego de seleccionar el tipo de modelo y el programa computacional a utilizar, el modelador debe decidir la esquematización del modelo, es decir, el área a modelar, resolución espacial y temporal, esquematización de las edificaciones y otra infraestructura tales como puentes y diques y cualquier otra obra de infraestructura de control o protección de inundaciones.

La selección del área de cobertura del modelo debe ser como mínimo aquella que cubra la extensión de inundación del máximo evento ocurrido, el cual, para el caso de lugares donde no se cuente con registros a partir de imágenes georreferenciadas debe levantarse a partir de información de campo directamente con la población afectada.

Respecto a la resolución espacial del modelo, los últimos avances en discretización espacial es el desarrollo de mallas flexibles, las cuales están diseñadas para tener una alta resolución alrededor de áreas complejas, por ejemplo, donde existen cambios sutiles de la topografía, y resoluciones más gruesas en áreas con pequeñas variaciones espaciales, tales como llanuras de inundación. Lo anterior con el fin de ahorrar esfuerzo computacional (FLOODsite Consortium, 2009).

Uno de los algoritmos más eficientes para la modelación de inundaciones en la actualidad es el "High Resolution Subgrid Model" (Casulli and Stelling, 2008), el cual hace uso de la misma resolución espacial del modelo digital de terreno (subgrid) lo cual permite elaborar modelo con celdas computacionales más

grandes que la resolución espacial del modelo digital de terreno el cual es el que gobierna el movimiento del flujo.

De otro lado para la definición de la resolución temporal del cálculo debe tenerse en cuenta la escala temporal a la cual ocurre el fenómeno de la inundación, es decir, para fenómenos de tipo torrencial donde las inundaciones ocurren en menos de un día, el tiempo de cálculo debe ser sub-diario (horas, minutos o segundos). Así mismo debe tenerse en cuenta la resolución de la malla de cálculo con el fin de evitar problemas de convergencia y tiempos de cálculo extremadamente largos.

Respecto a las estructuras hidráulicas se deben incluir todas aquellas que tengan una influencia directa sobre el comportamiento hidráulico de la inundación para uno o varias frecuencias de ocurrencia o períodos de retorno.

Luego de definir la topología del modelo se realiza el cálculo hidráulico, en el cual se definen los escenarios de calibración hidrométrica, validación hidrométrica y validación de la extensión de la inundación, lo cual puede realizarse siguiendo el diagrama de flujo presentado en la Figura 8 y explicado a continuación.

Calibración hidrométrica

La calibración hidrométrica consiste en el ajuste de los parámetros del modelo, generalmente el n de Manning, de tal manera que dicho modelo hidráulico represente las cotas de lámina de agua registradas en la estación hidrológica disponible. Para ello es necesario contar con los registros históricos de niveles y la respectiva cota del cero de la mira debidamente georreferenciada al marco geocéntrico nacional de referencia, de tal manera que se puedan comparar las cotas de lámina de agua registradas y modeladas.

Para dicha calibración es recomendable hacer uso de un período de tiempo que contenga los registros de niveles más altos con el fin de abarcar todo el rango de posibilidades de profundidades de lámina de agua registradas hasta el momento y así poder definir, de ser necesario, la zonificación del n de Manning tanto en el cauce principal como en la llanura de inundación. Cabe aclarar que para determinar la bondad de ajuste se debe hacer uso de medidas de desempeño principalmente enfocadas en ajustar los valores más altos, los cuales son los que interesan para el caso de las inundaciones.

Validación hidrométrica

Para la etapa de validación hidrométrica, luego de la calibración hidrométrica, se debe hacer uso de los registros de niveles y cota cero de otro período de tiempo diferente al usado en la etapa de calibración, en donde al igual que en la etapa de calibración se debe hacer uso de una medida de desempeño que determine que tanto se ajustan las cotas de lámina de agua modeladas a las registradas en el sitio de interés.

Validación de la extensión de la inundación

Dado que con la calibración y validación hidrométrica solo se tiene en cuenta la información suministrada en un punto en el espacio de cálculo, se hace necesaria la validación del modelo hidrodinámico a partir de la comparación de las extensiones de inundación ocurrida y modelada. La extensión de inundación ocurrida puede obtenerse a través de imágenes satelitales, fotografías aéreas y levantamiento de información en campo.

Cabe aclarar que en caso de que no se cuente con estaciones de registro de niveles en el sitio de interés, la selección de los parámetros del modelo debe realizarse a partir de la experiencia en cuerpos de agua similares o bibliografía especializada. Sin embargo, si se debe realizar el proceso de validación de la extensión de la inundación dado que dicha información en la actualidad ya se publica en servidores como <https://www.planet.com/explorer/>, en el cual se encuentran imágenes diarias de cualquier parte del mundo.

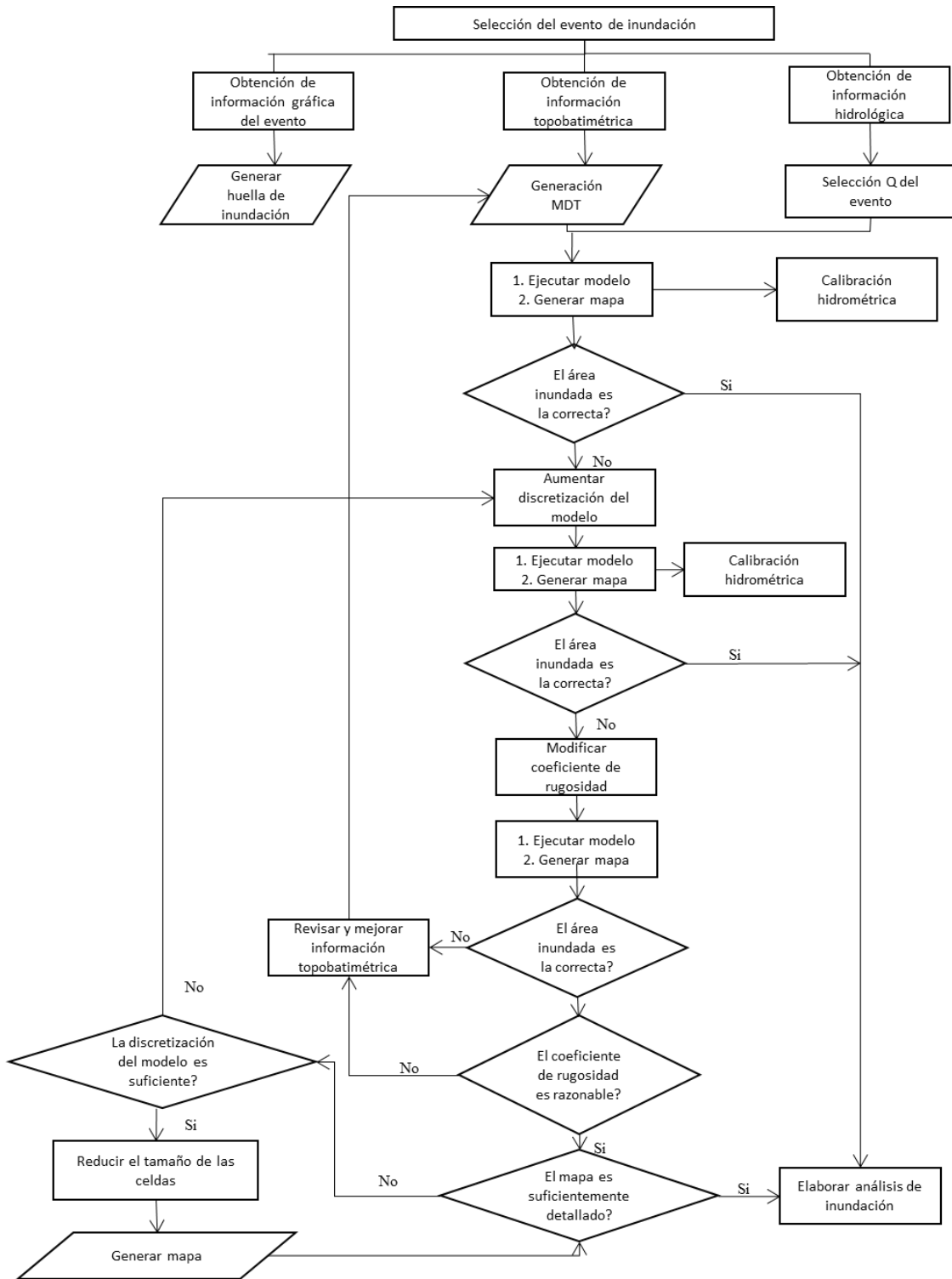


Figura 8 Diagrama de flujo metodología de modelación hidráulica de inundaciones

Fuente: (Arbelaez Salazar & Diaz Granados, 2011)

Modelación de escenarios

Luego de que el modelo hidráulico reproduce los registros de niveles del sitio de interés, se realiza la respectiva modelación de escenarios, ya sea un evento en particular o varios escenarios de caudal para cada uno de los períodos retorno.

Tabla 8. Descripción general de tipos de modelos hidráulicos

Método	Descripción	Aplicación	Ejemplos de herramientas	Datos de entrada	Datos de salida	Tiempo de ejecución
0D	No es físicamente basado	Evalúa la extensión de la inundación y las profundidades de inundación	AgcGIS Delta mapper QGIS	Modelo Digital de Terreno (MDT) Cota de lámina de agua aguas arriba Cota de lámina de agua aguas abajo	Extensión de la inundación y profundidad del agua a través de la intersección entre la lámina de agua y el MDT.	Segundos
1D	Soluciona las ecuaciones de Saint Venant 1D	La extensión de la modelación puede ser del orden de décimas a cientos de Km dependiendo del tamaño de la cuenca	Mike 11 HEC-RAS SOBEK-CF Infoworks RS (ISIS)	Secciones transversales del cauce principal y la llanura de inundación. Hidrogramas de caudal aguas arriba. Hidrógrafas de altura aguas abajo.	Profundidad del agua y velocidad media en cada sección transversal. Extensión de la inundación por la intersección de la profundidad del agua simulada con el MDT7. Hidrograma de salida aguas abajo.	Minutos
1D+	Enfoque 1D+ con celdas de almacenamiento para la simulación del flujo en las llanuras de inundación	La extensión de la modelación puede ser del orden de décimas a cientos de Km dependiendo del tamaño de la cuenca, con posibilidad de aplicación en escalas de modelación mayores si se utilizan pocos datos de secciones transversales	Mike 11 HEC-RAS SOBEK-CF Infoworks RS (ISIS)	Igual a los modelos 1D	Igual a los modelos 1D	Minutos a horas
2D-	Ley de conservación de momentum 2D- para la llanura de inundación	Gran escala de modelación dependiendo de las dimensiones de las celdas	LISFLOOD-FP	MDT (DEM) Hidrogramas de caudal aguas arriba. Hidrógrafas de altura aguas abajo.	Extensión de la inundación y profundidad del agua. Hidrograma de caudal de salida aguas abajo.	Minutos a horas
2D NC	Soluciona las ecuaciones de onda poco profunda bidimensionales en la forma no conservativa	La extensión de la modelación puede ser del orden de décimas de Km. Podría tener el potencial para ser usado en modelación de	TUFLOW	MDT Hidrogramas de caudal aguas arriba. Hidrógrafas de altura aguas abajo.	Extensión de la inundación Profundidades Velocidades promedio en la vertical en cada nodo computacional	Horas a días

		escalas amplias si se aplica con mallas secundarias. No es adecuado para simulaciones de modelos transcritos y flujos de rompimiento de presas.			Hidrograma de caudal de salida aguas abajo	
2D C	Soluciona las ecuaciones de onda poco profunda bidimensionales en la forma conservativa	La misma que 2D NC más la capacidad de modelar exactamente flujos transcritos, rompimiento de presas y flujos de transientes rápidos	Mike 21 TELEMAC SOBEK-OF Delft-FLS Infoworks HEC RAS 5.0	Igual que 2D NC	Igual que 2D NC	Minutos, horas a días
2D+	Solución 2D plus para las velocidades en la vertical usando sólo la ecuación de continuidad	Modelación de costas donde los perfiles de velocidad 3D son importantes. Ha sido también aplicado para modelación de ríos en proyectos de investigación	TELEMAC 3D Delft-3D	MDT Hidrogramas de caudal aguas arriba. Distribución de velocidades de entrada. Hidrógrafas de altura aguas abajo.	Extensión de la inundación Profundidades de la lámina de agua Velocidades u, v y w para cada celda computacional. Hidrograma de caudal de salida aguas abajo.	Días
3D	Solución 3D de las ecuaciones tridimensionales de Navier Stokes y Reynolds promedio	Predicciones tridimensionales de campos de velocidades en los cauces principales y llanuras de inundación	CFX FLUENT PHEONIX	MDT Hidrogramas de caudal aguas arriba. Distribución de velocidades de entrada y distribución de energía cinética turbulenta Hidrógrafas de altura aguas abajo.	Extensión de la inundación Profundidades de la lámina de agua Velocidades u, v y w, energía cinética turbulenta para cada celda computacional. Hidrograma de caudal de salida aguas abajo.	Días

Fuente: Adaptado de (FLOODsite Consortium, 2009)

La calibración y validación del modelo hidráulico se debe hacer en la medida de lo posible haciendo uso de los registros históricos de las estaciones hidrológicas, registros gráficos georreferenciados de eventos de inundación (imágenes satelitales, fotografías aéreas) y levantamiento de información en campo con el fin de obtener una de la huella de inundación de eventos ocurridos, para comparar espacial e hidráulicamente los resultados obtenidos por los modelos hidráulicos a utilizar.

Salidas gráficas

Como resultado de la modelación hidrológica e hidráulica del análisis de amenaza por inundación, se genera información tipo raster de magnitudes de tirante hídrico y velocidad media de flujo para diferentes periodos de retorno. Esta información debe ser editada para generar las diferentes salidas gráficas asociadas a cada escenario hidrológico modelado. Como base para presentar la información de amenaza por inundación, se utilizan imágenes de alta resolución espacial para conocer los límites de la afectación (ver Figura 9).



Figura 9. Ortofotomosaico de la región de La Mojana, sector San Marcos (Sucre)

Fuente: (IDEAM, 2015)

Simbología variable para tirante hídrico [m]

La visualización de los resultados de la modelación hidrodinámica para la magnitud de tirante hídrico, debe contener los rangos que se presentan en la Tabla 9. La capa temática debe tener un porcentaje de transparencia del 40% para poder visualizar la imagen de fondo como se puede apreciar en el Mapa 9, donde se presenta el tirante hídrico para un periodo de retorno (Tr) de 50 años en el municipio de Montelíbano.

Tabla 9. Rangos de tirante hídrico de la inundación

Intensidad de Tirante hídrico [m]	Tono en el mapa
< 0.5	Light purple
0.5 – 1.0	Medium purple
1.0 – 1.5	Dark purple
> 1.5	Dark blue

Fuente: (IDEAM, 2017).

Simbología variable velocidad media de flujo [m/s]

La visualización de los resultados de la modelación hidrodinámica para la magnitud de velocidad media de flujo, debe contener los rangos que se presentan en la Tabla 10 y la salida del Mapa 10, donde se aprecia la velocidad media de flujo para un periodo de retorno (Tr) de 50 años en el municipio de Montelíbano.

Tabla 10. Rangos de velocidades de inundación

Intensidad de Velocidad media de flujo [m/s]	Tono en el mapa
< 0.5	Dark blue
0.5 – 1.0	Cyan
1.0 – 1.5	Orange
> 1.5	Red

Fuente: (IDEAM, 2017).

La simbología presentada anteriormente, hace referencia a la sugerida en la "Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación" (IDEAM, 2017).

Dentro del Decreto 1807 no es claro cómo se debe desarrollar la zonificación de amenaza por inundación, sin embargo, con los resultados obtenidos por el análisis realizado anteriormente, se puede construir dicha zonificación mediante la superposición del tirante hídrico (profundidad) y la velocidad de flujo (velocidad), para identificar los diferentes niveles de amenaza.



Mapa 9. Tirante hídrico de la zona inundable, para un periodo de retorno de 50 años en el municipio de Montelíbano (Córdoba)



<p>Evaluación Probabilística del Riesgo (EPR) por inundación lenta en las cabeceras municipales de Montelíbano (Córdoba), San Marcos (Buenos Aires), Mompós y Magangué (Bolívar)</p> <p>VELOCIDAD DE LA INUNDACIÓN Tr: 50 años</p> <p>MONTELIBANO (Córdoba)</p> <p>2018</p>	<p>LEYENDA</p> <table border="1"> <tr> <td>0.5 - 1.0</td> <td>1.0 - 1.5</td> <td>1.5</td> </tr> </table>	0.5 - 1.0	1.0 - 1.5	1.5		<p>INFORMACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>PROYECCIÓN: Conforme de Gauss DATUM: MADRID - SIRGAS ORIGEN DE LA ZONA: 803307A COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 4° 35' 48.3215" Lat Norte, 74° 04' 28.6285" Long Oeste COORDENADAS PLANAS: 1'000.000 metros Norte, 1'000.000 metros Este</p> <p>Escala: 1:40.000</p>
0.5 - 1.0	1.0 - 1.5	1.5				

Mapa 10. Velocidad media de flujo de la zona inundable, para un periodo de retorno de 50 años en el municipio de Montelíbano (Córdoba)

Conclusiones sobre la metodología

En síntesis, el empleo de este tipo de metodologías y el análisis de los diferentes escenarios probabilísticos identificados, son insumos para la propuesta de zonificación de amenaza por inundación, la cual contribuye a establecer los límites y características de las zonas no aptas para asentamientos humanos, zonas seguras para la expansión urbana, así como para la incorporación de la gestión del riesgo en los instrumentos de planificación del territorio.

La vigilancia, el monitoreo y el periódico mantenimiento de instrumentos de medición, reducen la incertidumbre en una red hidrométrica, la cual proporciona insumos muy importantes para el desarrollo de metodologías como la presentada. El no contar con estaciones hidrológicas cercanas a los sitios en los que se desarrollen estos estudios, limita la correcta caracterización y conocimiento del evento amenazante.

Es necesario describir las condiciones del medio físico natural para comprender el comportamiento de las amenazas identificadas, esto se puede conseguir con las verificaciones en el territorio, con las entrevistas a ribereños, y con la construcción conjunta con las comunidades asentadas en áreas catalogadas vulnerables a eventos amenazantes como las inundaciones.

Los mapas de amenaza de inundación hacen parte de las medidas preventivas de tipo no estructural para la gestión integral del riesgo de inundaciones, ya que son una valiosa herramienta para principalmente ser usada en la ordenación del territorio.

La metodología de análisis de amenaza por inundación presentada puede ser usada en los municipios del país en donde se tenga la susceptibilidad a presentar inundaciones, principalmente de tipo lenta, lo cual puede obtenerse a partir de la información del IDEAM sobre la susceptibilidad a inundación.

Para la realización de un mapa de amenaza por inundación lo suficientemente detallado y que permita realizar análisis sobre eventos posibles, se hace necesaria la obtención de modelo digital de terreno de buena resolución, la cual para el caso de cartografía 1:2.000 es recomendable como mínimo con una resolución de 1.0 m o más detallada.

Modelo de Exposición

Introducción

En Colombia, durante las temporadas de lluvia se presentan eventos de inundación por el desbordamiento de los cauces y cuerpos de agua en múltiples municipios del país, los cuales producen daños en las personas, en sus bienes, en sus medios de producción, afectando así el bienestar de las comunidades. De acuerdo con la consulta realizada por Rodríguez-Gaviria (2016) en la base de datos de desastres EM-DAT (Guha-Sapir & Below, 2017), entre las inundaciones más importantes del país se encuentran las ocurridas en 1970 (cerca de 5.1 millones de personas afectadas), 2007-2008 (cerca de 2.8 millones de personas afectadas y 2010–2011 (más de 3 millones de personas afectadas). Vale la pena señalar que, en el caso de no existir información respecto a los daños ocurridos, o bien aproximaciones en cuanto a los daños esperados, difícilmente se podría entender las consecuencias de estos eventos.

En términos generales, cuantificar los daños (sean observados o esperados) es una actividad necesaria para describir de manera objetiva los efectos o potenciales consecuencias de eventos desastrosos. Esta información constituye el soporte para la identificación y comunicación del riesgo, así como para la definición, priorización y ejecución de actividades de reducción del riesgo y de manejo de desastres.

Entre la información necesaria para cuantificar daños por eventos desastrosos se encuentra la definición de qué es lo que se puede dañar. Según el propósito y escala del análisis, será necesario describir el conjunto de elementos (bienes, edificios, servicios, infraestructura, etc), así como a la población que se encuentra expuesta ante amenazas. Para la estimación de riesgos por inundaciones, se reconoce que realizar inventarios detallados en los que se recopilen propiedades de todos y cada uno de los elementos puede resultar impráctico (Figueiredo & Martina, 2016). Como alternativa, se recomienda reducir el alcance de dicho inventario mediante un modelo de exposición. Un modelo de exposición corresponde a una representación del conjunto de elementos expuestos y contiene información simplificada respecto a su localización, valor y propiedades que los hacen propensos a sufrir daños.

Según el Decreto 1807 de 2014, a través del cual se busca incorporar la gestión del riesgo en el ordenamiento territorial, se establece como requisito para la elaboración de estudios detallados la descripción de las características de los elementos expuestos en cuanto al tipo de elemento, grado de exposición, resistencia que ofrece el elemento y distribución espacial.

Con el fin de contribuir a la elaboración de estudios detallados del riesgo por inundaciones lentas bajo un enfoque probabilista, en este capítulo se presentan insumos y procedimientos que permiten desarrollar modelos de exposición que tengan información suficiente para el análisis de vulnerabilidad y estimación de riesgos, así como para la definición de zonas de alto riesgo no mitigable. A su vez, se presentan recomendaciones en cuanto a los requisitos mínimos, la duración y el personal requerido para el desarrollo de estas actividades.

Objetivos

El principal objetivo de este capítulo es presentar insumos, procedimientos y resultados esperados frente a la elaboración de modelos de exposición que sirvan de insumo para estudios detallados de riesgo por inundaciones lentas, así como presentar una aproximación metodológica para la elaboración de modelos de exposición como insumo para la evaluación probabilista del riesgo por inundación. Los objetivos específicos son:

- i. Proponer información disponible para describir la localización y características estructurales de construcciones urbanas, así como para determinar su valor.
- ii. Presentar criterios para la elaboración de una muestra de construcciones a partir de la cual se identifiquen tipologías estructurales.
- iii. Presentar un procedimiento general para la clasificación de los edificios en tipologías estructurales a partir de la información secundaria disponible (catastral, censal, etc.) y de los resultados de inspecciones.

Alcance

Escala del análisis y resolución: Estos lineamientos están dirigidos al desarrollo de modelos de exposición para estudios detallados en zonas urbanas a escala 1:2.000. Se recomienda que el modelo de exposición se elabore a nivel de construcciones, considerando la información cartográfica catastral disponible. En el caso de no existir información catastral a este detalle, se recomienda elaborar los modelos de exposición a nivel de manzanas.

Área de estudio: En caso de ser posible, se sugiere realizar el modelo de exposición para las construcciones comprendidas en la cabecera municipal. De lo contrario, se recomienda realizar el modelo de exposición para la zona de inundación definida en estudios previos.

De acuerdo con el decreto 1807 de 2014, el área para los estudios detallados está delimitada por las zonas con condiciones de riesgo y amenaza por inundación establecidas en el Plan de Ordenamiento Territorial, a partir de los estudios básicos en articulación con el Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) aprobado. En caso de no existir tales zonificaciones, se propone acotar el área de estudio a partir de un análisis de susceptibilidad según criterios geomorfológicos que permitan identificar zonas inundables. En MADS (2014) se presentan recomendaciones para realizar estas zonificaciones a escala 1:25.000.

Tipos de municipios: Según la información necesaria para describir la localización, las características físicas de los elementos expuestos y su valor, en la Tabla 11 se presentan recomendaciones respecto a los datos que pueden utilizarse según categorías de los municipios.

Tabla 11 Información recomendada para el desarrollo del modelo de exposición según categorías de municipios.

Categoría	Localización	Tipologías constructivas		Valor		Contenidos		
		Edificios del grupo I y II según NSR-10	Edificios de los grupos III y IV según NSR-10	Edificios	Infraestructura	Edificios del grupo I y II según NSR-10	Edificios de los grupos III y IV según NSR-10	Población
Especial-Primera y segunda	Información catastral	Inspecciones en campo de muestras de zonas homogéneas	Inspección individual a las estructuras.	Información catastral Información del mercado inmobiliario	Consultas con operadores de la infraestructura y oficinas de planeación	Inspecciones en campo y encuestas en zonas homogéneas	Inspecciones en campo y encuestas a cada institución y estructura	Información censal
Tercera-Cuarta		Información catastral		Información catastral		Información censal		
Quinta y sexta	Información catastral Fotografías aéreas; imágenes satelitales	Información catastral y censal Opinión de expertos locales		Información catastral Opinión de expertos locales	Consultas con operadores de la infraestructura Estimaciones a partir de costos según conocimiento de expertos			

Uso de los resultados del modelo de exposición: Considerando que para el modelo de exposición los edificios se clasifican en tipologías, se señala que los resultados del modelo no pueden utilizarse para la toma de decisiones sobre edificios particulares. Los resultados del modelo representarán características del ambiente construido según las zonas homogéneas establecidas para el estudio. En el caso de edificios indispensables, de atención a la comunidad y de ocupación especial, se recomienda realizar descripciones específicas mediante encuestas e inspecciones visuales rápidas.

Detalles metodológicos

Considerando que recopilar información para tener un conocimiento completo sobre el inventario de elementos expuestos a inundaciones en una zona urbana puede ser una actividad que consuma bastantes recursos, se plantea la elaboración de modelos de exposición a través de los cuales se simplifique tal inventario. En forma general, un modelo de exposición útil para la evaluación cuantitativa del riesgo, tiene como fin describir un conjunto de elementos expuestos en términos de su ubicación, características físicas y valor (ver Figura 10). Ante la falta de conocimiento en el modelo de exposición, en la Tabla 11 se presentan incertidumbres según componentes y posibles fuentes de información.

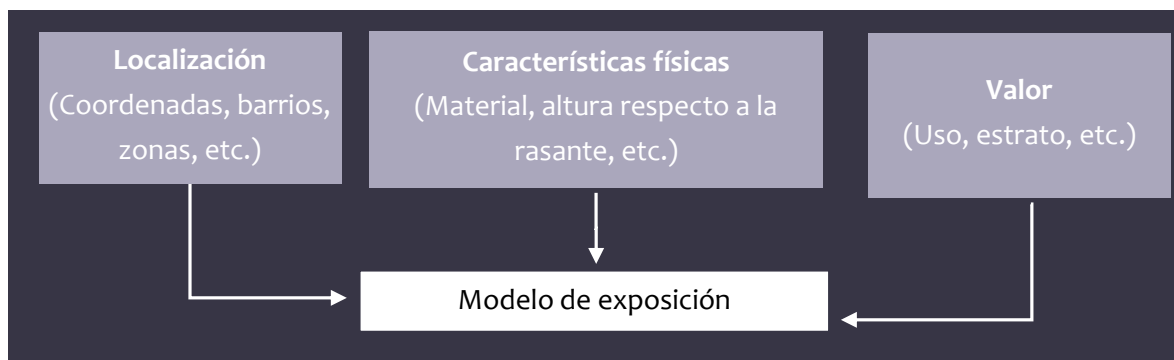


Figura 10. Componentes de un modelo de exposición.

Entre las experiencias nacionales de evaluación de riesgos por inundaciones, el proyecto promovido por el Fondo de Adaptación para municipios de La Mojana (Cardona, 2017) se destaca por el uso de un enfoque probabilista para el análisis de riesgos, mediante el cual las pérdidas esperadas se estiman para todos los eventos que pueden afectar a los elementos expuestos. Este tipo de resultados representan un adecuado soporte para la gestión del riesgo. Para los municipios incluidos en dicho proyecto, los modelos de exposición contienen los siguientes grupos de elementos:

- **Construcciones:** Compuesto por edificios de uso de vivienda, educación y salud. Se consideraron tipologías según uso y materiales de construcción. El valor se determinó a partir de precios por metro cuadrado para las viviendas; para los edificios de salud y educación se utilizaron avalúos específicos.
- **Infraestructura de servicios:** Compuesto por postes pertenecientes a la infraestructura de energía y torres de telecomunicaciones. Para estos elementos se consideraron valores promedio de reposición según fuentes bibliográficas.

Con el fin de promover este tipo de experiencias, a continuación, se plantea un procedimiento con el fin de desarrollar modelos de exposición a partir de información catastral y censal, así como de información recopilada en campo, de tal manera que se pueda determinar la localización de las construcciones, su valor, su tipología estructural y el número de personas que las habitan. De esta manera se propone resolver de manera razonable las incertidumbres planteadas en la Tabla 11.

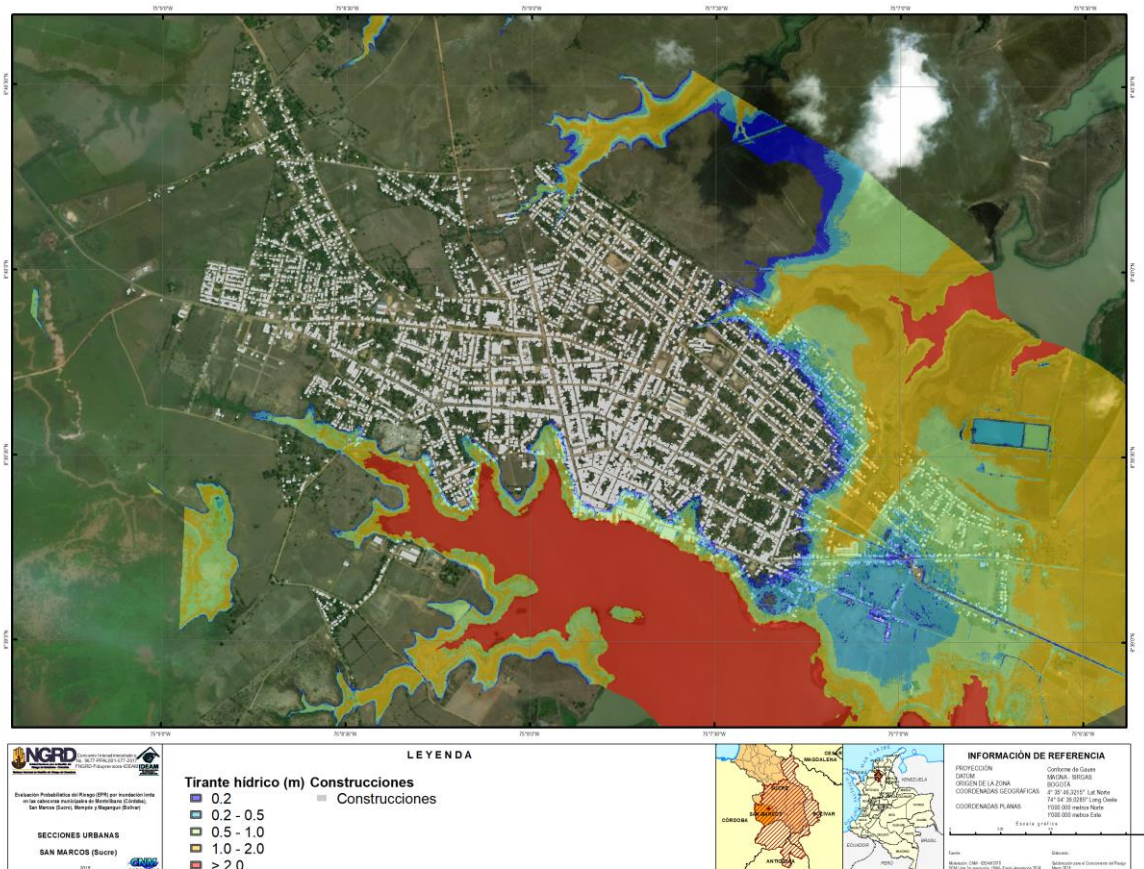
Tabla 12. Incertidumbres en el modelo de exposición y fuentes de información

Componente	Relevancia	Fuentes de información útiles para definir los elementos expuestos
Desconocimiento de la localización de los elementos expuestos	Conocer la localización de los elementos es útil para para calcular la intensidad esperada de la inundación (p. ej. Velocidad media de flujo y tirante hídrico) en tales coordenadas.	Información catastral: En formatos compatibles con sistemas de información geográfica, a través de la cual sea posible determinar las coordenadas de las construcciones.
Desconocimiento del valor de los elementos expuestos	El valor expuesto es información requerida para calcular pérdidas económicas por daños potenciales ante la ocurrencia de eventos.	<p>Información catastral: Datos respecto al avalúo catastral, área construida, zona geoeconómica catastral.</p> <p>Información del mercado inmobiliario: Precios por metro cuadrado en zonas homogéneas (p. ej.; barrios, sectores urbanos)</p> <p>Encuestas y recopilación de datos en campo: A partir de los cuales se obtenga información respecto al uso, estrato, valores de la construcción y valores de los contenidos.</p> <p>Información censal: A partir de la cual se establezcan condiciones socioeconómicas de los hogares y las personas.</p>
Desconocimiento de las características físicas de los elementos expuestos que los hacen propensos a sufrir daños.	Las características físicas de los elementos expuestos son útiles para evaluar el daño esperado ante una determinada intensidad de eventos de inundación.	<p>Información catastral: Información relacionada con el material de construcción, sistema resistente, fecha de construcción, número de plantas sobre rasante, entre otras variables.</p> <p>Inspecciones visuales rápidas: A través de las cuales se determinen propiedades estructurales de las construcciones</p> <p>Encuestas y recopilación de datos en campo: A partir de los cuales se obtenga información respecto a propiedades de las estructuras tales como el material de construcción, sistema resistente a cargas, sistemas de cubierta y entrepiso, número de plantas, entre otros.</p> <p>Información censal: Datos relacionados con el tipo de viviendas (casas, apartamentos, etc.), material de las paredes exteriores y pisos.</p>

Localización de los elementos expuestos

Con el fin de definir si un área urbana está expuesta a inundaciones, es posible realizar un análisis de susceptibilidad en el que se determinen zonas inundables. Conociendo esta condición del terreno y la localización de los elementos, se puede determinar si éstos están o no expuestos a la ocurrencia de eventos. En Torgersen et al. (2017) se presenta una metodología con el fin de identificar si los edificios de un área urbana se encuentran expuestos a inundaciones a partir de un análisis multivariado considerando variables relacionadas con parámetros del terreno (pendiente, curvatura), distancia en planta de los cuerpos de agua a las construcciones, la elevación de las construcciones, entre otros parámetros.

Para efectos de evaluaciones de riesgo, conocer la ubicación de los elementos es útil para estimar la intensidad de los eventos a las cuales pueden estar expuestos. En el caso de inundaciones lentas, a partir de un modelo de amenaza se podrá establecer (para un evento determinado, o para un cierto periodo de retorno) la velocidad del flujo y la profundidad de la inundación que pueden llegar a presentarse en la ubicación de cada elemento. A partir de estos datos es posible realizar conteos y estimaciones del valor expuesto según rangos de las intensidades del evento. Como ejemplo, usando los datos del Mapa 11 se podría conocer cuántas construcciones están expuestas a tirantes hídricos superiores a 0.5 m.



Mapa 11. Zonas de amenaza por inundación en San Marcos. Período de retorno de 100 años. Distribución geográfica de construcciones en el municipio.

Para los municipios de Colombia existe información cartográfica catastral a nivel de construcciones. De esta manera, es posible definir la localización de los elementos expuestos mediante las coordenadas del baricentro de los polígonos que describen a las construcciones. De esta manera, se recomienda solicitar la información catastral municipal a las autoridades competentes. Bogotá, Medellín, Santiago de Cali y el departamento de Antioquia tienen catastros individuales. Para los demás municipios, la autoridad nacional que administra esta información es el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

En el caso de inundaciones lentas, además de la ubicación en planta de las construcciones, es relevante conocer su ubicación en altura. Por esta razón se recomienda determinar su elevación según el modelo digital del terreno. Asimismo, se recomienda realizar encuestas en campo a través de las cuales se pueda identificar la altura de los edificios sobre la rasante. En el Anexo 1 se presentan ejemplos de formatos para la recolección de datos en campo.

Valor de los elementos expuestos

El valor expuesto es relevante para dar mayor significado a los posibles daños por eventos desastrosos. Dicho valor puede expresarse en términos económicos, de habitantes, de servicios entre otros aspectos. En este capítulo se hace énfasis en el avalúo de las construcciones y de los contenidos, así como en la población expuesta.

Avalúo catastral

Las bases de datos cartográficas catastrales comprenden un conjunto de polígonos correspondientes a cada construcción, cada una identificada por un código catastral. Para los municipios cuyo catastro se rige bajo la administración del IGAC, existe una base de datos denominada Registro Uno (IGAC, 2016) que contiene información respecto al número del predio (código de identificación), el área del terreno, el área construida y el avalúo catastral. Así, a partir de consultas según el número de predio es posible conocer el avalúo (usando el Registro Uno) y su localización utilizando la información cartográfica catastral.

En caso de no existir información del avalúo catastral, es posible realizar aproximaciones al valor de las construcciones a partir del área construida y valores de referencia de costos por m² según usos, estratos y zonas homogéneas tales como barrio, sector urbano, etc. En Ward et al. (2011), Vu & Ranzi (2017), Figueiredo & Martina (2016) y en MADS (2014) se recomienda realizar modelos de exposición cuya unidad de análisis son celdas de determinada área. Los valores de cada celda pueden obtenerse a partir de criterio de expertos, información auxiliar como estratos socioeconómicos o encuestas realizadas en campo.

Avalúo y tipos de contenidos

Considerando el alcance propuesto para el modelo de exposición, llevar a cabo un análisis detallado de la fragilidad de los contenidos es poco práctico y puede resultar bastante costoso frente a la precisión de los datos obtenidos. Por esta razón, se recomienda considerar tipologías de contenidos para las construcciones de los grupos de uso I y II de la NSR-10 (AIS 2010).

Para estos casos, se recomienda realizar encuestas en campo en una muestra de sitios en los que se determine el uso de los edificios y se recopilen datos respecto a las condiciones económicas (estrato, niveles de ingreso, etc.) así como el valor de los contenidos. De esta manera, es posible establecer relaciones entre las condiciones económicas y los

valores de los contenidos observados mediante encuestas. Por ejemplo, a partir de los datos podría determinarse un valor promedio, mínimo y máximo de los contenidos para cada estrato socioeconómico.

En la Tabla 13 se presenta información considerada relevante para la descripción de condiciones económicas de hogares y viviendas. En cuanto a los tipos de contenidos, se recomienda utilizar las variables de los hogares disponibles en el formulario ampliado del Censo Nacional del 2005 (DANE, 2012a). Al respecto, se recomienda verificar mediante encuestas en campo si las viviendas visitadas cuentan con determinados electrodomésticos, mobiliario, vehículos, entre otros, que puedan ser de interés para el análisis del municipio. A su vez conviene recolectar información respecto al número de ocupantes.

Tabla 13. Información relevante para identificar condiciones económicas de los hogares

Condiciones económicas	Relevancia
Uso	Útil para establecer reglas de clasificación de las propiedades de las estructuras según el uso. Por ejemplo: los edificios de bodegas pueden considerarse como edificios de pórticos de concreto de 1 planta sobre rasante.
Estrato	Útil para establecer aproximaciones al valor de la construcción y de los contenidos.
Ingresos	
Tenencia	Las condiciones de tenencia.
Cuota deuda	Útil para definir el valor de la construcción.
Valor arrendamiento	Útil para definir el valor de la construcción.
Actividad económica en la vivienda	Útil para determinar posibles consecuencias por la interrupción de actividades económicas ante daños que se puedan presentar en la vivienda
Valor de la construcción	Útil para revisar la información del avalúo catastral.

En el caso de edificios indispensables de atención a la comunidad y de ocupación especial, se recomienda realizar consultas específicas respecto al valor de sus contenidos. En el Anexo 1 se presentan ejemplos de formularios útiles para la recopilación de información en campo respecto al valor de construcciones y contenidos.

Población

Entre la información disponible para identificar el número de habitantes y su distribución geográfica se encuentra el formulario del Censo Básico del 2005 (DANE 2005), en el cual se puede consultar, a nivel de manzanas, la población según sexo, rangos de edad, lugar de nacimiento, grupos étnicos, entre otras variables. A su vez, el DANE ofrece información de proyecciones de población entre 1985 y 2020. A partir de estos datos, es posible estimar la población a nivel de manzana a un año deseado.

En el caso que se desee realizar una distribución de población a nivel de construcciones, será necesario realizar supuestos en términos del número de personas por edificio, ocupantes por metro cuadrado, entre otros. En este caso, será necesario realizar chequeos para verificar que el total de la población estimada, según habitantes por edificio, sea consistente con las proyecciones de población y la distribución de población según manzanas del censo.

Características físicas de los elementos expuestos y su distribución geográfica

Una de las incógnitas de los modelos de exposición corresponde a determinar cuáles son las propiedades de los elementos que los hacen propensos a sufrir daños por eventos desastrosos. De acuerdo con Figueiredo et al. (2017), una inadecuada descripción de los edificios puede resultar en una inapropiada estimación de daños debido al uso de funciones de fragilidad/vulnerabilidad que no corresponden a las características del elemento expuesto. Figueiredo et al. (2017) propone las siguientes variables y pesos de importancia relativa (subjetivos) para evaluar el desempeño de modelos de exposición ante inundaciones: a) basadas en la identificación de las propiedades físicas de los elementos, tales como material de construcción, número de pisos (45%), b) basadas únicamente en el tipo de edificio, tales como vivienda unifamiliar (35%), c) basadas únicamente en el tipo de ocupación (25%). De esta manera, se encuentra que se da mayor importancia al uso de modelos de exposición en los cuales se consideren características estructurales de los edificios.

De acuerdo con Gutenson et al. (2017a), la precisión de la estimación de daños en los edificios depende de todos los parámetros considerados, tales como la clasificación de ocupación, la función de fragilidad/vulnerabilidad asignada y el avalúo asumido. Dado que no se tiene pleno conocimiento sobre todas las propiedades de los edificios, es recomendable que se consideren múltiples valores para cada uno de los parámetros que los describen. Con el fin de apoyar el proceso de clasificación de estructuras, en Gutenson et al. (2017b), se presenta una herramienta para asignar tipologías (y sus correspondientes funciones de fragilidad) a partir de la información catastral disponible. Ante limitaciones de información requerida para realizar modelos de exposición a nivel de edificios, Figueiredo y Martina (2016) proponen un procedimiento para realizar modelos de exposición a partir de información catastral y censal, considerando como unidad de análisis celdas de determinada área.

Ante información escasa, Rodríguez-Gaviria (2016), recomienda describir las construcciones a partir del material de las paredes, material de los pisos, condiciones de hacinamiento, presencia de población vulnerable, número de pisos, nivel de elevación de la construcción sobre la rasante y percepción del riesgo por inundaciones de los ocupantes.

Adoptando estas recomendaciones y teniendo en cuenta el alcance propuesto para el desarrollo de modelos de exposición, se recomienda simplificar el análisis mediante la clasificación de los edificios en tipologías según propiedades estructurales. Una tipología corresponde a la combinación de un conjunto de características de los edificios, tales como sistema resistente, material de la construcción, número de plantas sobre rasante, entre otros.

En este capítulo se presentan recomendaciones y se sugiere un procedimiento para realizar tales clasificaciones según zonas homogéneas, información recopilada en campo e información secundaria (ver Figura 11). Este procedimiento parte de la definición de un conjunto de zonas homogéneas, en las cuales se considere que las construcciones guardan similitudes y que es posible resumir el ambiente construido en un conjunto de tipologías (p. ej. 30% de mampostería de una planta, 70% de adobe de una planta).

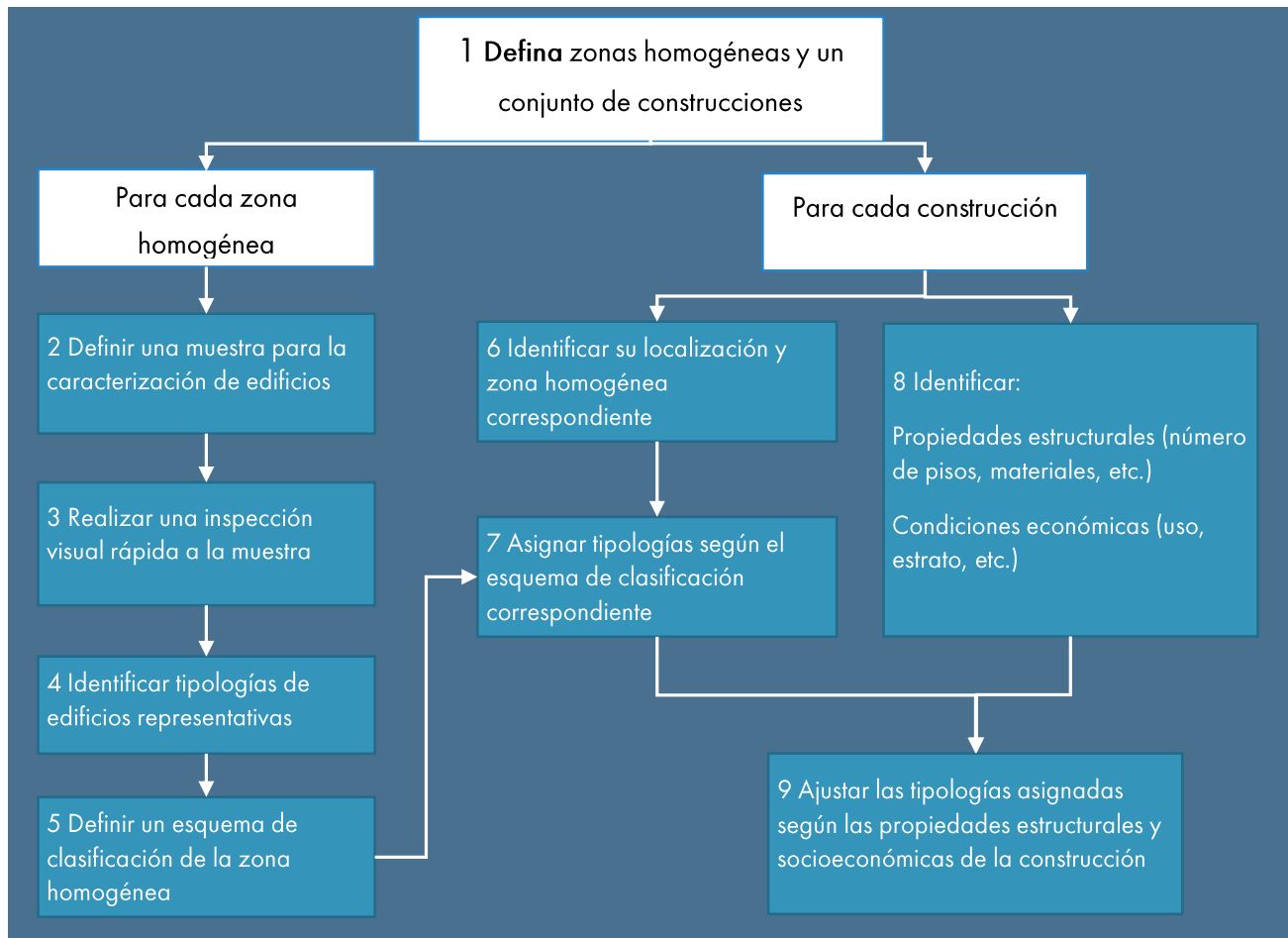


Figura 11. Procedimiento para la clasificación de edificios y asignación de tipologías estructurales

Una vez definidas las zonas, se recomienda elaborar una muestra de sitios para la realización de inspecciones visuales, a partir de las cuales se puedan identificar propiedades de las estructuras. Así, a partir de las inspecciones, será posible estimar los porcentajes de participación de cada tipología en cada zona. Al conjunto de fracciones definido se le denomina esquema de clasificación.

Por otro lado, a partir de la información catastral será posible identificar características estructurales de las construcciones, tales como número de plantas sobre rasante, y en el caso de estar disponibles, datos relacionados con el material de construcción, material de las paredes, entre otros. A su vez, será posible determinar otras características que pueden orientar la asignación de tipologías estructurales tales como el estrato socioeconómico, el destino, el uso de los edificios, entre otras variables.

De esta manera, será posible generar una base de datos georreferenciada en la que se asigne, a cada construcción, un conjunto de posibles tipologías estructurales según el esquema de clasificación de la zona homogénea a la que pertenece. Adicionalmente, tal esquema de clasificación podrá ajustarse según la información catastral disponible. A continuación, se presentan recomendaciones para el uso del procedimiento propuesto.

Definición de zonas homogéneas

Para la definición de zonas homogéneas se recomienda considerar criterios como:

Uso: Se pueden delimitar zonas en el municipio según los usos predominantes de las construcciones acordes a la información catastral disponible. En este caso, se recomienda tener información cartográfica respecto al uso o destino económico de las construcciones, o bien de los usos permitidos en los instrumentos de planificación territorial.

Divisiones administrativas: Al respecto, es posible establecer zonas homogéneas según barrios o bien adoptar áreas definidas por sectores y secciones censales o catastrales. En este caso, se recomienda acceder a la información del Marco Geoestadístico Nacional administrado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), o a la información cartográfica catastral del municipio.

Identificación de una muestra de edificios para inspecciones en campo

De acuerdo con De Risi et al. (2013), una muestra para la inspección de edificios es útil para describir la variación espacial de las características de los edificios en un área de estudio. Así, una vez definidas las zonas homogéneas en el municipio, se sugiere realizar un número de inspecciones (en campo o remotas) con el fin de determinar cuáles son las fracciones de edificios según tipologías estructurales. Considerando que la población de edificios es finita, el tamaño N de una muestra aleatoria de inspecciones puede calcularse empleando la siguiente expresión (Valdivieso-Taborga, C.E., Valdivieso-Castellón, R., Valdivieso-Taborga, 2011).

$$N = \frac{L Z_{\alpha}^2 p q}{\varepsilon^2 (L - 1) + Z_{\alpha}^2 p q}$$

Ecuación 6.

En dónde L corresponde al total de edificios, Z_{α} es el valor correspondiente al intervalo de confianza deseado en la distribución normal estándar, ε es el error deseado, p es la proporción de edificios que tienen la característica del estudio (que sean de una determinada tipología); q se calcula como $(1-p)$ y corresponde a la proporción de edificios en los que no se encuentra la característica del estudio.

Con el fin de refinar el proceso de muestreo y análisis de la población de edificios, es posible realizar un muestreo estratificado (Devore, 2013) en el cual se separan las construcciones en grupos que no se traslapan y para cada grupo de estos se establece una muestra. Por ejemplo, es posible clasificar los edificios de una zona homogénea según número de plantas sobre la rasante. Para cada conjunto de edificios, descrito por el número de pisos (1,2,3,4...n) se podría definir una muestra de las construcciones a inspeccionar.

En Porter et al. (2014) se presentan diferentes alternativas para definir el tamaño de una muestra de inspecciones según la información disponible y uso de la experiencia y criterio de expertos para la clasificación de edificios en tipologías. Por simplicidad, Porter et al. (2014) sugieren que se realicen como mínimo 30 inspecciones en cada zona homogénea.

Recopilación de Información en campo a través de inspecciones y encuestas

Frente a la evaluación del riesgo por inundaciones a escala urbana, de acuerdo con Apel et al. (2009) la aplicación de modelos detallados puede tener limitaciones por la adopción de supuestos respecto a los elementos expuestos (p. ej.; uso, tipo, etc.). Tales limitaciones pueden solucionarse mediante encuestas en campo, o a través de información de fuentes alternativas tales como imágenes satelitales.

Con el fin de definir propiedades físicas de los edificios que sean relevantes para evaluar daños potenciales ante inundaciones, De Risi et al. (2013) consideran las siguientes características: número de plantas, la altura de entrepiso, dimensiones y geometría general de las construcciones, propiedades de las paredes, pisos y techos, altura de los edificios respecto a la rasante, así como condiciones de aberturas de puertas y ventanas.

Tomando como referencia las anteriores propiedades, así como los atributos propuestos por Bzrev et al. (2013) para la clasificación de edificios en tipologías, en la Tabla 14 se presenta la información considerada relevante para la descripción de las características estructurales de los edificios expuestos a inundaciones lentas. En el Anexo 1 se presentan detalles de tales características.

Tabla 14. Información relevante para la caracterización de las propiedades estructurales de edificios.

Componente de la estructura	Características	Relevancia
Sistema resistente a cargas	Sistema resistente a cargas	Útil para definir el tipo de estructura (muros, pórticos) y los materiales de construcción que estarán expuestos ante las cargas derivadas por el empuje del agua.
	Material sistema resistente	
	Fecha de construcción	Útil para definir condiciones de ductilidad y de resistencia de los elementos estructurales.
Pisos	Material del sistema resistente del piso	Propiedades útiles para determinar si existen condiciones de diafragma rígido.
	Sistema de soporte del piso	
	Conexión del piso a la estructura	
	Material de acabado del piso	Útil para determinar condiciones de impermeabilidad
Techo	Forma del techo	Útil para determinar la capacidad de drenaje de la cubierta
	Material de la cubierta	Útil para determinar condiciones de impermeabilidad
	Material del sistema resistente del techo	Propiedades útiles para determinar si existen condiciones de diafragma rígido
	Sistema de soporte del techo	
	Conexión del techo a la estructura	
Paredes	Material de paredes	Útil para determinar condiciones de impermeabilidad
	Porcentaje de abertura de paredes	Condiciones útiles para evaluar la impermeabilidad y superficie resistente a las presiones ejercidas por el agua.
	Número de plantas sobre rasante	

Altura y número de plantas	Número de plantas bajo rasante	Información útil para determinar la altura de la estructura y la distribución de los elementos expuestos en cada planta.
	Altura entrepiso	
Nivel sobre rasante y protecciones	altura entrada sobre la rasante	Propiedades útiles para determinar si existen elementos de protección ante inundaciones y la altura a la cual la estructura estaría protegida.
	Altura protección	

Para la recolección de información en campo se recomienda el uso de herramientas que faciliten la edición y personalización de encuestas, así como su uso en dispositivos móviles y el almacenamiento y distribución de los datos en formato digital. En la siguiente tabla se presenta una breve descripción de herramientas disponibles:

Tabla 15. Herramientas útiles para la recolección de información en campo.

Aplicación	Ventajas	Limitaciones	Acceso a la herramienta
Qt Field	<ul style="list-style-type: none"> - Distribución gratuita. - Compatible con el sistema de información geográfica Quantum GIS (QGIS) de libre distribución. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultades para gestionar datos en línea. - Requiere la definición de un proyecto y capas de trabajo en QGIS. - El tamaño de la pantalla y de los formularios puede presentar diferencias según el dispositivo móvil. 	Libre mediante Google Play Store
Survey 123 Arcgis	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil personalización de formularios. - Permite la verificación y actualización de datos en línea. - Permite la descarga de datos en línea. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere una licencia de ArcGis. 	Sitio web: https://survey123.arcgis.com/
Fulcrum	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil personalización de formularios. - Permite la verificación y actualización de datos en línea. - Permite la descarga de datos en línea 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere una licencia por usuario. 	Sitio web: https://www.fulcrumapp.com/

En el caso que se decida recopilar la información a través de formularios impresos, en el Anexo 1 se presentan ejemplos las opciones que pueden considerarse para cada una de las propiedades estructurales listadas en la Tabla 14.

Definición de tipologías estructurales

Se recomienda definir tipologías estructurales para el municipio de estudio a partir de la combinación de propiedades tales como el material de construcción, el sistema resistente a cargas, el sistema de soporte del techo, el número de plantas, entre otras que se consideren de interés. En la Figura 12 se presentan ejemplos de tipologías que resultan de la combinación de tales propiedades. Por ejemplo, en esta figura se puede encontrar una tipología de edificios de concreto de columnas y vigas, cuyo sistema de techo son losas con vigas, de una planta.

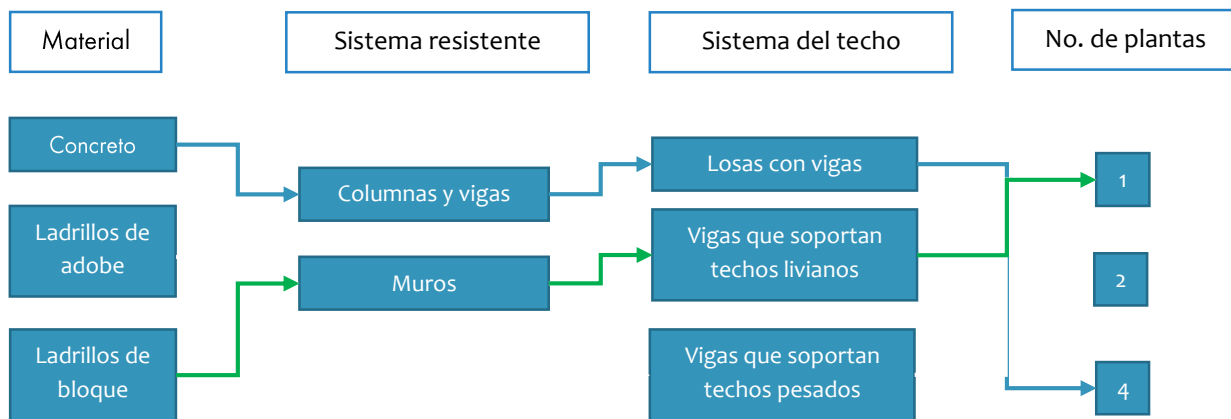


Figura 12. Ejemplos de tipologías a partir de la combinación de propiedades estructurales

De la *Figura 12* se observa que podrían obtenerse 54 posibles combinaciones: 3 (tipos de material) x 2 (sistema resistente) x 3 (sistema de techo) x 3 (plantas). No obstante, no todas estas combinaciones tendrán que encontrarse en el municipio del estudio, incluso algunas combinaciones pueden resultar poco frecuentes o imposibles, tales como columnas y vigas de ladrillos de arcilla. Las tipologías presentes en el municipio podrán determinarse a partir de los resultados de las inspecciones en campo, de la descripción de los edificios de la muestra y del criterio de experto.

Selección de tipologías representativas

Una vez definidas las tipologías, es posible estimar los porcentajes de participación de cada una respecto al total de edificios inspeccionados. Con el fin de simplificar el modelo de exposición, se recomienda eliminar las tipologías cuya participación no se considere significativa. En este sentido, se recomienda descartar tipologías cuya participación sea inferior al 1% del total de las inspecciones, o bien, incluir tantas tipologías como sea necesario para describir el 90% del ambiente construido en el municipio.

Elaborar esquemas de clasificación

Un esquema de clasificación representa un conjunto de reglas que permiten clasificar un edificio en tipologías estructurales a partir de un conjunto de propiedades o parámetros. En este sentido, se recomienda establecer, para cada zona homogénea, un conteo de las tipologías encontradas en las inspecciones. Así, para cada sector urbano es posible estimar el porcentaje de participación de cada tipología estructural respecto al total de tipologías identificadas. En la *Tabla 16* se presenta un ejemplo de un esquema de clasificación para una zona homogénea dada (X-XX-XX) para la cual se encuentra un conjunto de tipologías T_i $\{T_1, T_2, T_3, T_4, \dots, T_n\}$ cada una con un porcentaje de participación P_i $\{P_1, P_2, P_3, P_4, \dots, P_n\}$. Se resalta que la suma de los porcentajes de participación P_i debe ser igual a 1.

Tabla 16. Ejemplo de un esquema de clasificación para una zona homogénea

ZONA HOMOGÉNEA	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T _N
X-XX-XX	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P _n
	%	%	%	%		%

Identificar propiedades estructurales de las construcciones a partir de información secundaria

Dada una construcción específica, conociendo sus coordenadas es posible determinar a cuál zona homogénea del municipio pertenece. Conociendo tal zona, se podría asignar a dicha construcción las fracciones de las tipologías estructurales definidas en el esquema de clasificación correspondiente. Con el fin de refinar las tipologías asignadas, se recomienda adquirir otras fuentes de información respecto a las propiedades estructurales y condiciones de uso de los edificios. En este sentido, la información catastral disponible respecto al número de plantas sobre rasante, el material de los pisos y las paredes exteriores, así como el uso y el estrato, pueden ayudar a refinar la asignación de tipologías estructurales.

Como ejemplo, en la Figura 13 se presenta un conjunto de construcciones para las cuales se conoce su código de identificación. Para la identificada con el ID 13427, en la base de datos de catastro se encuentra que el número de plantas es 1. Dado que en la información catastral es posible conocer la ubicación de la construcción, es también posible conocer el sector urbano al que pertenece. Para efectos del ejemplo, se supone que dicha construcción pertenece al sector S1 para el cual se determinó el esquema de clasificación de la Tabla 17.

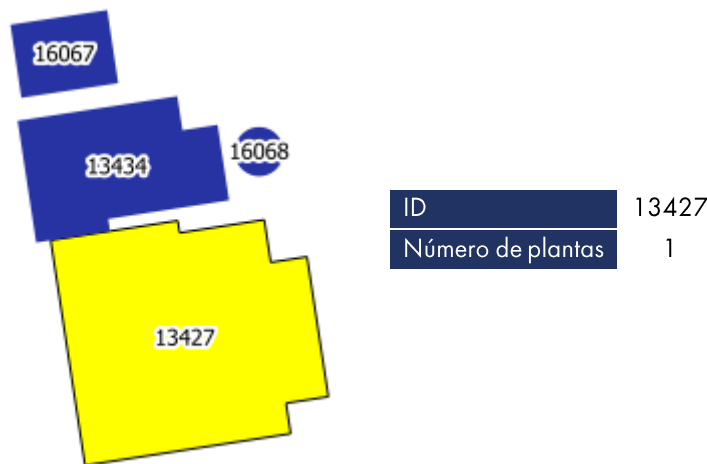


Figura 13. Ejemplo: número de pisos identificado en las bases de datos catastrales para una construcción dada

Tabla 17. Ejemplo: esquema de clasificación del sector al que pertenece una construcción dada.

SECTOR	T1	T2	T3	T4	T5
R	1 PLANTA	1 PLANTA	1 PLANTA	2 PLANTAS	2 PLANTAS
S1	20%	30%	10%	20%	20%

Dado que la construcción del ejemplo es de una planta, se considera que las tipologías que pueden asignarse son las siguientes: T1, T2 y T3, ya que son tipologías de una planta. El porcentaje de participación de cada tipología se ajusta respecto a la suma de los porcentajes de participación de las tipologías de una planta (60% en este caso). En la *Tabla 18* se presentan los porcentajes de participación de las tipologías asignadas a la construcción del ejemplo.

Tabla 18. Ejemplo: porcentajes de participación de tipologías asignadas a una construcción dada conociendo el número de plantas.

ID	T1	T2	T3	T4	T5
	1 planta	1 Planta	1 Planta	2 plantas	2 plantas
13427	20% / 60%	30% / 60%	10% / 60%	0%	0%

Condiciones adicionales respecto al uso de la construcción y estrato podrían emplearse para continuar descartando las tipologías asignadas. Por ejemplo, a partir del conocimiento de expertos, podría establecerse que las construcciones industriales corresponden a bodegas de dos plantas de pórticos de concreto, o bien, que no existen edificios de adobe en estratos 4, 5 y 6. Así, el procedimiento descrito puede aplicarse a cada uno de los elementos existentes en la base de datos de catastro. Este procedimiento es suficiente para clasificar las construcciones en tipologías estructurales según zona homogénea, considerando los resultados de inspecciones visuales, información catastral y censal secundaria y el criterio de expertos.

Una vez que se definan las tipologías constructivas representativas de la zona de estudio, se recomienda asignarles un nombre. En primer lugar, podrían considerarse nombres como: muros de mampostería no reforzada, de dos plantas sobre rasante, de cubierta ligera no conectada con la estructura. No obstante, estos nombres resultan en cadenas de texto extensas, sin un orden específico, que dificultan el tratamiento de los datos de forma sistemática.

De esta manera, se recomienda establecer un esquema para definir los nombres de las tipologías. En forma general, dicho esquema se puede elaborar bajo el siguiente procedimiento:

- a) Defina un conjunto de propiedades y un orden para describir las tipologías. Por ejemplo: 1) Sistema resistente; 2) Número de plantas; 3) Tipo de cubierta; 4) Uso.

- b) Para cada propiedad establezca un conjunto de las posibles opciones más representativas que se encuentren en la zona de estudio y asigne un código a cada una. En la *Tabla 19* se presentan ejemplos de algunas de estas propiedades.

Tabla 19 Ejemplos de propiedades de sistema resistentes a cargas, tipos de cubiertas y usos

Sistema resistente a cargas	Tipo de cubierta	Usos
- PCR: Pórticos de concreto reforzado	- CL: Cubierta liviana	- RES: Residencial
- PA: Pórticos de acero	- CP: Cubierta pesada	- CO: Comercial
- PM: Pórticos de madera		
- MM: Muros de mampostería		
- MB: Muros de bahareque		
- MT: Muros de tapia pisada		

- c) Establezca una cadena de caracteres siguiendo el orden establecido en el paso (a) y las opciones y códigos definidos en el paso (b). Ejemplo: PCR-03-CL-RES: representaría pórticos de concreto reforzado de 3 plantas sobre rasante, de cubierta liviana y de uso residencial

Se señala que las personas encargadas de elaborar el modelo de exposición pueden definir las propiedades estructurales y tipologías que consideren más relevantes para la zona de estudio. Entre las propiedades más relevantes para determinar una tipología se encuentra el sistema resistente a cargas, el material de construcción y el número de plantas. En el capítulo de vulnerabilidad física se presenta un ejemplo para la definición de tipologías estructurales. Detalles respecto a la definición de una taxonomía de edificios se encuentran en Bzrev et al. (2013).

Identificación de medidas de protección ante inundaciones y daños ocurridos

En zonas en las que frecuentemente ocurran inundaciones lentas, es posible que se hayan desarrollado medidas de protección tanto externas como internas para reducir los impactos de tales eventos. Entre las medidas externas pueden encontrarse elevaciones de las construcciones respecto a la rasante o bien barreras de protección para evitar el acceso del agua a las construcciones.

Las medidas internas corresponden a alternativas de protección de los contenidos, buscando localizarlos a alturas considerables de la entrada o la superficie. Estas medidas pueden reducir los daños siempre y cuando la altura de la inundación no supere la altura de las medidas de protección.

Con el fin de considerar las medidas de protección en los elementos expuestos, se recomienda realizar encuestas en una muestra de sitios, preferiblemente en zonas de mayor amenaza. Dado que puede presentarse una gran variedad de medidas y alturas de protección, se recomienda identificar si existen o no medidas tales medidas, así como la altura promedio a la que se localizan tales medidas.

A su vez, durante el trabajo de campo y encuestas realizadas, puede ser de utilidad recopilar información respecto a los eventos de inundación ocurridos y los daños asociados. Al respecto, Berg et al. (2014) recomiendan considerar

información respecto al nivel de agua alcanzado, así como efectos de la inundación en términos de erosión en la cimentación del edificio, acumulación de materiales en las fachadas y su espesor, daños por objetos flotantes que puedan impactar la estructura, entre otros.

Sobre esa información podría también considerarse el porcentaje de daño general del edificio, de los contenidos, el tiempo de recuperación de los propietarios, la pérdida de funcionamiento de servicios públicos, la interrupción de actividades comerciales e industriales, así como efectos en la salud, entre otras variables que puedan resultar de interés. Tal información puede ser útil para ajustar los modelos de amenaza, así como el análisis de vulnerabilidad de las construcciones y realizar análisis de los impactos sociales y económicos de las inundaciones.

Consideraciones sobre la infraestructura, edificios indispensables, de atención a la comunidad y de ocupación especial

Con el fin de incluir en el análisis de daños de edificios indispensables, de atención a la comunidad y de ocupación especial, así como a la infraestructura de servicios públicos, se recomienda solicitar al Consejo Municipal de Gestión del Riesgo un listado de los edificios y estructuras que consideren relevantes para el estudio, tales como edificios de los usos II, III y IV de la NSR-10 (AIS, 2010). En caso de ser posible, se recomienda utilizar bases de datos georreferenciadas de tales construcciones.

Con el fin de identificar sus propiedades físicas se recomienda consultar diagnósticos existentes, planos arquitectónicos o estructurales y realizar inspecciones visuales. Asimismo, se sugiere elaborar encuestas para determinar el valor de las construcciones, contenidos y valor de las pérdidas por fallas en el servicio que prestan.

Resultados esperados del modelo de exposición

El principal resultado del modelo de exposición corresponde a una base de datos georreferenciada, a nivel de construcciones según la información catastral disponible, que contenga como mínimo, los campos descritos en la *Tabla 20* para cada elemento expuesto:

Tabla 20. Información mínima que debe contener el modelo de exposición.

Campo	Descripción
Identificador	Puede ser el código catastral, o un identificador definido por el responsable del estudio.
Coordenadas	Par ordenado que permite definir la localización del elemento. Se recomienda adoptar un sistema de coordenadas acordes a los resultados del modelo de amenaza.
Altura según el modelo digital del terreno	Elevación de la construcción según el modelo digital del terreno.
Altura sobre la rasante	Altura entre la rasante y el ingreso a la construcción.
Tipologías estructurales y porcentajes de participación de cada tipología	Una construcción puede describirse mediante un conjunto de tipologías. De esta manera, se recomienda incluir los porcentajes de participación de cada tipología, según los resultados de la definición de zonas homogéneas y de la información secundaria recopilada
Tipología de contenidos	Clasificación del tipo de contenidos según información considerada en el estudio
Valor del predio	Se recomienda utilizar el avalúo catastral correspondiente
Valor de contenidos	Obtenido según estimaciones realizadas a partir de encuestas e información secundaria respecto a variables como el estrato, el uso, el nivel de ingresos, etc.
Población	Al respecto, se señala que la población puede expresarse como valores totales por manzana, o bien, estimaciones a nivel de construcciones

Los campos descritos atrás se consideran importantes para el cálculo de daños y pérdidas ante inundaciones. Adicionalmente, la Tabla 21 presenta otros campos de interés y que corresponden a información auxiliar para el modelo de exposición y para el análisis de pérdidas esperadas.

Tabla 21. Información auxiliar para el modelo de exposición.

Campo	Descripción
Identificador de zonas homogéneas	Código de identificación de la zona homogénea a la que pertenece el elemento expuesto.
Uso	Uso de la construcción (residencial, comercial, etc.). Se recomienda adoptar la información disponible en bases de datos catastrales. En caso de no tener acceso a estos datos, se recomienda el uso de información obtenida a través de encuestas.
Estrato	Estrato socioeconómico.
Distancia a cuerpos de agua	Distancia en planta, medida desde la ubicación de la construcción hasta el borde del cuerpo de agua más cercano.
Número de plantas	Número de plantas sobre la rasante de la construcción.
Protección ante inundaciones	Existencia (si o no) de medidas de protección en la construcción ante inundaciones.

Conclusiones sobre la metodología

En este capítulo se presentan los objetivos, alcances y recomendaciones para el desarrollo de modelos de exposición que sean útiles para la evaluación del riesgo ante inundaciones lentas en cabeceras municipales a escala 1:2,000. Tal modelo contiene como mínimo información respecto a la localización, valor y propiedades físicas de los elementos que los hacen propensos a sufrir daños ante estos eventos. Considerando el detalle del estudio, se recomienda realizar el modelo de exposición a nivel de construcciones.

Para llevar a cabo el modelo se sugiere un procedimiento basado en información catastral y censal, que permita determinar la localización de las construcciones, así como su valor (avalúo catastral). A su vez, para la identificación de las propiedades físicas se propone dividir la cabecera municipal en zonas homogéneas, con el fin de realizar un conjunto de inspecciones en una muestra de sitios y así identificar tipologías estructurales representativas y sus porcentajes de participación, tipos y avalúos de contenidos y condiciones de protección ante inundaciones. A partir de las inspecciones, así como de la información catastral relacionada con el número de plantas, materiales de construcción y condiciones de uso y estrato, se puede determinar para cada construcción un conjunto de tipologías representativas.

El enfoque sugerido para el desarrollo de modelos de exposición tiene las siguientes ventajas:

Aplicabilidad: El procedimiento propuesto para elaborar un modelo de exposición a escala urbana se considera aplicable. La información necesaria para realizar el modelo corresponde a bases de datos catastrales que pueden solicitarse al IGAC o a la autoridad catastral correspondiente. Considerando que estos datos son para beneficio de los gobiernos locales y de la población en general y que será aplicada con fines de gestión del riesgo de desastres, tal información debe ser suministrada sin ningún costo. A su vez, la información censal, con su correspondiente cartografía, puede ser descargada de forma gratuita de los sistemas de consulta en línea del DANE.

En cuanto a los requisitos computacionales, el procedimiento propuesto no requiere del uso de software comercial. Si bien conviene tener acceso a sistemas de información geográfica, se resalta que existen varios programas de uso abierto (tales como QGIS, gvSIG, GRASS, SAGA-GIS, PostGis), con los cuales se puede llevar a cabo actividades que involucren el manejo de información cartográfica.

Utilidad para la estimación de daños y pérdidas económicas: El modelo contiene información respecto a la ubicación, las propiedades físicas de los elementos (construcciones, población y contenidos) y sobre el valor expuesto. Esta información es relevante para el análisis de pérdidas de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- *Conocer la ubicación permite identificar la intensidad de los eventos de inundación (tirante hídrico, velocidad) que pueden afectar a los elementos según el modelo de amenaza propuesto para el estudio.*
- *Las propiedades físicas son útiles para clasificar los elementos en tipologías. Para cada tipología pueden considerarse funciones de fragilidad (vulnerabilidad) que relacionen el daño (pérdida) con la intensidad de los eventos de inundación considerados.*

De esta manera, el modelo de exposición es completo y tiene información suficiente para el análisis de potenciales daños físicos y pérdidas económicas.

Usos potenciales del modelo de exposición en la gestión del riesgo por inundaciones: Elaborar una base de datos georreferenciada, con las características propuestas en estos lineamientos, contribuye a la ejecución de las siguientes actividades de gestión del riesgo:

Tabla 22. Usos potenciales del modelo de exposición en la gestión del riesgo por inundaciones.

Prevención	<ul style="list-style-type: none"> • Junto con los resultados del modelo de amenaza, es posible identificar y priorizar población y bienes expuestos en zonas de alta amenaza. • Identificar necesidades para el manejo y recuperación de zonas ocupadas y que se clasifican como de alta amenaza.
Reducción	<ul style="list-style-type: none"> • Junto con los resultados de los modelos de amenaza y de vulnerabilidad, el modelo de exposición contribuye al análisis de prefactibilidad de medidas de protección contra inundaciones y al análisis de costo beneficio de diferentes alternativas de reducción de pérdidas.
Manejo de emergencias	<ul style="list-style-type: none"> • Contar con inventarios de población expuesta y con estimaciones de posibles efectos por inundaciones, contribuye a los procesos de análisis y evaluación de necesidades de recursos para la respuesta y la atención de la comunidad afectada durante estos eventos.

Respecto a las limitaciones del procedimiento sugerido para el desarrollo de modelos de exposición ante inundaciones se señalan las siguientes:

Costos: El trabajo de inspecciones en campo requiere la destinación de un presupuesto para la contratación de personal que deberá recopilar la información y realizar las encuestas necesarias. Tales costos podrán acotarse según la disponibilidad de recursos. Con el fin de reducir estos costos se consideran las siguientes alternativas:

- Realizar inspecciones en campo únicamente en zonas que se consideren prioritarias debido a su cercanía a cuerpos de agua o por la importancia de los valores expuestos.
- Utilizar el criterio de experto para la definición de los porcentajes de participación de las tipologías en cada zona homogénea.
- Realizar un número de inspecciones en campo y completar el número de visitas mediante inspecciones remotas, utilizando imágenes disponibles en Google Street View.

Seguridad de las inspecciones en campo: Se recomienda que se identifiquen sectores en el municipio en los que por condiciones de seguridad se requiera la compañía de funcionarios de Defensa Civil, representantes de la comunidad, o de ser necesario de personal de la Policía Nacional, con el fin de garantizar la protección del personal durante el trabajo de campo.

Comunicación de los resultados: Vale la pena resaltar que, si bien es posible definir la ubicación de los elementos a nivel de construcciones, esto no implica que se deban presentar los resultados de pérdidas esperadas a este nivel de detalle. Dado que los edificios se clasifican en tipologías estructurales, los daños estimados (bajo un conjunto de supuestos) reflejan las pérdidas esperadas para un tipo de edificio, más no las pérdidas de una estructura en particular. De esta manera, se recomienda que la comunicación de los resultados se realice a nivel de manzanas censales o catastrales, o la unidad de análisis que se considere apropiada.

Evaluación y análisis de vulnerabilidad Física

Introducción

La evaluación de daños por inundación es un componente crucial de cualquier estrategia para la mitigación y gestión del riesgo de inundación (Messner & Meyer, 2007). A su vez, uno de los principales componentes en la evaluación de riesgo es la vulnerabilidad a la inundación (Banco Mundial, 2016).

El Decreto 1807 de 2014, define que para la incorporación de la gestión del riesgo en la expedición de nuevos Planes de Ordenamiento Territorial o para su ejecución, se deben elaborar estudios detallados en los cuales se incluya la evaluación de la vulnerabilidad. En esta evaluación es necesario establecer las características, la resistencia que ofrece a la amenaza para cada fenómeno y los tipos de daño o efecto esperado sobre los elementos expuestos.

Al evaluar la vulnerabilidad física se debe determinar la relación entre algún parámetro descriptivo de la amenaza y el grado de daño esperado de un elemento expuesto. La vulnerabilidad física es representada por medio de funciones las cuales relacionan de manera gráfica o matemática la amenaza y el porcentaje de afectación esperado en términos de pérdidas económicas para un elemento expuesto en proporción con su valor de reposición.

Los modelos de evaluación de daños disponibles se pueden clasificar en modelos empíricos y modelos sintéticos (Smith, 1994). Los modelos empíricos permiten definir las funciones de vulnerabilidad a partir de registros de daños en eventos anteriores, mientras que los modelos sintéticos adoptan un enfoque basado en expertos utilizando hipótesis y suposiciones sobre mecanismos de daños (análisis de situaciones hipotéticas) (Dottori, Figueiredo, Martina, Molinari, & Scorzini, 2016).

En este capítulo se presenta una metodología que permite evaluar la vulnerabilidad física mediante modelos sintéticos a partir de técnicas de simulación considerando características de los elementos expuestos identificables a través de inspecciones visuales y encuestas a los ocupantes. Esta metodología es una alternativa válida para la evaluación de la vulnerabilidad física en los estudios de riesgo detallados requeridos en la incorporación de la gestión del riesgo en la expedición de nuevos planes de ordenamiento territorial.

Objetivos

El principal objetivo de este capítulo es presentar una metodología de evaluación de la vulnerabilidad física ante inundación lenta, que pueda ser utilizada en los estudios detallados de riesgo establecidos en el Decreto 1807 de 2014. Los objetivos específicos son:

- i) Seleccionar una serie de parámetros influyentes en el comportamiento de las edificaciones y sus contenidos ante inundación con el fin de levantar esta información en campo o fuentes secundarias para desarrollar el análisis de vulnerabilidad.
- ii) Definir criterios para la recolección de información en campo necesaria para la estimación de funciones de vulnerabilidad física acorde a la metodología de modelación y análisis propuesta.
- iii) Proponer criterios de análisis que permitan representar de la mejor manera el comportamiento de los elementos expuestos ante diferentes parámetros descriptivos de la amenaza por inundación como los son el tirante hídrico y la velocidad media de flujo.
- iv) Presentar un procedimiento completo que permita evaluar el comportamiento de las edificaciones y sus contenidos ante inundaciones lentas desde la toma de información hasta la obtención de funciones de vulnerabilidad que sean útiles para hacer una estimación cuantitativa del riesgo.

Alcance

La metodología presentada está orientada a proporcionar las herramientas suficientes para evaluar la vulnerabilidad física para estudios detallados en zonas urbanas a escala 1:2.000. Los procedimientos descritos deben ser aplicados a las tipologías identificadas y depuradas en la elaboración del modelo de exposición.

En la Tabla 23 se presentan algunas recomendaciones para definir el alcance de la evaluación de la vulnerabilidad física de acuerdo con la categoría del municipio definida en la Ley 617 de 2.000 y al grupo de uso de cada una de las edificaciones según las definiciones dadas en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10 (AIS, 2010).

Tabla 23. Alcance recomendado según categoría de los municipios y el grupo de uso de las edificaciones.

Categoría del municipio.	Detalle de análisis recomendado		
	Edificios del grupo de uso I y II según NSR-10	Edificios del grupo de uso III y IV según NSR-10	Obras de infraestructura.
Especial, primera y segunda.	Realizar análisis de vulnerabilidad para un grupo de tipologías donde el número de elementos que representan, alcance al menos el 80% del total de elementos expuestos de la cabecera municipal. Para las tipologías restantes construir o adoptar otras	Realizar análisis individual de vulnerabilidad ante inundación siguiendo la metodología propuesta en este documento para cada una de las edificaciones localizadas en zonas inundables en la cabecera municipal.	En obras de infraestructura cuya estructura sea similar a una edificación, aplicar la metodología propuesta en este documento a tipologías y/o elementos individuales según criterio del consultor a cargo. Para obras de infraestructura cuyo comportamiento no se asemeje al

	funciones de vulnerabilidad con criterio de expertos.		de una edificación, se construyen o adoptan funciones de vulnerabilidad existentes con criterio de expertos.
Tercera y cuarta	Realizar análisis de vulnerabilidad para un grupo de tipologías donde el número de elementos que representan, alcance al menos el 60% del total de elementos expuestos de la cabecera municipal. Para las tipologías restantes construir o adoptar otras funciones de vulnerabilidad con criterio de expertos.	Realizar análisis individual de vulnerabilidad ante inundación siguiendo la metodología propuesta en este documento para cada una de las edificaciones localizadas en zonas inundables en la cabecera municipal.	En obras de infraestructura cuya estructura sea similar a una edificación, aplicar la metodología propuesta en este documento a tipologías y/o elementos individuales según criterio del consultor a cargo. Para obras de infraestructura cuyo comportamiento no se asemeje al de una edificación, se construyen o adoptan funciones de vulnerabilidad existentes con criterio de expertos.
Quinta y sexta	Utilizar funciones de vulnerabilidad existentes. Construir o adoptar otras funciones de vulnerabilidad con criterio de expertos.	Realizar análisis individual de vulnerabilidad de contenidos ante inundación siguiendo la metodología propuesta en este documento para cada una de las edificaciones localizadas en zonas inundables en la cabecera municipal. Construir o adoptar funciones de vulnerabilidad existentes para edificaciones con criterio de expertos.	Se construyen o adoptan funciones de vulnerabilidad existentes con criterio de expertos.

Fuente: Funciones de vulnerabilidad ante inundación para diferentes obras de infraestructura pueden consultarse en Cardona (2017).

Detalles metodológicos

La metodología propuesta para la evaluación de la vulnerabilidad física considera que las pérdidas económicas en un elemento expuesto se concentran principalmente en dos componentes, a los que denominaremos rubros (ver Glosario): os contenidos muebles y la edificación (elementos estructurales y no estructurales). La metodología se basa en construir funciones de vulnerabilidad a partir de técnicas de simulación considerando características identificables mediante inspecciones visuales. Se definen tipologías que permitan representar en una función de vulnerabilidad un grupo de elementos expuestos con características similares (ver Figura 14).

Para el caso de las inundaciones se puede describir la amenaza a partir de magnitudes tales como el tirante hídrico externo e interno de la edificación, la duración de la inundación, la calidad del agua y la carga de sedimentos (Dottori et al., 2016), además de la velocidad media de flujo.

Siendo variables altamente influyentes en la generación de daño, y considerando que son las magnitudes de intensidad que comúnmente describen la amenaza por inundación, el tirante hídrico y la velocidad media de flujo son las únicas variables consideradas para evaluar los efectos de la amenaza sobre los rubros analizados.

Mientras que la mayoría de los contenidos en edificaciones de uso residencial, oficinas, bodegas entre otros, se ven seriamente afectados por el tirante hídrico, los daños importantes en los elementos estructurales y elementos no estructurales principales están en función de los esfuerzos a los que se encuentran sometidos. Los esfuerzos generados por la acción del agua durante un evento de inundación dependen del tirante hídrico y la velocidad media de flujo, es por esto por lo que se propone estimar funciones de vulnerabilidad independientes para los rubros de contenidos y edificaciones.

Otros factores como el impacto de desechos, la erosión y socavación de la cimentación pueden debilitar la estructura, sin embargo, no son considerados (FEMA, 2012).

Algunas de las fuentes de incertidumbre involucradas en la evaluación de la vulnerabilidad física se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 24. Incertidumbres involucradas en la metodología propuesta para la evaluación de la vulnerabilidad física

Fuente de incertidumbre	Propuesta metodológica
Incertidumbre aleatoria. Asociada a la localización de los contenidos, su precio y la tenencia en cada uno de los elementos expuestos. Incertidumbre que se tiene sobre las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de construcción.	Se aborda a partir de un proceso de simulación de Montecarlo, considerando las posibilidades de localización de los contenidos, propiedades geométricas y capacidades de materiales como variables aleatorias, de tal forma que dichas propiedades tomen valores razonablemente atribuibles a la propiedad a medir. Estos valores son definidos a partir de trabajo de campo y/o fuentes secundarias.
Incertidumbre epistémica.	Incertidumbre propagada desde el modelo de amenaza a partir de la simulación de Montecarlo para múltiples tirantes hídricos para un rango de intensidades definido

<p>Dirección e intensidad de fuerza hidrodinámica que experimenta un elemento expuesto, dada la ocurrencia de un evento de inundación.</p> <p>Relación entre la velocidad media de flujo y tirante hídrico para la localización de un elemento expuesto.</p>	<p>por los dos primeros momentos estadísticos y su correspondiente FDP, con los cuales es posibles estimar la magnitud de la fuerza hidrodinámica que experimenta el elemento expuesto. Se asume que la dirección del flujo es perpendicular a la fachada de la edificación.</p> <p>Se realizan los cálculos para todas las posibles combinaciones de tirante hídrico y velocidad media de flujo dentro del rango de interés definido en la evaluación de la amenaza.</p>
<p>Incertidumbre ontológica.</p> <p>Influencia y efectos diferenciados de un evento de inundación en los diferentes componentes de un elemento expuesto.</p> <p>Influencia del debilitamiento de la edificación por efectos erosivos en la cimentación, y/o debilitamiento de muros por el tiempo en que se encuentra sumergido.</p>	<p>Se asume que los daños ocasionados por la inundación a las edificaciones obedecen al estado de esfuerzos de los muros considerados en los modelos simplificados.</p>

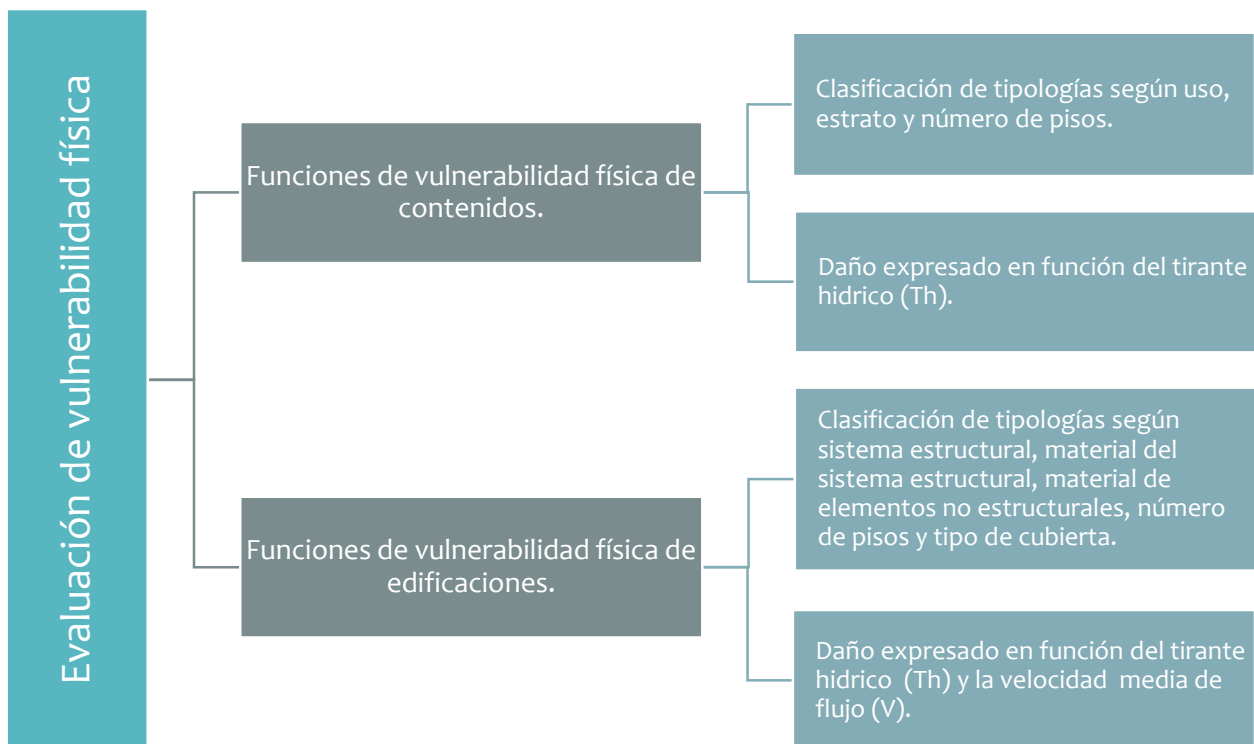


Figura 14. Clasificación de funciones de vulnerabilidad física.

A continuación, se plantean procedimientos para la evaluación de la vulnerabilidad física de los contenidos y las edificaciones.

Evaluación de la vulnerabilidad en el rubro contenidos

La metodología se basa en la propuesta metodológica presentada en Huerta-Garnica et al. (Huerta-Garnica, Vega-Serratos, & Avelar-Frausto, 2006). Esta propuesta permite determinar las pérdidas de contenidos en un inmueble específico partiendo de un tirante hídrico conocido y considera que el sistema estructural de los inmuebles analizados es resistente a los efectos de la inundación, es decir, que no se producirá el colapso de la edificación.

Partiendo de esta metodología, y considerando incertidumbre en las principales variables involucradas, se estiman las pérdidas en contenidos de edificaciones para diferentes tipologías. Usando técnicas de simulación mediante el método de Montecarlo (Metropolis Nicholas, 1949), se evalúa de manera individual el daño en cada uno de los enseres o elementos de los contenidos en una serie de realizaciones o inmuebles hipotéticos generados, considerando la incertidumbre presente en la tenencia de enseres en la edificación (tiene o no tiene), su valor, la localización en altura con respecto al piso y la altura libre de entrepiso. Los resultados de pérdida individual por enser son integrados para obtener la pérdida total en el inmueble. El procedimiento propuesto se describe en la Figura 15.

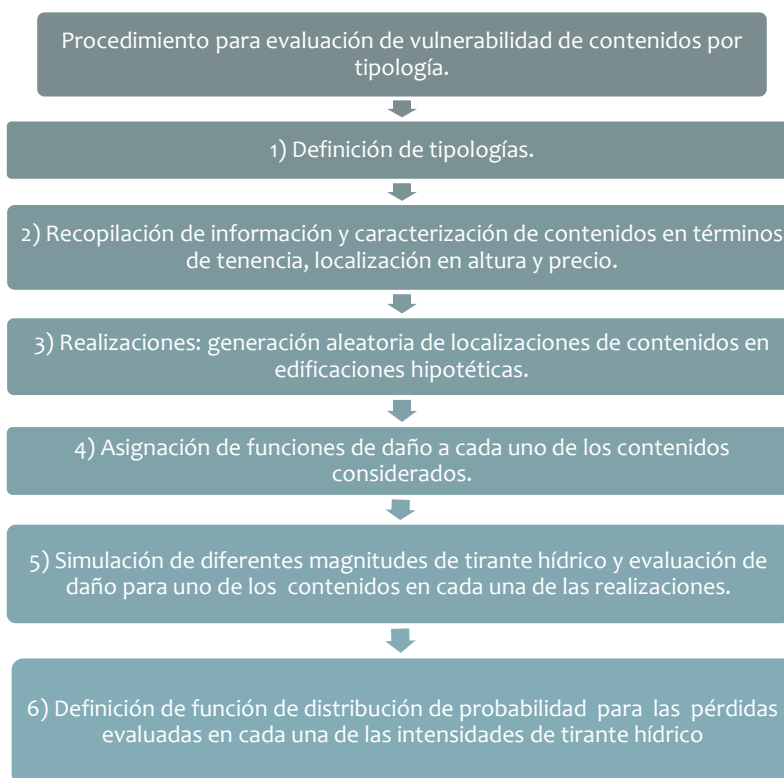


Figura 15 Procedimiento para evaluar la vulnerabilidad en contenidos

1. Definición de tipologías

Según las recomendaciones dadas en la Tabla 24, para las edificaciones pertenecientes a los grupos de uso I y II, se agrupan los elementos expuestos en tipologías. Cada tipología representa los elementos que comparten ciertas características tomadas como criterios de clasificación. Una clasificación a partir del uso de la edificación, el estrato y el número de pisos, es considerada suficiente para la definición de tipologías de elementos expuestos en términos de contenidos.

Por ejemplo, para una clasificación basada en los parámetros dados en la Tabla 25, una tipología cuyo código es RE-E1-1P se refiere a los contenidos de una edificación de uso residencial (RE), de un piso (1P) en estrato 1(E1).

Tabla 25. Parámetros para definición de tipologías en términos de contenidos.

Parámetro 1: uso	Parámetro 2: estrato	Parámetro 3: número de pisos
RE= Residencial.	E1= Estrato 1	1P= 1 Piso
CO=Comercial.	E2= Estrato 2	2P= 2 Pisos
IN= Industrial.	E3= Estrato 3	3P= 3 Pisos
ED= educativo.	E4= Estrato 4	NP= más de 3 pisos.
IT= Institucional.	E5= Estrato 5	
SL= Salud.	EU= Estrato único	

2. Recopilación de información y caracterización de contenidos en términos de tenencia, localización en altura y precio

Un conjunto de contenidos debe ser definido para cada uso (Parámetro 1 de la Tabla 25). Para cada tipología (definida por el uso, estrato y número de pisos) se deben caracterizar los enseres, considerando la tenencia (ver Glosario) el precio y la localización en altura. Estos parámetros deben ser definidos como variables aleatorias (ver Glosario) para las cuales se definen funciones de distribución de probabilidad que las representen. Esta información se debe obtener mediante observaciones y encuestas realizadas en campo.

Se pueden encontrar prácticas de adaptación de la comunidad orientadas a proteger sus enseres ante las inundaciones lentas como, por ejemplo, la reubicación en altura de algunos o la totalidad de sus electrodomésticos. Estas prácticas deben ser consideradas y se pueden incluir como un parámetro adicional para la definición de tipologías, por ejemplo: RE-E1-1P-A y RE-E1-1P-NA son los códigos asignados para edificaciones de uso residencial, estrato 1, de 1 piso, para condición adaptada y no adaptada respectivamente. Un ejemplo de formato de levantamiento de información en campo para caracterizar los contenidos de edificaciones de uso residencial se presenta en el Anexo 2. Para otros usos se recomienda establecer formatos de levantamiento que consideren los enseres propios del uso de la edificación.

3. Proceso de simulación de Montecarlo (Metropolis Nicholas, 1949) para la generación de realizaciones de edificaciones con localización de contenidos

A partir de la caracterización obtenida en el paso 2 y mediante experimentos aleatorios individuales para cada uno de los enseres, se generan realizaciones de edificaciones. Cada realización es una edificación hipotética con una distribución espacial de contenidos, cada uno de ellos con un precio determinado que a su vez permite definir el precio total de contenidos de la realización.

En este paso de la metodología se debe generar un número de realizaciones suficiente que garantice la convergencia de los resultados obtenidos en el paso 6.

4. Asignación de funciones de daño a cada uno de los contenidos considerados

Una función de daño define el porcentaje de afectación que pudiera tener cada uno de los elementos contenidos en una edificación al tener contacto con el agua. Estas funciones deben ser definidas para los contenidos asociados a cada uno de los usos definidos en la Tabla 25. Algunas funciones de daño pueden consultarse en Huerta-Garnica et al. (Huerta-Garnica et al., 2006) y en Baró-Suarez et al. (Baró-Suarez, Díaz-Delgado, & Calderón, 2007), mientras que otras pueden definirse con criterio de expertos considerando sus características particulares.

La Tabla 26 contiene algunas funciones de daño para contenidos típicos de una edificación de uso residencial. Las funciones de daño están dadas en función de la profundidad sumergida, la cual está definida como la altura de la lámina de agua medida a partir del nivel más bajo del contenido hasta la superficie.

5. Simulación de tirante hídrico (Th) y evaluación de daño

Se selecciona un rango de intensidades de tirante hídrico de interés de acuerdo con la amenaza definida para la zona de estudio. Dentro de este rango se estudiarán diferentes valores, para los cuales se evalúan los efectos sobre cada contenido en cada realización calculando el porcentaje de daño por medio de las funciones definidas en el paso 4. La pérdida total en cada realización y para cada tirante hídrico se calcula como la sumatoria de los daños individuales de cada contenido. El porcentaje de pérdida se define como la relación entre la pérdida total y el valor total de contenidos.

Para una realización j con N contenidos y para un tirante hídrico Th , el porcentaje de pérdida se evalúa de acuerdo con la Ecuación 7.

$$\%Daño_{j,th} = \frac{\sum_{i=1}^N (Fd_i(Th) \cdot P_i)}{\sum_{i=1}^N P_i}$$

Ecuación 7.

Donde;

$\%Daño_{j,Th}$ = Porcentaje de daño en la realización j , evaluado para un Th particular.

$Fd_i(Th)$ = Función de daño para el contenido i , evaluado para un Th particular.

P_i = Precio estimado del contenido.

N = Número total de contenidos en la edificación hipotética definida en la realización.

Con esto, en cada intensidad estudiada se obtiene un porcentaje de pérdida para cada realización.

6. Definición de función de distribución de probabilidad (FDP) para las pérdidas evaluadas, para cada uno de los tirantes hídricos

Con los resultados del paso 5, para cada tirante hídrico se cuenta con un valor de porcentaje de pérdida evaluado en cada realización. Estos resultados discretos deben ser representados como variables aleatorias en términos de valores esperados e incertidumbre. Para tal fin se selecciona una función de distribución de probabilidad realizando diferentes pruebas de bondad de ajuste. Si bien, en cada intensidad del rango analizado el tipo de función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta puede ser diferente, se acepta mantener una única forma de distribución variando solo los parámetros que la definen.

Se obtiene como resultado final una función de vulnerabilidad, que relaciona cada intensidad del tirante hídrico con el valor esperado y la desviación estándar del daño en los contenidos (ver Figura 16).

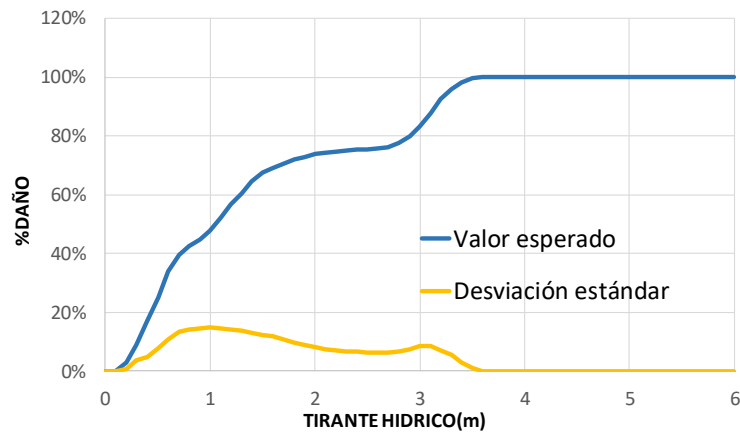


Figura 16. Función de vulnerabilidad para contenidos.

Tabla 26. Funciones de daño para contenidos de una edificación residencial.

Adaptado y adoptado a partir de Huerta-Garnica et al (2006) en Baró-Suarez, Díaz-Delgado, & Calderón (2007)

Profundidad sumergida (m)	Porcentaje de daño para cada tipo de contenido																
	Calentador	DVD	Televisor	Equipo de sonido	Computador	Aspiradora	Aire Acondicionado	Ventilador	Refrigerador	Licuada	Estufa	Horno eléctrico	Horno microondas	Lavadora	Muebles sala o comedor	Camas	Cortinas
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	5	20
0.1	0	100	80	80	80	50	50	0	0	50	0	50	50	0	20	5	20
0.15	0	100	85	85	85	100	100	0	0	100	0	50	50	0	25	5	20
0.25	30	100	90	90	90	100	100	0	70	100	0	100	100	0	30	5	20
0.25	35	100	95	95	95	100	100	0	75	100	0	100	100	30	40	5	20
0.3	40	100	100	100	100	100	100	100	80	100	40	100	100	30	50	5	20
0.35	45	100	100	100	100	100	100	100	85	100	60	100	100	30	60	5	20
0.4	70	100	100	100	100	100	100	100	90	100	72	100	100	30	70	5	20
0.45	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	85	100	100	30	75	5	20
0.5	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	80	90	20
0.55	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	82.5	90	40
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	85	90	40
0.65	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	87.5	90	40
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	100	90	40
0.75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	100	90	40
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	100	90	40
0.85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	100	90	40
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	100	90	40
0.95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Cada una de las columnas (columna 2 a columna 18) de la Tabla 26 presenta el porcentaje de daño esperado para cada tipo de contenido asociado a la profundidad sumergida definida en la columna 1.

Evaluación de la vulnerabilidad en el rubro edificaciones

De la misma forma como se evalúan las funciones de vulnerabilidad para contenidos, las funciones de vulnerabilidad para edificaciones son evaluadas usando simulaciones mediante el método de Montecarlo. La metodología incluye modelos mecánicos de las edificaciones que permitan definir diferentes estados de esfuerzos y a su vez estados de daño en sus elementos. Se estiman las pérdidas para diferentes tipologías estructurales considerando la incertidumbre asociada al espesor de muros, capacidad de los materiales, cargas gravitacionales de cubierta y de placa, y el área aferente de cubierta y de placa sobre los muros. El procedimiento propuesto se describe en la Figura 17.

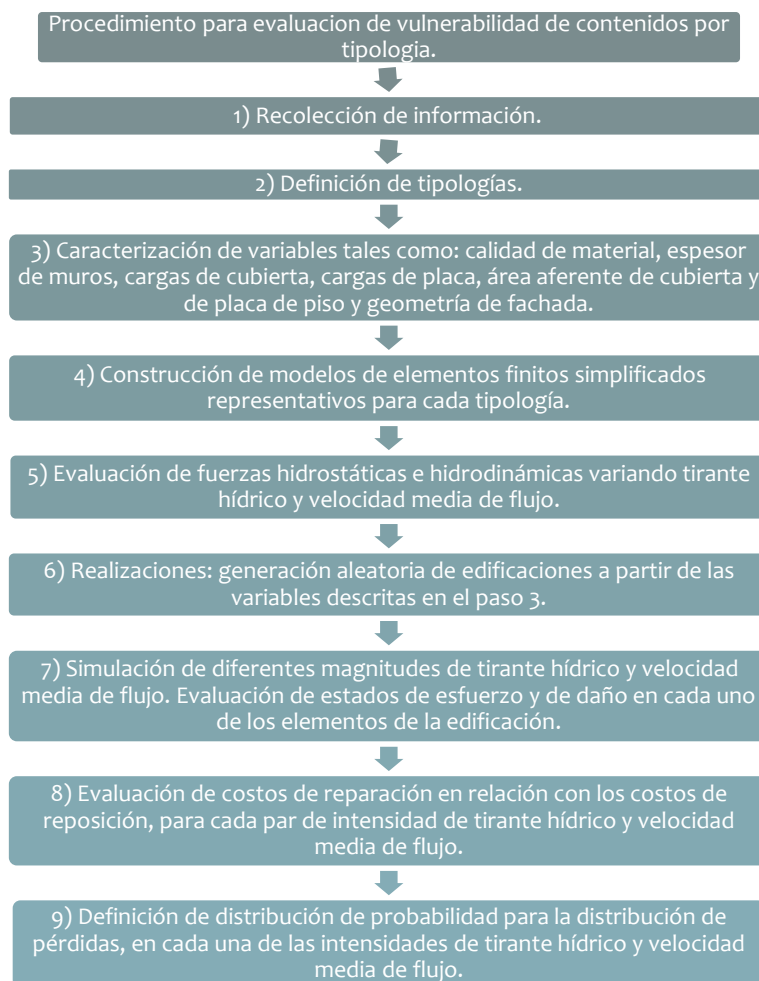


Figura 17. Procedimiento para evaluar la vulnerabilidad de edificaciones.

1. Recolección de información

Mediante inspecciones de campo se obtiene información de algunas características propias de las edificaciones existentes que permitan clasificar las edificaciones en tipologías y realizar los análisis mecánicos propuestos en los pasos 2 a 9 de la metodología (ver Figura 17). Mayor detalle sobre la recolección de información en campo para edificaciones se encuentra en la metodología para el desarrollo de un modelo de exposición presentada en el capítulo inmediatamente anterior.

2. Definición de tipologías estructurales

Se definen las tipologías de edificaciones a partir de información de campo, cada tipología debe agrupar edificaciones con características similares. Se recomienda una clasificación mínima considerando el sistema estructural, material de construcción, el número de pisos y el tipo de cubierta (ver Tabla 27). Por ejemplo: Muros-mampostería de arcilla – 2 pisos – cubierta liviana, representa una tipología. Sin embargo, dadas las condiciones locales de cada municipio, incluir parámetros adicionales al definir las tipologías puede ser necesario para lograr una mejor representación de las edificaciones.

A cada tipología definida se debe asignar un código que permita identificar las características de los elementos que agrupa. Por ejemplo, para una clasificación basada en los parámetros dados en la Tabla 27, una tipología cuyo código es M-MA-1P-CL-SDR se refiere a la tipología de edificaciones de muros de mampostería de arcilla de 1 piso con cubierta liviana.

Tabla 27. Parámetros para definición de tipologías de edificaciones.

Parámetro 1: sistema estructural	Parámetro 2: material muros.	Parámetro 3: número de pisos.	Parámetro 4: tipo de cubierta	Parámetro 5: Condición de diafragma
PRM= Pórticos resistentes a momento.	MA= Mampostería de arcilla.	1P= 1 Piso	CP= Cubierta pesada	CDR= con diafragma
M= Muros.	MC= Mampostería de concreto.	2P= 2 Pisos	CL= Cubierta liviana	rígido
PAC= Pórticos con arriostramiento concéntrico.	AD= Mampostería de adobe.	3P= 3 Pisos		SDR= sin diafragma rígido.
PNRM= Pórticos no resistentes a momento.	BR= bahareque.			
	TP= Tapia pisada.			
	CO= Concreto			

3. Caracterización de variables

Se debe considerar la incertidumbre involucrada en diferentes parámetros que afectan el estado de esfuerzos y de daño de las edificaciones. La incertidumbre debe ser incluida considerando valores para cada una de las variables dentro de un rango racionalmente atribuible, para tal fin, cada una de las variables considerada como fuente de incertidumbre en los análisis realizados debe ser representada con una función de distribución de probabilidad. Algunas variables fuente de incertidumbre son el

espesor de muros, calidad de los materiales, cargas gravitacionales sobre placas y cubiertas, y su respectiva luz aferente. Estas variables pueden involucrarse en los análisis como variables aleatorias continuas. Las variables deben ser caracterizadas a partir de información recopilada en campo, a partir de datos publicados y/o a criterio de experto.

Las variaciones en la geometría de fachada representan también variaciones en los resultados; sin embargo, por la complejidad de la modelación y análisis, se recomienda considerar su variabilidad con número reducido de geometrías representativas de la tipología estudiada.

4. Construcción de modelos representativos

Para cada una de las tipologías definidas se recomienda contar con modelos simplificados de elementos finitos que permitan evaluar los efectos de las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas generadas por la inundación (FEMA, 2012). Partiendo de la asunción de que la velocidad media de flujo está orientada en dirección perpendicular a la fachada de la edificación, un modelo de la fachada se considera representativo de edificación para evaluar los efectos de las fuerzas involucradas. Algunas recomendaciones para elaborar dichos modelos son:

- Realizar diferentes modelos de análisis seleccionando diferentes configuraciones de fachada, de tal forma que representen de la mejor manera las características geométricas de las edificaciones de cierta tipología, en la zona en estudio.
- Cada modelo se debe discretizar en un número significativo de elementos que permita evaluar los efectos de la inundación en un buen número de puntos sobre la superficie de fachada.
- Un modelo plano de fachada es válido siempre y cuando se consideren sobre él, los efectos de los elementos existentes fuera del plano de análisis, tales como restricciones a rotación o desplazamiento y/o cargas aferentes a la fachada.
- Las cargas hidrostáticas e hidrodinámicas se consideran perpendiculares al plano de análisis.
- Otras cargas como peso propio de los elementos, cargas actuantes sobre la fachada generada por placas de entresuelo o cubiertas deben ser consideradas en el análisis.

5. Evaluación de fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas

El agua durante la inundación puede ejercer varios tipos de fuerzas en una edificación, se incluyen el suelo hidrostático saturado, las presiones de agua hidrostáticas e hidrodinámicas, el impacto de escombros y fuerzas erosivas bajo la cimentación (FEMA, 2012). La metodología propuesta considera la presión de agua hidrostática e hidrodinámica para determinar el estado de esfuerzos en las edificaciones. El impacto de escombros, presión de suelos saturados y efectos de erosión no son incluidas en esta propuesta metodológica.

Los cálculos de fuerzas son realizados, como mínimo, para todo el rango de velocidades medias de flujo y de tirante hídrico posibles en la zona de estudio según lo definido en el cálculo de la amenaza (Ver

capítulo Amenaza por inundación lenta). La dirección de las fuerzas hidrodinámicas se asume como perpendicular a la fachada de la edificación.

Fuerzas hidrostáticas

Las fuerzas hidrostáticas son aplicadas lateralmente, en dirección perpendicular a las superficies verticales, en este caso muros de edificaciones. Generalmente las presiones hidrostáticas son anuladas por presiones equivalentes en la cara opuesta de los muros. Solo en casos en que características particulares de la edificación generen diferencias considerables entre el tirante hídrico interno y externo las presiones hidrostáticas son importantes.

La ecuación básica para analizar la fuerza lateral debida a la presión hidrostática del agua estancada se presenta a continuación. La Figura 19 presenta un esquema con la distribución de presiones hidrostáticas sobre un elemento expuesto.

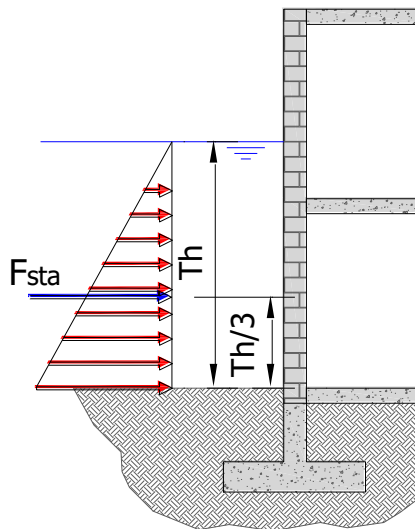


Figura 18 Fuerzas hidrostáticas.

Fuente: Adaptado de (FEMA, 2012).

$$F_{sta.} = \frac{P_h \cdot th}{2}$$

Ecuación 8.

Donde:

F_{sta} = Fuerza hidrostática actuando a una distancia de $Th/3$ del nivel del terreno. [Kn/m]

P_h = Presión hidrostática debida al agua estancada con un tirante th . ($P_h = \gamma_w \cdot th$) [kN/m²]

γ_w = Peso específico del agua [9807 N/m³]

T_h = Tirante hídrico [m].

Fuerzas hidrodinámicas

Cuando las velocidades del agua no superan 3.05 m/s, se permitirá que los efectos dinámicos del agua en movimiento se conviertan en cargas hidrostáticas equivalentes aumentando el tirante hídrico, mediante una profundidad de sobrecarga equivalente (d_h). Las presiones hidrostáticas resultantes (P_{dh}) se aplican uniformemente en el área vertical de la edificación proyectada en la dirección perpendicular al flujo (ASCE, 2010).

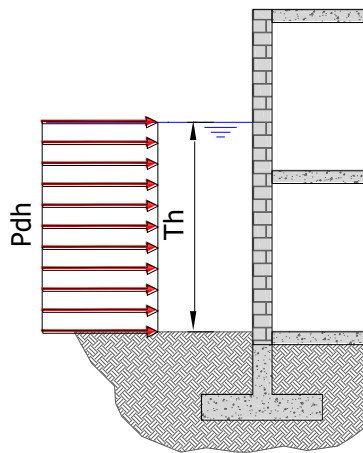


Figura 19. Presión hidrodinámica

Fuente: adaptado de (FEMA, 2012).

$$P_{dh} = \frac{C_d \cdot V^2}{2 \cdot g}$$

Ecuación 9.

Donde:

P_{dh} = Presión hidrodinámica del agua [kN/m²].

C_d = Coeficiente de arrastre.

V = Velocidad media de flujo [m/s].

g = Aceleración de la gravedad [9.807m/s²].

El coeficiente de arrastre se toma de la Tabla 28, y está en función de la forma del objeto alrededor del cual se dirige el flujo. El valor de C_d , se puede determinar a partir de la relación ancho/alto, b/Th , de la estructura en cuestión. El ancho (b) es la longitud de la edificación del lado perpendicular al flujo, (Th) es la profundidad de inundación o tirante hídrico.

Tabla 28. Coeficiente de arrastre para relación (b/Th).

Relación (b/Th)	Coeficiente de arrastre (C_d)
1-12	1.25
13-20	1.3
21-32	1.4
33-40	1.5
41-80	1.75
81-120	1.8
>120	2.0

Fuente: (FEMA, 2012).

6. Proceso de simulación de Montecarlo para la generación de realizaciones de edificaciones aleatorias

Para cada una de las tipologías estructurales depuradas en la elaboración del modelo de exposición, y considerando las variables definidas en el numeral 3, se generan múltiples realizaciones. Cada realización es una edificación hipotética con una geometría de fachada, espesor de muro, capacidad del material a flexión (capacidad a fisuración y capacidad a rotura) y cortante, carga de cubierta, carga de placa de piso y una luz aferente determinada. El número de realizaciones debe ser suficiente para garantizar la convergencia de los resultados obtenidos en el paso 9. Se recomienda llegar a errores inferiores al 2% para considerar convergencia en los resultados.

7. Simulación de tirante hídrico y velocidad media de flujo. Evaluación de estado de esfuerzos y estados de daño

La estabilidad de las edificaciones ante inundación se evalúa con respecto a la pared impactada por el flujo generado por la acción de una aceleración horizontal normal a la pared, la pared se flexiona fuera del plano, girando alrededor de una junta horizontal o vertical, dependiendo de la restricción ejercida por las paredes circundantes (Milanesi, Pilotti, & Ranzi, 2016).

Se debe definir un rango de intensidades de tirante hídrico y velocidades medias de flujo de interés de acuerdo con la amenaza calculada para la zona de estudio. En cada una de las realizaciones, y para todas las posibles combinaciones de estas variables en el rango de interés, se evalúan las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas de acuerdo con las recomendaciones dadas en el paso 5. Los modelos estructurales permiten evaluar las fuerzas en los elementos discretizados del modelo de elementos finitos. Con estas fuerzas e involucrando variables adicionales como son el espesor de muro, cargas y áreas

afuerentes de cubierta y de fachada, se pueden definir los estados de esfuerzos, a partir de los cuales, y considerando la capacidad del material estructural, se determinan los estados de daño.

Se consideran cuatro posibles estados de daño cuya definición se presenta a continuación:

Elemento sin daño: Se considera un elemento sin daño aquel cuyos esfuerzos generados por la interacción de las cargas de uso y las cargas generadas por la inundación, no sobrepasan el esfuerzo límite de fisuración propio del material de construcción, y que no ha sido alcanzado por la lámina de agua de la inundación.

Elemento inundado: Un elemento inundado es aquel que, aunque su estado de esfuerzos no supera el esfuerzo límite de fisuración propio del material de construcción, ha sido alcanzado por la lámina de agua. Este elemento requiere actividades de limpieza y pintura.

Elemento fisurado: Se consideran elementos fisurados todos aquellos en los cuales su estado de esfuerzos supere el esfuerzo límite de fisuración, pero no alcance el esfuerzo de rotura. Estos elementos tienen daño ligero, este grado de daño no compromete la estabilidad global ni local de la edificación.

Los elementos en estado fisurado requieren reparaciones que involucran la reparación de fisuras, reparación de pañetes y pintura.

Elemento roto o en estado de rotura: Para considerar un elemento en estado de rotura, los esfuerzos actuantes deben superar los esfuerzos de rotura definidos para su material de construcción. El daño en estos elementos es un daño importante y su reparación implica la reconstrucción del elemento y sus acabados como son pañetes y pintura. Algunos valores de capacidad de materiales pueden consultarse en Universidad de Los Andes (Universidad de Los Andes, 2004) y en Ruiz-Valencia (Ruiz-Valencia, López-Pérez, & Rivera, 2012).

Siendo R, F, IN, ND el número de elementos en estado de rotura, fisuración, inundado y sin daño respectivamente, es posible determinar el estado de daño para cada uno de los elementos del modelo de análisis a partir del momento actuante. Esto se realiza siguiendo el procedimiento presentado en la Figura 20. Este procedimiento se repite para los diferentes estados límite (momento actuante que genera esfuerzos verticales, el momento actuante que genera esfuerzos horizontales y esfuerzos máximos cortantes) y se determina el estado de daño para cada elemento considerando el estado límite crítico.

La rotura de uno o varios elementos puede generar mecanismos de colapso local o global de la edificación, y para considerar esta condición una primera aproximación es asignar estado de rotura a los elementos que se encuentran ubicados sobre elementos rotos.

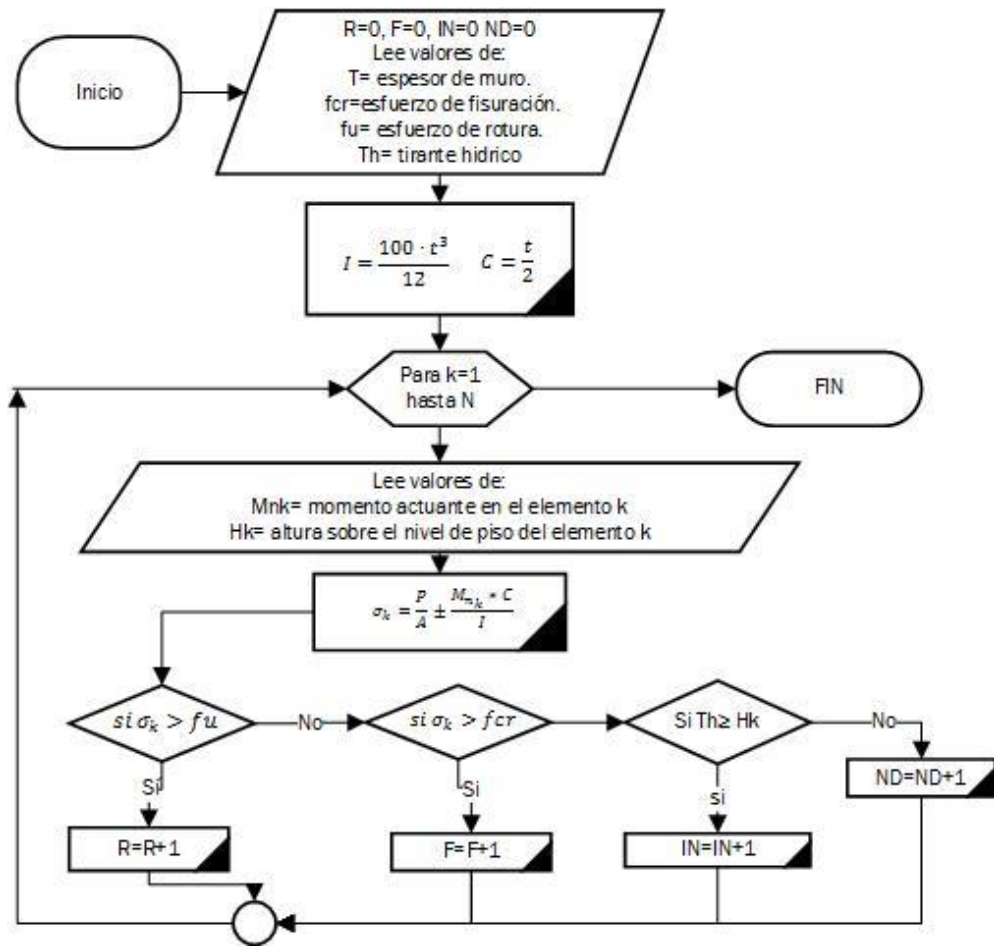


Figura 20. Procedimiento para definición de estados de daño

8. Evaluación de costos de reparación en relación con los costos de reposición

Cada estado de daño definido en el paso 7 tiene un costo de reparación, el cual se expresa en proporción al costo de reemplazo del elemento. Estos costos de reparación son definidos a partir de análisis de precios unitarios de las actividades requeridas para reestablecer las condiciones iniciales de la edificación. Para edificaciones cuyo sistema estructural está conformado por muros, se asume que el valor total del elemento expuesto corresponde al valor total de los muros. Para edificaciones cuyo sistema estructural está conformado por pórticos resistentes a momento, el daño se concentra en los muros de fachada y particiones. Es necesario estimar el valor de los muros en proporción al valor total de elemento expuesto. Para tal fin se hacen cálculos aproximados a partir de geometrías representativas y costos de referencia para cada uno de los componentes. La Tabla 29 presenta un resumen de los estados de daño, el tipo de reparación y su costo estimado a partir de precios unitarios consultados en IDR (IDRD, 2017).

Tabla 29. Costos de reparación en relación con los costos de reposición para cada estado de daño en muros.

Estado de daño	Tipo de reparación	Costos de reparación en proporción a los costos de reposición.
Elemento sin daño	No requiere reparación	0.0%
Elemento inundado	Requiere limpieza y pintura	12%
Elemento fisurado	Requiere reparación de fisuras y acabados	40%
Elemento con daños severos	Requiere reemplazo del elemento	100%

El porcentaje de daño en cada realización y para cada par tirante hídrico-velocidad media de flujo se define como la relación entre la sumatoria del costo de reparación y/o reemplazo de los elementos afectados, y los costos de reemplazo de la totalidad de los elementos considerados (ver

Ecuación 10.).

Para una realización j , el porcentaje de daño en la edificación afectada por un tirante hídrico th , y una velocidad media de flujo V . se define como:

$$\%Daño_{j,th,V} = \frac{R \cdot RE_R + F \cdot RE_F + IN \cdot RE_{IN}}{N \cdot RE_R}$$

Ecuación 10.

Donde

$\%Daño_{j,th,v}$ = Porcentaje de daño en la realización j_i evaluado para un TH particular.

RE_R = Costo de reposición de un elemento en estado de rotura o elemento nuevo.

RE_F = Costo de reparación de un elemento fisurado en proporción al costo de reposición de un elemento nuevo.

RE_{in} = Costo de reparación de un elemento inundado en proporción al costo de reposición de un elemento nuevo.

N = Número total de elementos considerados en la modelación.

R = Número de elementos en estado de rotura.

F = Número de elementos fisurados.

IN = Número de elementos inundados.

9. Definición de la función de distribución de probabilidad para la estimación de pérdidas en cada uno de los pares de tirante hídrico-velocidad media de flujo

Con los resultados del paso 5, para cada par tirante hídrico – velocidad media de flujo, se cuenta con un valor de porcentaje de pérdida evaluado en cada realización. Estos resultados deben ser representados en términos de valores esperados e incertidumbre, y para tal fin se deben realizar pruebas de bondad de ajuste a diferentes funciones de distribución de probabilidad. Si bien, en cada intensidad del rango analizado el tipo de función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta puede ser diferente. Se acepta mantener una única forma de distribución variando los parámetros que la definen. Para cada par tirante hídrico-velocidad media de flujo, se asigna una función de distribución de probabilidad a las pérdidas. El número de realizaciones a generar en el paso 6, está definido por la convergencia de los resultados en este último paso. Se recomienda llegar a errores inferiores al 2% para considerar convergencia en los resultados.

Se obtiene como resultado final una función de vulnerabilidad tridimensional (ver Figura 21) que relaciona cada par profundidad de inundación-velocidad media de flujo, con el valor esperado y la desviación estándar del daño en la edificación para cada una de las tipologías definidas.

La Figura 21 presenta de manera gráfica una función de vulnerabilidad tipo para una edificación.

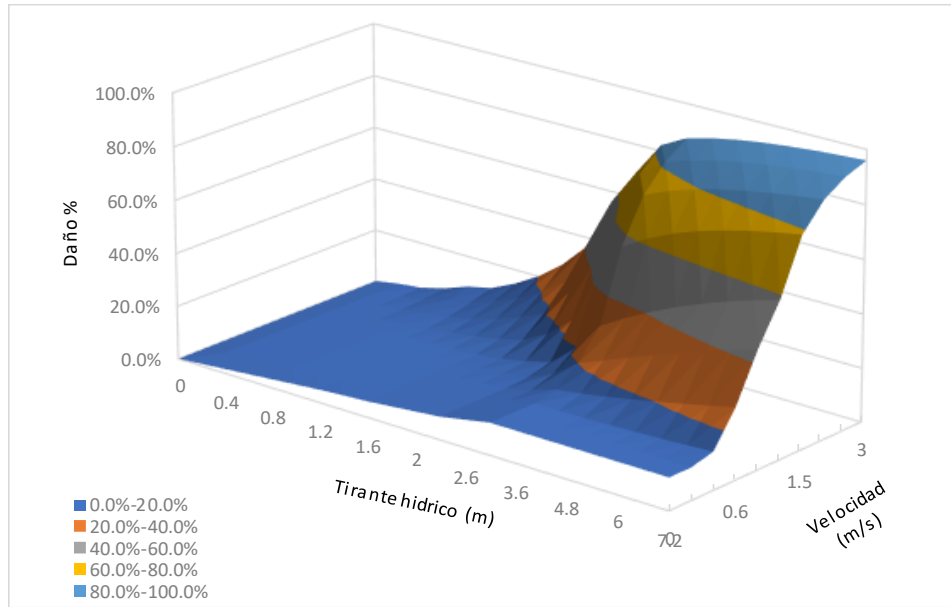


Figura 21. Valor esperado del daño (Vista 3D).

Conclusiones sobre la metodología

A continuación, se presentan algunas ventajas y limitaciones de la metodología en términos de aplicabilidad, costos y confiabilidad de los resultados.

Aplicabilidad

La metodología propuesta se considera válida para la evaluación de la vulnerabilidad ante inundación en los estudios detallados de riesgo por inundación lenta en cabeceras municipales a escala 1:2000, establecidos en el Decreto 1807 de 2014.

La información requerida para implementar la metodología puede ser recopilada en campo por medio de encuestas diferenciadas. Considerando un set de contenidos particular para los diferentes usos de las edificaciones en oficinas de planeación y/o curadurías, o fuentes secundarias para definir las propiedades de los materiales de construcción involucradas en los análisis.

Funciones de daño para contenidos asociados a usos diferentes al residencial tales como mercancías, y equipos especializados, pueden discutirse con propietarios recopilando experiencias de eventos anteriores.

La metodología de evaluación y análisis de vulnerabilidad física es aplicable a obras de infraestructura similares a edificaciones. Otras obras de infraestructura tales como postes de luz, torres de energía, puentes y torres de comunicaciones pueden estudiarse con estos procedimientos, aplicando variaciones en el cálculo de las fuerzas y posibles mecanismos de colapso involucrados.

Los procedimientos propuestos pueden implementarse fácilmente en hojas de cálculo o con la ayuda de paquetes estadísticos de uso libre. En el caso de funciones de vulnerabilidad para edificaciones, se recomienda el uso de herramientas computacionales que permitan realizar el análisis estructural.

Costos

Seguir las recomendaciones para definir las tipologías de edificaciones en términos de contenidos puede llevar a un número muy alto de funciones de vulnerabilidad a evaluar, en estos casos agrupar valores de parámetros como el estrato en una única función de vulnerabilidad permite reducir el esfuerzo requerido en dicha evaluación.

Confiabilidad de los resultados

La metodología propuesta se basa en métodos analíticos a partir de variables que se consideran las más relevantes para la caracterización del proceso de generación de daños en los rubros analizados. Sin embargo, no cuentan con un proceso de calibración y validación considerando daños y pérdidas ciertas. La recolección de datos de pérdidas en contenidos y edificaciones post-evento permitiría la calibración de las funciones propuestas.

Evaluación y análisis de vulnerabilidad Social

Introducción

En los últimos años el país ha tenido notables avances en la evaluación del riesgo y específicamente en el análisis de la vulnerabilidad. La Ley 1523 de 2012, afirma que “La gestión del riesgo de desastres, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible” (Congreso de Colombia, Ley 1523 2012, 2012). En este contexto, se evidencia la necesidad de incorporar al enfoque integral de evaluación del riesgo, el análisis de la vulnerabilidad social, considerando elementos relacionados con la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de la población.

El Decreto 1807 de 2014 (Ministerio de Vivienda, 2014), sobre la incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial, afirma que “se deben realizar los estudios básicos para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los Planes de Ordenamiento Territorial o la expedición de nuevos planes y en su ejecución se deben realizar los estudios detallados. En el caso de los estudios básicos, para el fenómeno de inundaciones, no se hace énfasis en el análisis de la vulnerabilidad. Sin embargo, sí se expresa que debe hacerse la identificación de las zonas inundables especificando que la comunidad tiene la responsabilidad de “identificar cuales áreas han sufrido afectaciones por inundación y en qué fecha”. Esto indica que el componente de participación comunitaria se debe tener en cuenta y la posibilidad de caracterizar las zonas que continuamente son afectadas.

En los estudios detallados de ordenamiento territorial, se hace explícito que debe realizarse la evaluación de la vulnerabilidad. Pero todavía se orienta a la caracterización de los elementos expuestos, el grado de exposición, resistencia que ofrece el elemento y distribución espacial. Afirmando que “se deben identificar los diferentes tipos de daño o efecto esperado sobre los elementos expuestos que se pueden presentar como resultado del fenómeno natural” y “zonificarse en un mapa a la misma escala del mapa de amenazas detallados estableciendo categorías de vulnerabilidad alta, media y baja, de acuerdo a las características de los elementos expuestos”. De esta manera, se encuentra que los requisitos establecidos en el Decreto 1807 están enfocados a la evaluación de daños físicos, sin identificar los componentes sociales descritos en la Ley 1523 de 2012. Por lo tanto, se considera

oportuno trabajar en metodologías de análisis que incluyan la evaluación de la vulnerabilidad social, como la propuesta en el año 2017 por la UNGRD (UNGRD-IEMP, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, es evidente que existen diferentes perspectivas para analizar la vulnerabilidad en el marco de la gestión del riesgo. Glade (2003) afirma que dichos enfoques pueden dividirse en dos grupos: de las ciencias sociales y de las ciencias naturales de la ingeniería.

Desde la perspectiva de la ingeniería, “se necesita que exista un elemento expuesto para que se genere vulnerabilidad, es decir, cada elemento expuesto tiene una vulnerabilidad intrínseca asociada a su existencia (solo por el hecho de estar en el área de influencia de una amenaza tiene vulnerabilidad)”. En este sentido, la vulnerabilidad se puede entender como “el potencial de un elemento expuesto a experimentar un impacto adverso (Alexander, 1999), como una medida del daño que sufre un elemento en riesgo cuando se ve materializada la amenaza (BLAIKIE, CANNON, DAVIS, & WISNER, 1994) y (Delli Priscoli, Dooge, & Llamas, 2004)) o como la relación existente entre la exposición de un elemento y la resistencia del elemento bajo un nivel de amenaza dado. Desde la perspectiva de las ciencias sociales, el único “elemento” que está expuesto es la persona o grupo de personas, en tanto los otros elementos expuestos permiten que la materialización de la amenaza tenga un impacto más o menos fuerte (Villegas-González, y otros, 2017).

Para la evaluación de la vulnerabilidad, se observa que existen varias aproximaciones (Cardona O. , 2007) (Wilches-Chaux, 1989), (Gobierno regional Cusco, 2011), (Foschiatti, 2009), (LAVELL, 1997), (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010); (Botero, 2009), (INDECI, 2006), (Cannon, 1991), que tienen en cuenta aspectos tales como el económico, institucional, físico, ambiental, ecológico, tecnológico, científico, material, cultural, sanitario y epidemiológico (Suárez Méndez, Joaquín Agudelo Suárez, en Pediatría, Carlos Alberto Vargas Jimenez, & Mahissa Reyes Muñoz, 2014).

En esta sección se presenta una alternativa para el análisis de la vulnerabilidad social. Las orientaciones metodológicas surgen del documento elaborado por la UNGRD-IEMP en el año 2017 *Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres* (UNGRD-IEMP, 2017); así como de la experiencia y lecciones aprendidas generadas en proyectos con comunidades.

En la primera subsección se presentan los objetivos, que se encuentran enmarcados en el proyecto. Luego se hace la descripción de la metodología utilizada, que se espera sirva como aproximación para implementar en diferentes proyectos a nivel municipal y urbano en el país, dependiendo del alcance. Para finalizar con las conclusiones, donde se presentan las ventajas, limitaciones y potencialidades de aplicar estos lineamientos a nivel municipal.

Se espera entonces, que este tipo de herramientas contribuya a continuar mejorando la forma de abordar la vulnerabilidad en el marco de los estudios de riesgo en Colombia. Específicamente de riesgo por inundación lenta. Además, que brinde orientaciones claras a investigadores, líderes municipales y

locales para realizar un diagnóstico de la vulnerabilidad social en el territorio. Así como posibles estrategias para incluir este componente en los análisis integrales de riesgo, que se presenta como el principal reto para tener una visión holística del mismo.

Objetivos

El objetivo general de este componente del riesgo es evaluar, analizar e identificar las dinámicas y condición de la vulnerabilidad social de cabeceras municipales, específicamente en lo relacionado con la amenaza por inundación lenta.

Los objetivos específicos están orientados a:

- i) Evaluar y diagnosticar la percepción del riesgo por inundación en las comunidades.
- ii) Diagnosticar las causas de la vulnerabilidad social, específicamente en lo relacionado con la amenaza por inundación lenta.
- iii) Emitir un informe y/o juicio sobre el estado de la vulnerabilidad del territorio y sus habitantes a partir de la observación y análisis de indicadores sociales.

Para lograr estos objetivos se hace necesario un trabajo en conjunto entre los niveles nacional, regional y local. Así como el uso de herramientas de apoyo para el trabajo en campo, dado que resulta fundamental generar espacios de integración de conocimientos y saberes. Las orientaciones conceptuales y metodológicas se presentan en la siguiente subsección donde se describe la metodología de manera detallada, que responde a cada uno de los objetivos.

Detalles metodológicos

La metodología presentada en esta sección se soporta en el documento *Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres* (UNGRD-IEMP, 2017) (ver Figura 22). Para el caso del análisis del riesgo por inundación, se incorporaron algunos elementos que hacen parte de otros estudios o son producto de la experiencia en el trabajo con comunidades de los diferentes participantes del proyecto.

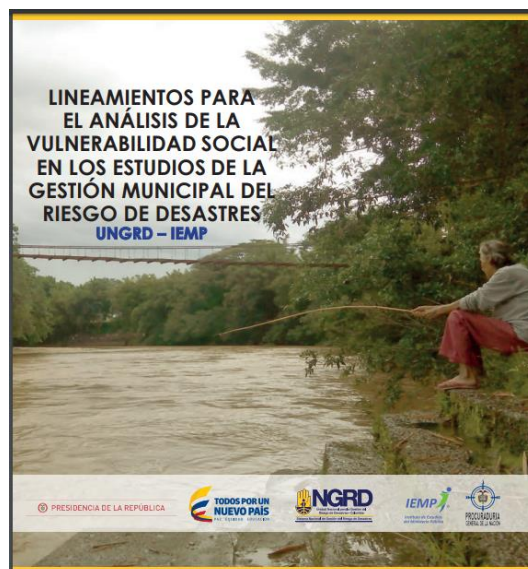


Figura 22. Documento guía para el análisis de la vulnerabilidad social.

Para documentar el proceso metodológico, es necesario primero presentar el marco conceptual utilizado. En el contexto de las ciencias sociales, la definición de vulnerabilidad se refiere a las características de una persona o un grupo de personas en términos de su capacidad para anticipar, enfrentarse, resistir y recobrase del impacto de una amenaza (Glade, 2013 adaptado de (Villegas-González, y otros, 2017)).

En este sentido, la definición utilizada en este documento comprende la vulnerabilidad social como una “función de la capacidad de prever, enfrentar y recuperarse de eventos críticos que implican la pérdida de activos materiales o inmateriales” (Lampis, 2007 adaptado de (UNGRD-IEMP, 2017)). La vulnerabilidad social va más allá de la afectación de estructuras físicas, e incluye diferentes características y capacidades de los individuos (UNGRD-IEMP, 2017).

Las etapas consideradas para el estudio de la vulnerabilidad se presentan en la Figura 23 y son descritas a continuación:

Condiciones iniciales

Para iniciar el estudio de la vulnerabilidad social es necesario definir el objetivo y alcance del componente en el marco del estudio de riesgo. Describir hasta donde llegará el análisis y cuáles son los productos que se desean generar.

Para el análisis por inundaciones lentas a nivel municipal es necesario hacer un diagnóstico de la vulnerabilidad social en el municipio. Esto con el fin de conocer las causas y la percepción que tienen los habitantes sobre dicho riesgo. Como referencia se pueden usar los objetivos que se encuentran descritos en la sección anterior del presente documento. Su formulación dependerá de los objetivos, el

alcance, los recursos que tenga el municipio, el tiempo y del tamaño de la muestra en el trabajo de campo.

Posterior a esto es necesario identificar los líderes del proyecto o enlaces a nivel nacional, regional y local. Además, se debe identificar el rol de cada uno en el proyecto. Se recomienda tener en cuenta los actores presentados en la Tabla 30. Para realizar esta selección se propone hacer una reunión de condiciones iniciales, donde todos los participantes puedan acordar el rol y planear de manera conjunta el desarrollo del proyecto.

Tabla 30. Líderes del proyecto a nivel nacional, regional y local. Ejemplo de proyectos liderados desde la UNGRD.

Líderes	Ámbito	Rol
UNGRD	Nacional	Orientación técnica y metodológica
Consejo departamental de gestión del riesgo de desastres	Regional	Participación en los espacios territoriales
Consejo municipal de gestión del riesgo de desastres	Municipal-local	Coordinación logística y apoyo en el proceso de participación con los actores locales

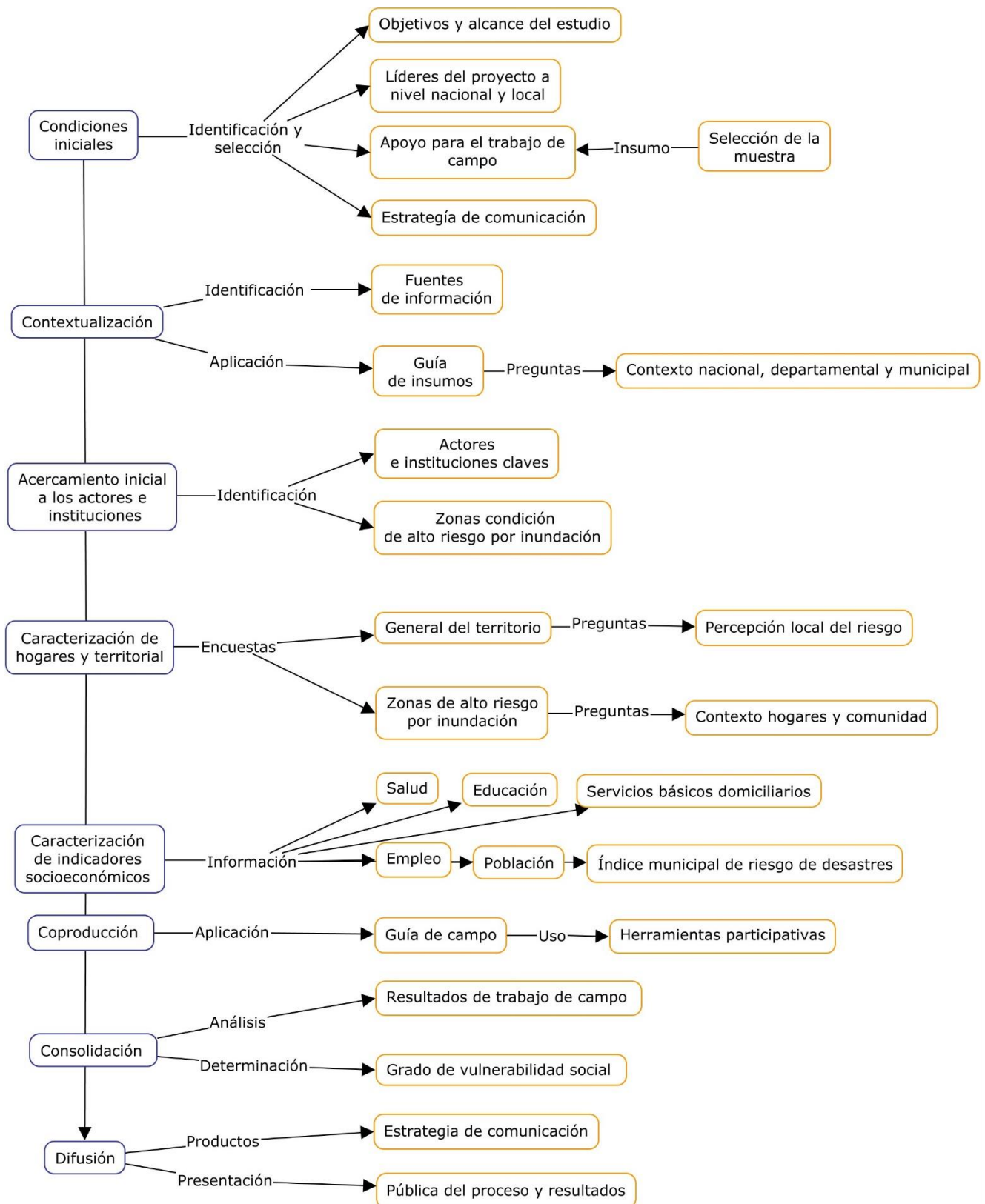


Figura 23. Esquema metodológico para el análisis de la vulnerabilidad social.

Fuente: adaptado y complementado de (UNGRD-IEMP, 2017).

Los consejos territoriales se encuentran conformados de la siguiente manera y están representados por el Coordinador de Gestión del Riesgo (Ley 1523 de 2012).

- El Gobernador o Alcalde o su delegado, quien lo preside.
- El Director de la dependencia o entidad de gestión del riesgo.
- Los directores de las entidades de servicios públicos o sus delegados.
- Un representante de cada una de las corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible dentro de la respectiva jurisdicción territorial.
- El director o quien haga sus veces de la defensa civil colombiana dentro de la respectiva jurisdicción.
- El director o quien haga sus veces de la Cruz Roja Colombiana dentro de la respectiva jurisdicción.
- El delegado departamental de bomberos o el comandante del respectivo cuerpo de bomberos del municipio.
- Un secretario de despacho departamental o municipal, designado para ello por Gobernador del Departamento o el Alcalde.
- El Comandante de Policía o su delegado de la respectiva jurisdicción.

Esta organización sirve como referencia para la coordinación de las condiciones iniciales.

También se deben identificar las personas que realizarán el trabajo de campo, y realizarán el levantamiento de la información a través de encuestas y visitas a las edificaciones. Se recomienda contratar personas que vivan en los municipios donde se lleven a cabo los estudios y la participación de las universidades locales resulta estratégica. Esto con el fin de fortalecer el conocimiento territorial. Así mismo, resulta importante identificar sus roles y tiempos de trabajo.

Definir la muestra es un asunto muy importante para planear el proyecto. Esta depende de los objetivos del proyecto, de los recursos, del tiempo de ejecución y de la cantidad de población con la que cuenta el municipio. Así como las posibilidades de desplazamiento y seguridad pública.

Acorde con Argibay (2009), los procedimientos de muestreo se pueden dividir en dos grandes grupos: muestreos probabilísticos (aleatorios) y muestreos no probabilísticos (no aleatorios). "La diferencia entre ambos estaría dada por si se utiliza o no el azar para la elección de los sujetos que conformarán la muestra". Para acceder a información detallada se puede revisar el documento referenciado.

Para el caso de estudios de riesgo por inundación lenta y teniendo en cuenta la experiencia alcanzada en el estudio piloto, se recomienda seleccionar la muestra teniendo en cuenta el alcance, el tiempo y los recursos que se tienen para llevar a cabo el proyecto. Para esta decisión es necesario conocer el tamaño de la población y la densidad poblacional. También es importante que el componente de vulnerabilidad social tenga dos ámbitos de análisis: el municipio completo para conocer la percepción del riesgo de parte de la población y los hogares que se encuentran en las zonas de alto riesgo, "dado que son sus

habitantes quienes se encuentran en un mayor grado de exposición ante desastres” (UNGRD-IEMP, 2017).

Se recomienda que las edificaciones sean escogidas al azar, tomando como referencia la información dada por el IGAC. En los sitios que se hacen los análisis de vulnerabilidad social, también se deben realizar los análisis de vulnerabilidad física y exposición. Esto permite tener un análisis integral del riesgo.

Como parte fundamental de las condiciones iniciales también es muy importante preparar la estrategia de comunicación. Esto responde a las siguientes preguntas: ¿A través de qué medios de comunicación se convocará a las reuniones, talleres y se informará sobre el proceso de desarrollo de encuestas?, ¿Cuál será la estrategia para divulgar los resultados del proyecto?, ¿Cómo se podrán vincular los actores e instituciones claves?

Se recomienda que la estrategia de comunicación se construya con los actores líderes del proyecto, ya que son ellos quienes conocen los medios de comunicación más usados en el territorio. Así mismo, resulta fundamental elaborar cartas de invitación desde el nivel nacional. A nivel municipal se sugiere realizar reuniones con los líderes de juntas de acción comunal para llevar a cabo las convocatorias “voz a voz” y usando el perifoneo. También es útil convocar a talleres a través de las emisoras locales y contar con la participación de periodistas quienes documentan los resultados de los talleres.

Respecto a la publicación de los resultados, se recomienda generar documentos que evidencien los resultados del proceso. Contar con mapas para la planeación del territorio. Generar videos y documentales que permitan evidenciar el contexto municipal de riesgo. Estos últimos pueden tener dos orientaciones. La primera enfocada a mostrar los resultados del proyecto y la segunda como herramienta de educación. En ambos casos se permite visibilizar las condiciones de riesgo en el territorio y esto fortalece el conocimiento del riesgo en los diferentes niveles (nacional, regional y municipal).

Contextualización

Acorde con los “Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres” (UNGRD-IEMP, 2017), en esta etapa se propone la aplicación de la guía de insumos y específicamente la realización de encuestas orientadoras en el contexto nacional, departamental y municipal.

Las preguntas incluidas en dicha encuesta se encuentran orientadas a analizar los componentes presentados en la Figura 24 y pueden extraerse del documento referenciado desde la página 52 hasta la 54. Así mismo se adjunta el Anexo 1, que incluye una tabla (Formato 111 estí) para realizar el procesamiento de las encuestas.

También se debe hacer una búsqueda de información secundaria con la que se cuenta a nivel nacional, regional y municipal. La información debe estar relacionada con el componente social y con los avances que se tengan en el análisis de la vulnerabilidad social a nivel municipal. Las fuentes de información recomendadas son: los documentos publicados por la UNGRD, el Instituto Humboldt, el IDEAM, el DNP, la CAR, el IGAC, el DANE, Parques Nacionales Naturales, documentos de organizaciones

internacionales, revistas científicas y especializadas, documentos publicados por las secretarías municipales y departamentales. Así como documentos publicados por las universidades que trabajan en el conocimiento del riesgo. Esta información será útil para el desarrollo de las siguientes etapas.

Acercamiento inicial a los actores e instituciones

Esta etapa tiene como propósito generar espacios donde se presente el enfoque del proyecto y se realice la identificación de actores e instituciones claves.

Se recomienda convocar a los líderes del proyecto, de los diferentes ámbitos; así como los Consejos Departamentales y Municipales de Gestión del Riesgo y los representantes de Juntas de Acción Comunal. Estos actores son fundamentales para definir tres componentes iniciales:

- Identificación de los actores e instituciones claves en la gestión del riesgo que serán convocados a los demás espacios de participación.
- Identificación de las zonas que se encuentran en alto riesgo por inundación.
- Recibir acompañamiento de los presidentes de juntas de acción comunal en los barrios donde se llevarán a cabo las encuestas y el trabajo de campo.



Figura 24. Elementos de análisis en las preguntas orientadoras del contexto nacional, departamental y municipal.

Fuente: Adaptado y complementado de (UNGRD-IEMP, 2017).

El enfoque de los lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social está centrado en las personas, y las relaciones existentes entre los individuos y las comunidades. De tal manera que “busca la identificación de los actores ya existentes, sus dinámicas propias con el territorio y las medidas que

existen para mitigar el riesgo y los desastres; reconocer la posibilidad de construir nuevas relaciones entre los múltiples actores y su entorno que dependen en gran medida de la creatividad y las percepciones locales" (UNGRD-IEMP, 2017).

Para la identificación de actores, se recomienda usar la herramienta 5 del documento referencia (UNGRD-IEMP, 2017, páginas 48-50) o las herramientas para realizar mapeo de actores.

Ejemplos de este proceso de mapeo de actores se presentan en la Figura 25. Allí se identificaron los actores que se relacionan con la gestión del riesgo municipal en Magangué y Mompox (Estudio piloto realizado por la UNGRD y el IDEAM 2017-2018). Es importante tener en cuenta que el listado de actores puede incrementarse a medida que se avanza en el proyecto. Dependiendo del enfoque de la actividad, se pueden invitar a los actores relacionados con la temática central, lo que resulta clave desde el punto de vista metodológico.

Las preguntas realizadas para obtener los resultados presentados en las Figura 25 y Figura 26 se presentan en la Tabla 31.

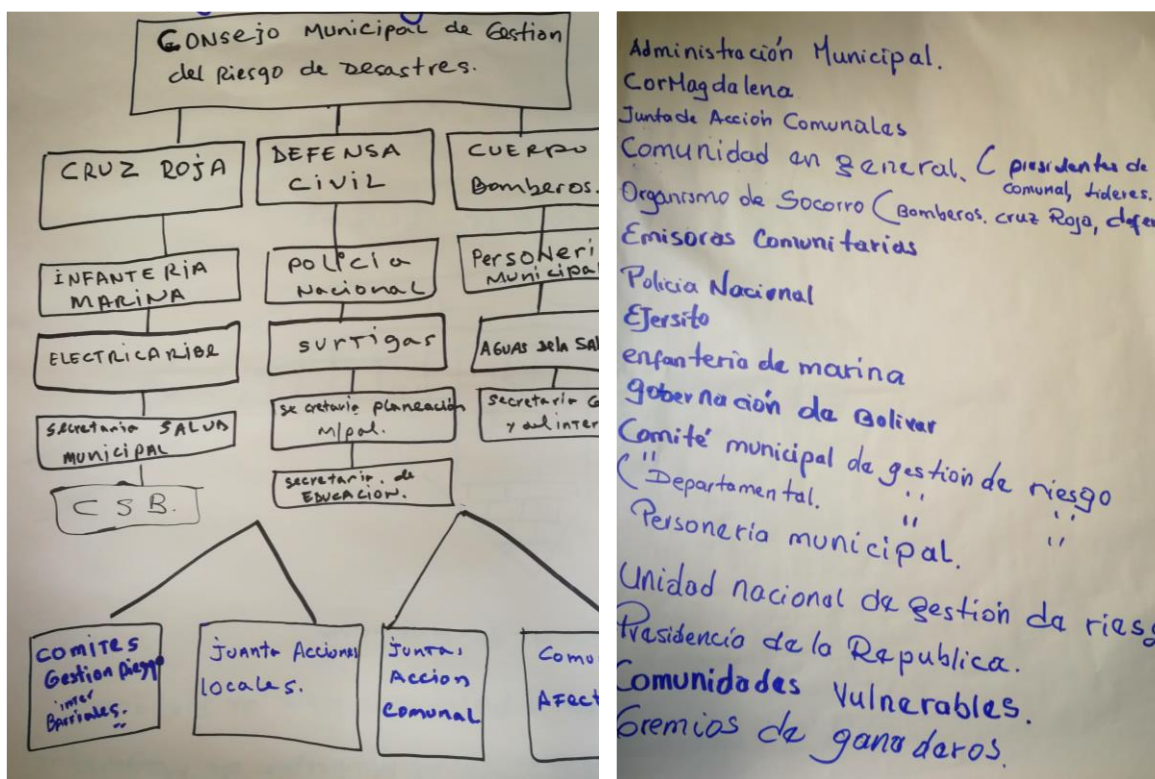


Figura 25. Ejemplos de mapeo de actores de los municipios de Magangué y Mompox (Talleres de participación octubre 2017).

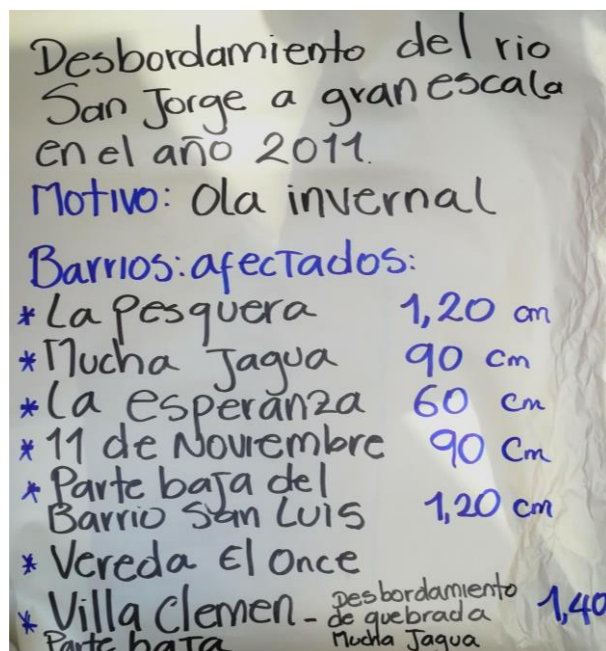


Figura 26. Ejemplos de identificación de zonas de inundación (Talleres de participación octubre 2017).

Tabla 31. Preguntas orientadoras para el acercamiento inicial a los actores e instituciones.

Temática	Preguntas u orientaciones	Materiales	Tiempo
Mapeo de actores	¿Cuáles son los actores que más influyen en la gestión del riesgo por inundación en el municipio? Hacer un listado de los actores, asignar un símbolo, incluirlos en cada círculo dependiendo de la influencia se escoge el tamaño del círculo, se pegan en la cartulina. Luego se ubican lejos o cerca, dependiendo si la relación ha sido fuerte o débil entre las instituciones.	Cartulinas Marcadores	30 minutos
Mapeo de amenaza por inundación	¿Cuál es el evento de inundación que mayor afectación ha generado en el municipio? ¿Conoce usted por cual motivo se presentó este evento? A. Desbordamiento del río. B. Lluvias intensas. C. Fallas en el sistema de alcantarillado. D. Rompimiento de diques. E. Otros. ¿Cuáles? ¿Hasta qué altura llegó el agua en las viviendas? Dibujar el mapa físico de la región y en el ubicar los sitios más significativos. Esta pregunta fue elaborada con el IDEAM.	Cartulinas Marcadores	30 minutos

Caracterización de hogares y territorial

En esta etapa se realiza un diagnóstico de la vulnerabilidad social en los hogares e individuos. Para esto se realizan dos tipos de encuestas:

- Hogares, individuos y comunidades: Aquí se realizan 30 preguntas a la población que habita en edificaciones que se encuentra en zonas de alto riesgo por inundación. Dichas preguntas tienen relación con las causas de la vulnerabilidad social, los mecanismos de gestión del riesgo en el municipio y las causas subyacentes de la vulnerabilidad. Los componentes principales a analizar se presentan en la Figura 27. En este componente se integraron tres preguntas relacionadas con el proceso de inundación y se construyeron con el IDEAM. En el Anexo 2 se presenta el formato de encuesta que incluye una tabla para realizar el procesamiento de la misma.

Tabla 32. Preguntas orientadoras para el componente de inundaciones.

Temática	Preguntas u orientaciones	Materiales
Inundación	¿Cuál es el evento de inundación que mayor afectación ha generado en su vivienda?	Año, mes y día.
	¿Conoce usted por cuál motivo se presentó este evento?	a. Desbordamiento del río. b. Lluvias intensas. c. Fallas en el sistema de alcantarillado. d. Rompimiento de diques. e. Otros. ¿Cuáles?
	¿Hasta qué altura llegó el agua en su vivienda?	Nivel (m):

Fuente: UNGRD e IDEAM, 2018.

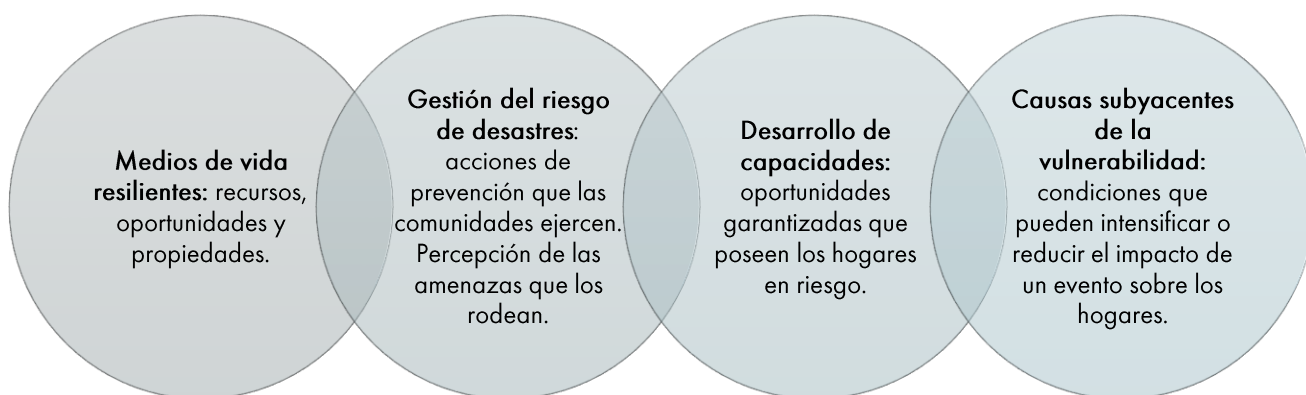


Figura 27. Elementos de análisis en las preguntas orientadoras del contexto hogares, individuos o comunidades.

Fuente: adaptado y complementado de (UNGRD-IEMP, 2017).

- Percepción local del riesgo: Aquí se realizan 24 preguntas a la población del municipio, las cuales tienen relación con el estado de percepción y conocimiento del riesgo de los habitantes. Acorde con los *Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres* (UNGRD-IEMP, 2017), se recomienda identificar minorías étnicas, personas con capacidades diferentes, personas de la tercera edad, etc. Se resalta que son preguntas relacionadas no solamente con inundación, sino también con otras fuentes de peligro como: sismos, tsunamis, volcanes, flujos de lodo, incendios urbanos, mala calidad sanitaria, entre otras. En el Anexo 3 se presenta el formato de encuesta, que incluye una tabla para realizar el procesamiento de la misma.

Caracterización de indicadores socioeconómicos

El propósito de esta etapa es realizar una evaluación de los indicadores socioeconómicos del municipio, que permiten mediar la vulnerabilidad social en términos de los derechos básicos de las personas y del acceso de las mismas a estos servicios del Estado (UNGRD-IEMP, 2017).

En esta etapa se identifican cinco pilares socioeconómicos y la información relacionada con cada uno de los indicadores. La información permite visibilizar las condiciones de cada sector. A continuación, se presentan los indicadores por cinco sectores. El detalle de cada uno de ellos se encuentra desde la página 63 hasta la 74 del documento mencionado.

También pueden identificarse otros indicadores para complementar el análisis de vulnerabilidad. Entre estos, se propone consultar información detallada sobre la salud dado que en diferentes investigaciones se ha encontrado que es uno de los puntos críticos para el análisis de la vulnerabilidad social (Villegas González, 2018). Además, durante talleres de vulnerabilidad social (Estudio piloto realizado por la UNGRD y el IDEAM 2017-2018) se ha identificado que esta variable se encuentra asociada a los periodos de inundación. La información soporte del componente de salud ha sido elaborada con el apoyo del profesor Omar Agudelo, Director Centro de Estudios para la Prevención de Desastres (CEPREVÉ) en Universidad Nacional de Colombia.

Tabla 33. Indicadores socioeconómicos.

Temática	Preguntas u orientaciones	Referencia recomendada
Salud	Médicos por cada mil habitantes	Secretaría de salud
	Tasa de mortalidad infantil	Secretaría de salud
	Porcentaje de población si acceso a salud	Secretaría de salud
Educación	Porcentaje de analfabetismo	Secretaría de educación
	Porcentaje de la población de 6 a 14 años con acceso a la educación	Secretaría de educación

Vivienda	Porcentaje de viviendas sin servicio de acueducto	Secretaría de planeación
	Porcentaje de viviendas sin servicio de acueducto	Secretaría de planeación
	Déficit de vivienda municipal	Secretaría de planeación
Condiciones de empleo y de los ingresos	Porcentaje de la población económicamente activa (PEA) que recibe ingresos de menos de 2 salarios mínimos mensuales vigentes	Secretaría de desarrollo económico o de hacienda.
	Nivel de dependencia	Secretaría de desarrollo económico o de hacienda.
	Tasa de desempleo	Secretaría de desarrollo económico o de hacienda.
Población	Densidad de la población	DANE y alcaldía.
	Dispersión poblacional	DANE y alcaldía.

Otros indicadores identificados

Riesgo de desastres	Índice Municipal de Riesgo de Desastres	DNP. https://www.dnp.gov.co/programas/ambiente/117estion-del-riesgo/Gestion-del-riesgo.aspx .
Indicadores e información del contexto salud	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística SIS – Planilla de Atención de Pacientes Atendidos, Edades y Clasificación de Enfermedades. • Caracterización endémica y epidemiológica de municipio y región. • Infraestructura sanitaria municipal y veredal, cobertura. • Cobertura en vacunación y esquema de vacunación aplicado. • Enfermedades infecto-contagiosas prevenibles y no prevenibles por vacunación, registradas en el municipio en el último año. • Enfermedades transmitidas por vectores y registradas en los últimos años. • Índice nutricional en niños y adolescentes. • Tasa de Mortalidad Infantil (menores de 1 año de edad). • Número de casos de Dengue, Fiebre Amarilla, Chikungunya, Zika (últimos 2 años). • Existencia o no de Plan Hospitalario para Emergencia y uso del Manual de Planeamiento Hospitalario para Emergencia del Ministerio de Salud. • Causas de Mortalidad en el municipio y región. 	Secretaría de salud del municipio y del departamento.

Fuente: adaptado y complementado de (UNGRD-IEMP, 2017).

Coproducción

El proceso de coproducción se refiere a la construcción colectiva de conocimiento para el cambio transformativo entre diferentes actores. Para esto se cuenta con la caja de herramientas en las páginas 38 y 50 del documento *Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres* (UNGRD-IEMP, 2017). Las herramientas que se usaron para el análisis de riesgo por inundación se presentan a continuación y se complementaron acorde con diferentes experiencias que se referencian en la tabla:

Tabla 34. Indicadores socioeconómicos.

Temática	Preguntas u orientaciones	Materiales	Tiempo
Mapeo de amenazas (UNGRD-IEMP, 2017)	¿Cuáles son las amenazas a las que está expuesta la comunidad? ¿Qué zonas o áreas comunales, qué obras de infraestructura, qué casas o edificios corren los mayores riesgos? ¿Por qué? La información suministrada es ubicada en un mapa del municipio. Dibujar el mapa físico de la región y en el ubicar los sitios más significativos.	Cartulina y marcadores.	30 minutos.
Calendario estacional (UNGRD-IEMP, 2017)	Tabla con actividades que tienen lugar en el municipio en las filas. En las columnas se incluyen los meses del año. Actividades, acontecimientos, épocas de sequía, lluvia, siembra o recolección, épocas en el que el flujo de las familias sea mayor o menor, épocas de proliferación de enfermedades, épocas en las que se presentan fenómenos extremos.	Cartulina y marcadores.	30 minutos.
Cronología histórica (UNGRD-IEMP, 2017)	Trazar una línea de tiempo con los acontecimientos observados en la comunidad. Incluir eventos como: sequía, inundación, terremotos, brotes de enfermedad en los cultivos, escasez de agua o periodos de hambruna. Así como eventos importantes para la comunidad de tipo político, social, festivales, celebraciones, cosechas abundantes, eventos inusuales como: lluvias tempranas, cosechas abundantes, cambios de temperatura, etc. Deben marcar la intensidad y la frecuencia.	Cartulina y marcadores.	30 minutos.
Resiliencia (Villegas-González, y otros, 2017)	¿Cuál ha sido el problema más relevante que ha tenido los últimos años y que hicieron para solucionarlo?	Cartulina y marcadores.	30 minutos.
Visión futuro (Villegas-González, y otros, 2017)	¿Enuncie los sueños compartidos? Cómo se ven a futuro.	Cartulina y marcadores.	30 minutos.
DOFA	Enunciar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas en la gestión del riesgo del municipio.	Cartulina y marcadores.	1 hora.

(Villegas-González, y otros, 2017)			
Mecanismos de adaptación (Villegas-González, y otros, 2017)	¿Qué mecanismos de adaptación implementa la comunidad durante la inundación? ¿Cuáles son las acciones de prevención, de corto, mediano y largo plazo implementadas en el marco de una inundación?.	Cartulina y marcadores.	1 hora.
Medidas para disminuir la vulnerabilidad (UNGRD, 2018)	¿Qué medidas podrían implementarse en el municipio para que las comunidades sean menos vulnerables frente a una inundación? Prevención, corto, mediano y largo plazo. Responsables.	Cartulina y marcadores.	1 hora.
Integración amenaza y vulnerabilidad social (UNGRD-IDEAM. 2018)	Identificar en un mapa del municipio: los barrios que se encuentran ubicados en zonas de alto riesgo, las edificaciones prioritarias y de mayor concurrencia, los puntos de evacuación y la mancha de inundación.	Cartulina y marcadores.	1 hora.

En las Fotografía 1 y Fotografía 2 se presentan algunos resultados de la implementación de estos espacios de coproducción:



Fotografía 1. Mapa de integración del componente amenaza y vulnerabilidad social en el municipio de Magangué (Bolívar).



Fotografía 2. Espacios de participación en el municipio de San Marcos (Sucre).

Consolidación

En esta etapa, se propone la consolidación de la información y el análisis de la vulnerabilidad social. Para esto, se parte de un esquema general de los componentes que debe tener el documento de análisis de la vulnerabilidad social (UNGRD-IEMP, 2017). A continuación, se presentan los contenidos del documento (ver Figura 28):

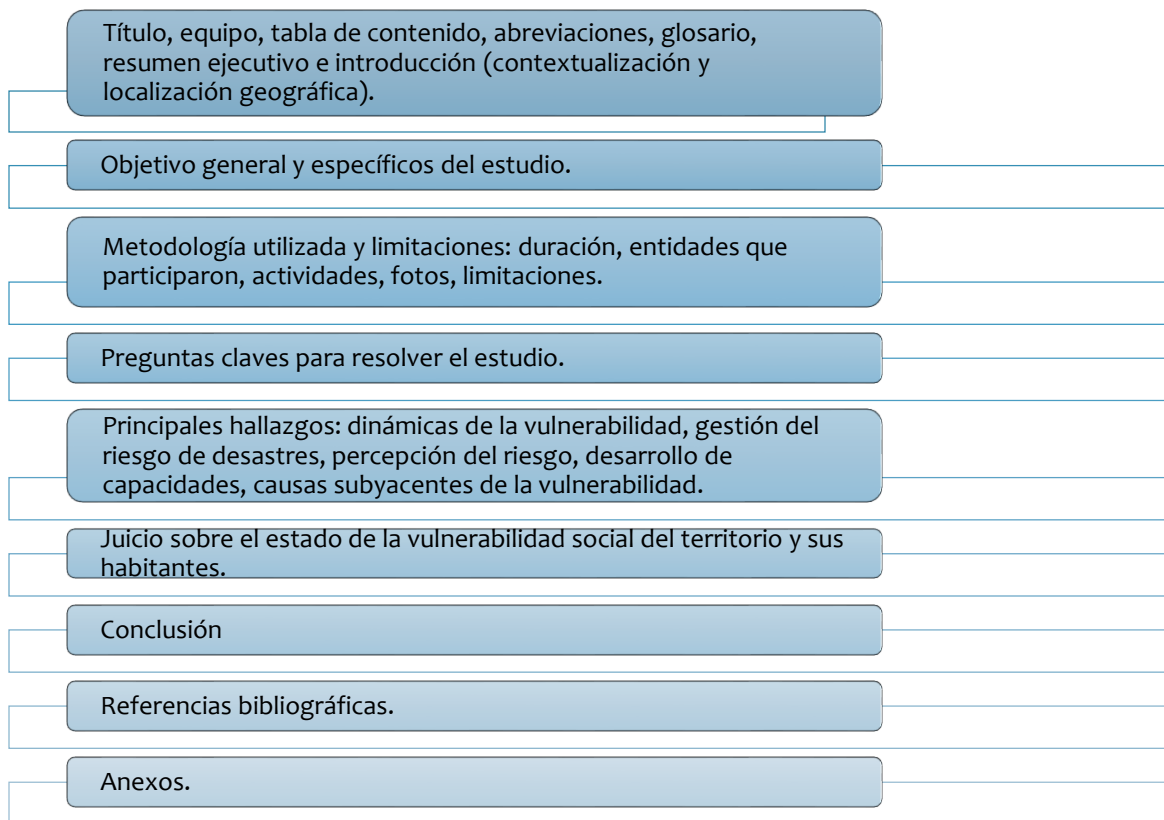


Figura 28. Contenido propuesto para presentar el diagnóstico y análisis del componente de vulnerabilidad social.

Fuente: adaptado y complementado de (UNGRD-IEMP, 2017).

El detalle de cada componente se encuentra en las páginas 76-81 del documento de referencia. Sin embargo, se presenta un breve resumen de los criterios para realizar los principales análisis (UNGRD-IEMP, 2017):

- Dinámicas de la vulnerabilidad: Situación actual de los activos físicos (vivienda, tierra), financieros (trabajo-fuentes de ingreso formales e informales) y sociales (redes de apoyo). Esta sección debe incluir una descripción general de los eventos más importantes que han golpeado a los habitantes del territorio. Es importante evidenciar además los mecanismos de adaptación

o medidas adoptadas por los hogares para hacer frente a tales eventos. Estas últimas son muy importantes pues evidencian si la comunidad es resiliente o no, y qué medidas pueden adoptarse para hacerlas menos vulnerables (la herramienta ‘Calendario Estacional’ puede ser de utilidad en este apartado).

- Gestión del Riesgo de Desastres: ¿Qué hace vulnerables a las personas? ¿En qué son vulnerables (temas sociales, ambientales, económicos, etc.)? ¿Qué evidenció en el mapeo participativo de amenazas? ¿El mapeo evidenció elementos adicionales a las amenazas? ¿Qué dice este ejercicio frente a la percepción del riesgo por parte de la comunidad? (Es deseable incluir fotos del ejercicio de mapeo).
- Percepción del riesgo: Las preguntas del eje anterior también permiten evidenciar la percepción del riesgo tanto de las entidades municipales como de los habitantes del territorio. En este apartado los aspectos culturales son determinantes para explicar cómo entiende la población el riesgo y ante qué situaciones se siente vulnerable o no.
- Desarrollo de capacidades: Situación actual del activo humano (acceso a infraestructura social –educación, salud, servicios públicos) de los hogares.
- Causas subyacentes de la vulnerabilidad: Descripción de la situación actual de los activos naturales (recursos hídricos, suelos), social y una mirada general a cómo se desarrollan las relaciones al interior de los hogares.

Como resultado final se determina el grado de vulnerabilidad del municipio, teniendo en cuenta los siguientes componentes. Para conocer mayor detalle revisar las páginas 79-81 del documento de referencia (UNGRD-IEMP, 2017).

- Indicadores de contexto (IC): Se consideran las respuestas del contexto nacional, regional y municipal. Los resultados de este componente sirven como referencia para comprender las dinámicas del entorno en el que se encuentran los hogares, y cómo las acciones institucionales, en términos de gestión de riesgo de desastres, pueden hacer la diferencia a la hora de que estas comunidades se enfrenten a un determinado evento.

$$IC = \frac{Puntajes\ CNRM + \frac{\sum\text{puntajes}\ CH}{ER}}{2}$$

Ecuación 11.

Donde:

IC: calificación índice de contexto.

CNRM: contexto nacional, regional y municipal.

CH: contexto hogar.

ER: encuestas realizadas.

- Indicadores de percepción local del riesgo (PLR): se consideran las respuestas de percepción del riesgo en el municipio. Los resultados de este componente permiten evaluar el estado de percepción y conocimiento del riesgo de sus habitantes, para lograr mejores resultados en el ejercicio de la prevención, atención y control de eventos de desastre.

$$PLR = \frac{\sum \text{Puntajes encuestas percepción}}{ER}$$

Ecuación 12.

- Indicadores socioeconómicos: se considera la información recopilada y analizada de los indicadores. Estos permiten medir la vulnerabilidad social del municipio, en términos de los derechos básicos de las personas y del acceso de las mismas a estos servicios del Estado.

$$PIS = \frac{\text{Calificación obtenida de la suma de indicadores por rubro}}{\text{Número de indicadores por rubro}}$$

Ecuación 13.

Donde:

PIS: promedio de los indicadores socioeconómicos.

$$\text{Clasificación IS} = \frac{PIS \text{ salud} + PIS \text{ vivienda} + PIS \text{ educación} + PIS \text{ empleo} + PIS \text{ población}}{5}$$

Ecuación 14.

Donde:

IS: indicadores socioeconómicos.

Los componentes anteriores son el insumo para medir, de forma general el Grado de Vulnerabilidad Social ante Desastres del Municipio (VSDM).

- Grado de vulnerabilidad social del municipio:

$$VSDM = (\text{Calificación IC} \times 0.50) + (\text{Calificación PLR} \times 0.50) + (\text{Calificación IS} \times 0.25)$$

Ecuación 15.

A partir de este análisis se puede determinar la calificación de vulnerabilidad por municipio de la siguiente manera:

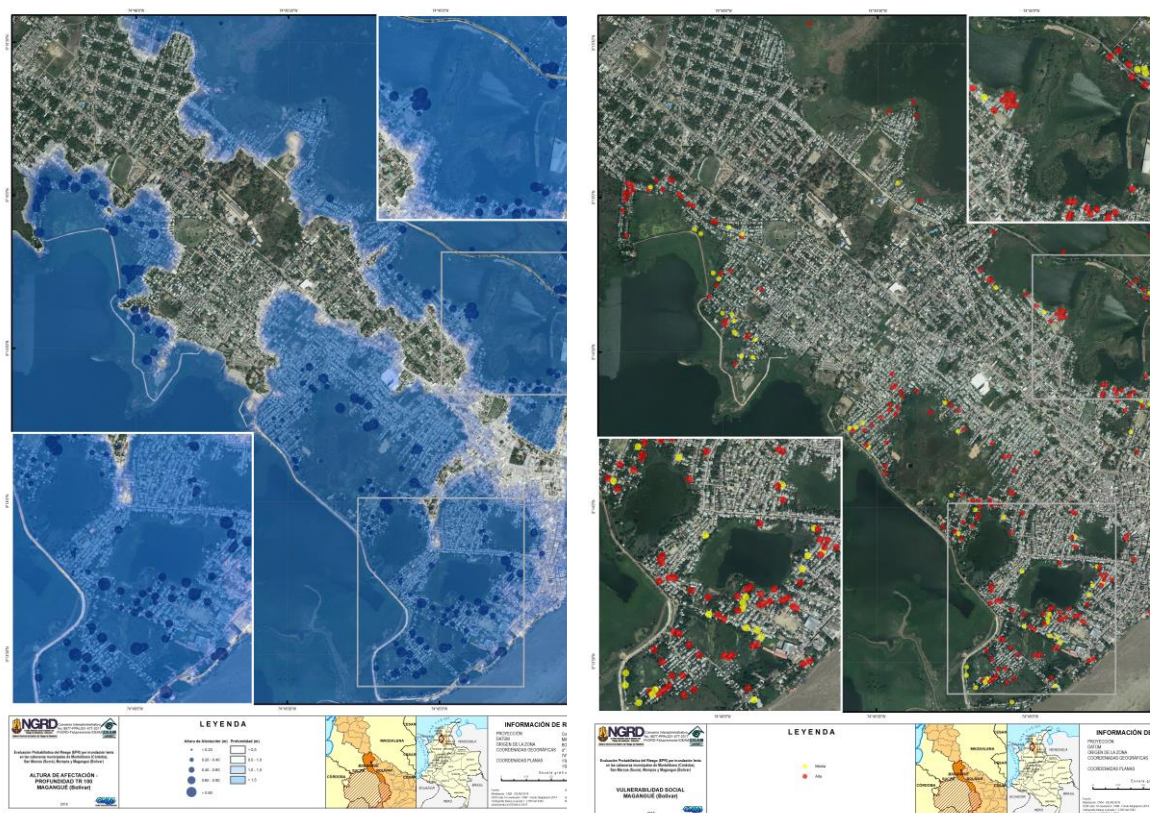
Tabla 35. Indicadores socioeconómicos.

Valor final	Condición de propensión a la vulnerabilidad social
0.40 o menos	Baja
De 0.41 a 0.61	Media
Más de 0.60	Alta

Fuente: (UNGRD-IEMP, 2017).

Los resultados obtenidos sirven como base para reflexionar respecto el estado de cada uno de los componentes que hacen parte de la vulnerabilidad social del municipio. De esta manera los tomadores de decisión podrán tomar medidas para disminuir estos puntajes. “Más allá de presentar un documento lleno, se pretende que, de forma mancomunada, las poblaciones y sus gobiernos encuentren espacios para dialogar sobre sus necesidades y las mejores formas para superarlas. De igual forma los resultados del estudio son un insumo fundamental para los estudios de análisis de riesgo” (UNGRD-IEMP, 2017).

En los mapas presentados a continuación se observa, primero el mapa de amenaza por inundación y posteriormente la zonificación de la condición de vulnerabilidad social en la zona de alto riesgo, identificada con los actores y entidades locales. Cómo se observa ambos mapas, guardan relación, en cuanto a las zonas que mayores impactos reciben con las inundaciones lentas.



Mapa 12. Ejemplo de resultados de zonificación de la vulnerabilidad social y su relación con la amenaza por inundación para el municipio de Magangué.

Difusión

Esta es una de las etapas fundamentales para la apropiación social del conocimiento y para esto se debe implementar la estrategia de comunicación definida desde la formulación del proyecto. Son recomendadas las siguientes:

- Documento que recopila el diagnóstico de la vulnerabilidad social, teniendo en cuenta los contenidos de la sección anterior.
- Documentos resúmenes tipo cartilla, para realizar divulgación en la comunidad.
- Video que resuma el proceso de desarrollo del proyecto.
- Video con enfoque educativo para evidenciar los principales fundamentos y hallazgos. Como herramienta fundamental para consolidar los procesos educativos.
- Taller de socialización y retroalimentación de los resultados del estudio.

Conclusiones sobre la metodología

El análisis de vulnerabilidad social en el marco de los estudios de riesgo resulta fundamental para construir un enfoque integral. El componente social, involucra a los actores e instituciones que tienen relación directa con las condiciones de riesgo en el municipio y esta situación hace que los resultados que se van obteniendo en los demás componentes, se encuentren en un contexto real.

Las actividades enfocadas al análisis de la vulnerabilidad social permiten ampliar el desarrollo de componentes, como el de vulnerabilidad física y el de amenaza por inundación. Para el caso de la vulnerabilidad física, se pueden proponer curvas de vulnerabilidad en condiciones de adaptación y no adaptación (Acorde con lo encontrado en el trabajo de campo y los talleres de participación social).

Este criterio resulta fundamental en zonas donde se presenta inundaciones lentas, considerando que en las áreas que tienen condiciones periódicas de inundaciones lentas, las personas generan mecanismos de adaptación. Esta situación hace que los porcentajes de daño disminuyan.

Adicionalmente, los espacios de participación social sirven como soporte para la validación de los mapas de amenaza por inundación. Zonas que no presentan amenaza en los modelos computacionales, pueden identificarse en los talleres de participación social. Este tipo de hallazgos implica ampliar el dominio computacional y mejorar la información cartográfica. Los espacios de validación de los resultados con las comunidades, permiten no solo fortalecer los modelos de amenaza por inundación, sino también explicar a la población las condiciones y causas de las inundaciones. Las comunidades viven y comprenden las inundaciones desde su espacio territorial que generalmente se observa a nivel de barrio. Pero este tipo de abordajes, les muestran los efectos regionales, en un dominio más amplio. Este conocimiento no solo permite generar conciencia en la forma como se relacionan con su entorno, sino también, en las decisiones que toman sobre sus formas de habitar.

Los lineamientos generados en este documento presentan avances en el análisis de la vulnerabilidad social y uno de los principales retos que surgen es la forma como incluir este componente en los estudios probabilistas de riesgo. Durante el caso piloto se identificó que el componente de salud, podría ser el inicio para incluir este componente. Sin embargo, la metodología presentada resulta una buena forma de realizar un diagnóstico de la vulnerabilidad social en coproducción con los actores e instituciones claves.

Respecto a la normatividad en gestión del riesgo, el país deberá avanzar en criterios para el análisis de la vulnerabilidad social. Este tipo de estudios, demuestra que comprender las dinámicas de la vulnerabilidad social contribuye a conocer la percepción local del riesgo, los mecanismos de adaptación y las medidas adoptadas por los hogares, los aspectos culturales característicos de una población y su relación con las condiciones de riesgo, las capacidades locales que tiene una determinada población para reponerse ante un evento de desastre, las acciones que se están realizando desde las entidades territoriales para que las comunidades conozcan los riesgos a los que se enfrentan y puedan reaccionar efectivamente, y las relaciones entre la sociedad civil y las entidades, a la hora de enfrentar un evento

extremo. Todo este conocimiento, puede soportar algunas de las acciones que se incluyen en un plan de gestión del riesgo del municipio, lo que sin duda disminuye el riesgo en un territorio.

Evaluación y análisis de Riesgo

Introducción

Como cualquiera de las metodologías existentes para la evaluación cuantitativa de riesgo, la EPR por inundación se encuentra regida por la incertidumbre (Merz, Elmer, & Thieken, 2009; Merz & Thieken, 2005). De manera general, la naturaleza de dicha incertidumbre puede ser catalogada en tres categorías principales: aleatoria, epistémica y ontológica. La incertidumbre aleatoria se relaciona con la natural variación de los sistemas analizados. En el caso de la amenaza por inundación se puede hablar de la variabilidad en términos de cantidad de precipitación acumulada en una zona particular de una cuenca, caudales pico que transitan por un cauce, niveles de tirante hídrico en un punto del espacio, velocidades asociadas a dicho tirante, etc. Este tipo de incertidumbre, en principio, no es posible reducirla dado que es una condición intrínseca del sistema analizado y de la naturaleza del mismo.

Por otro lado, la incertidumbre epistémica se relaciona principalmente con el nivel de conocimiento o desconocimiento que se tiene sobre el sistema analizado, lo cual genera que el modelador deba realizar suposiciones basadas en criterio de experto, información previa o relaciones empíricas acerca del funcionamiento del sistema. En teoría, este tipo de incertidumbre puede ser reducida a medida que se generan avances en el estado del conocimiento sobre el sistema de análisis y las capacidades de cálculo computacional permiten llegar a resultados que posibilitan la comprobación y/o validación con la realidad que se intenta representar. Un ejemplo de este tipo de incertidumbre en las EPR por inundación en términos de la vulnerabilidad física suele ser el impacto de la duración y tirante hídrico de un evento particular sobre un elemento expuesto, ya sea una edificación, la población, cultivos agrícolas etc, en función de las características principales de dichos elementos.

Por último, la incertidumbre ontológica hace referencia a todos los factores, variables y/o parámetros que son dejados de lado en los estudios de EPR por inundación como, por ejemplo, los efectos de las obras de control de inundaciones dentro de los modelos de amenaza por inundación construidos a escalas globales, continentales y nacionales (de Moel et al., 2015). Mayor información al respecto puede encontrarse en Paté-Cornell (1996), Levy (2005) y de Moel et al. (2015).

En un ambiente de incertidumbre presente en cada uno de los componentes involucrados en la ER por inundación, sumado a la baja o nula disponibilidad de información histórica que contenga datos de consecuencias sobre la población y sus medios de subsistencia, y a la posibilidad existente de la ocurrencia de eventos altamente destructivos en el futuro, las ER a escalas regionales y locales deben focalizarse en metodologías probabilistas que involucren y propaguen las incertidumbres temporales y espaciales envueltas en el proceso (Torres et al., 2014).

En consecuencia, esta sección pretende establecer las consideraciones y detalles metodológicos para la EPR por inundaciones lentas a escalas de detalle (1:2.000) en zonas urbanas, con el objetivo de responder dos preguntas primordiales; i) ¿Qué tanto daño puede producirse sobre un conjunto de

elementos expuestos? y, ii) ¿Con qué frecuencia? La respuesta a estas preguntas se plantea por medio de una metodología de EPR que involucra los componentes de (Ver Figura 2):

- Amenaza por inundación para dos magnitudes de intensidad: tirante hídrico y velocidad media de flujo.
- Exposición para edificaciones localizadas en zona urbana de municipios de Colombia.
- Vulnerabilidad para dos rubros de análisis: contenidos muebles y elementos estructurales y no estructurales.
- Cálculo y evaluación probabilista del riesgo por inundación lenta.

A partir de lo anterior se evalúan las consecuencias económicas en el grupo de elementos expuestos debido a la ocurrencia de diferentes eventos de inundación, que colectivamente describen la amenaza para, posteriormente, integrar dichas consecuencias para todos los eventos involucrando las probabilidades de que se excedan ciertos niveles de pérdida por las frecuencias anuales de ocurrencia de cada evento analizado (Torres et al., 2014).

Objetivos

El objetivo principal del componente de evaluación y análisis del riesgo es presentar y especificar en detalle la metodología y consideraciones técnicas básicas sugeridas para la estimación de pérdidas por inundación lenta con enfoque probabilista para escalas de detalle (1:2.000) en municipios del país en suelo urbano y/o de expansión urbana, a partir de la consideración de los componentes de amenaza, vulnerabilidad física y exposición. A partir del objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- i. Definir y especificar los detalles metodológicos para involucrar los resultados del modelo de amenaza por inundación lenta enfocada a eventos, caracterizados por diferentes magnitudes de intensidad (específicamente para tirante hídrico y velocidad media de flujo), frecuencias de excedencia y ocurrencia y extensión espacial de cada evento.
- ii. Definir y especificar los detalles metodológicos para involucrar los resultados del modelo de exposición de elementos expuestos con información en términos de localización (coordenadas, altura topográfica, altura sobre la rasante, distancia ortogonal al cuerpo de agua más cercano), avalúo catastral y tipologías estructurales propias de cada elemento.
- iii. Definir y especificar los detalles metodológicos para involucrar el análisis de vulnerabilidad física de los elementos expuestos identificados, a partir de la consideración de rubros por contenidos y por elementos estructurales y no estructurales.
- iv. Definir y especificar los detalles metodológicos para la estimación de las frecuencias con las cuales se igualan o exceden determinados niveles de pérdida económica asociada al valor expuesto de las edificaciones analizadas.

Detalles metodológicos

En este capítulo se presentan los objetivos, alcances y recomendaciones para el análisis y evaluación probabilista del riesgo por inundación lenta en cabeceras municipales a escala 1:2.000. El modelo propuesto es producto de las metodologías existentes en el estado del arte para la gestión del riesgo por inundaciones a nivel nacional e internacional, con aportes metodológicos específicamente para la evaluación de la pérdida de manera independiente en los rubros de contenidos y edificaciones con sus elementos estructurales y no estructurales. Adicionalmente se proporciona una aproximación metodológica para la estimación de la correlación de pérdidas entre localizaciones a partir del valor de pérdida estimada, distancia ortogonal al cuerpo de agua analizado, altura topográfica, altura sobre la rasante y la categorización de la vulnerabilidad por edificación en cada elemento expuesto.

De manera resumida, para llevar a cabo la metodología propuesta se deben seguir los siguientes pasos:

Análisis hidrológico

Generación de hidrogramas (con su correspondiente caudal pico) a partir del análisis hidrológico de frecuencias para series de caudal máximo diario multianual. Se obtienen caudales máximos asociados a períodos de retorno y la FDP de mejor bondad de ajuste parametrizada por los dos primeros momentos estadísticos. Para el cálculo de los caudales máximos se sugiere considerar suficientemente todo el rango de períodos de retorno, esto es, desde los eventos más recurrentes con períodos de retorno menores, hasta los eventos menos recurrentes con períodos de retorno lo suficientemente grandes (T_r mayores a 100 años) como para garantizar la exhaustividad del análisis.

Modelación hidráulica

Tránsito de caudales máximos calculados usando un modelo hidrodinámico físicamente basado, el cual se exige que sea calibrado en sus parámetros para la reproducción de magnitudes de intensidad (por ejemplo, el tirante hídrico) asociadas a eventos extremos poco frecuentes y, adicionalmente, se exige que sea validado en términos de extensión de la zona inundable para eventos históricos por medio del uso de imágenes satelitales y/o fotografías aéreas disponibles.

El producto de cada caudal máximo transitado será una malla de magnitudes de tirante hídrico y velocidad media de flujo asociadas a los mismos períodos de retorno del caudal que los produce gracias al concepto de iso-frecuencia. Con el objetivo de asociar incertidumbre al componente de amenaza por inundación, para cada malla de tirante y velocidad producida se calcula el segundo momento estadístico a partir del coeficiente de variación calculado para la serie de datos histórica de caudal máximo diario multianual analizada desde el componente hidrológico.

Análisis de frecuencia de eventos

Se construye la curva de amenaza para cada localización de la malla de resultados donde exista un elemento expuesto. A partir de ella se genera un proceso de muestreo de eventos secundarios que garantiza que sean disjuntos y que sea factible estimar la frecuencia anual de ocurrencia a partir de la

frecuencia anual de excedencia para cada uno de ellos. Este proceso, que determinará el número de eventos a estudiar, debe realizarse para cada magnitud de intensidad en términos de su valor esperado, de manera suficientemente extensa como para garantizar el detalle y exhaustividad del análisis.

Modelo de exposición por inundación

Se propone elaborar un modelo de exposición que contenga información de localización geográfica, valor económico expuesto, tipología estructural del elemento, altura sobre la rasante del elemento, tipología de contenidos, valor económico de la edificación y sus contenidos y condiciones de adaptación a la inundación.

Evaluación de vulnerabilidad física

Se propone el análisis y evaluación de la vulnerabilidad física de manera independiente para los rubros de contenidos y de edificación, en términos de los elementos estructurales y no estructurales que la componen. Para ello, se propone la construcción de funciones de vulnerabilidad que relacionan el tirante hídrico con el daño relativo, para el caso de los contenidos y, de tirante hídrico, velocidad media de flujo con el daño relativo para el caso de la edificación.

Generación de realizaciones de intensidad y de daño en cada localización

Una vez generados los eventos de amenaza a estudiar, se realiza la lectura del valor esperado y desviación estándar de los valores de intensidad característicos de cada evento para cada localización reportada en el modelo de exposición, considerando su altura sobre la rasante. A partir de estos datos se procede a la generación de n realizaciones de intensidad considerando la FDP y los dos momentos estadísticos propios de la amenaza para, posteriormente, generar m realizaciones de daño sobre la función de vulnerabilidad de contenidos y de edificación.

Cálculo de pérdidas

Una vez obtenido el daño de cada localización como la suma de la pérdida entre rubros, se procede a realizar el cálculo de la pérdida relativa física de cada elemento expuesto considerando todos los eventos, ponderados por su respectiva frecuencia anual de ocurrencia. Adicionalmente, para cada evento se computa la pérdida total reportada como la suma de variables aleatorias de pérdida de cada localización. Dicha adición se plantea a partir de la suma de los dos primeros momentos estadísticos para una FDP definida y comprobada a partir de un test de bondad de ajuste, para un conjunto de elementos seleccionado. Para computar la suma de las varianzas de la pérdida se plantea estimar la correlación de pérdidas entre elementos expuestos. A partir de la pérdida total para cada evento, descrita completamente por su FDP y los dos primeros momentos estadísticos, se realiza el cálculo de la tasa de excedencia de pérdidas, con la cual es posible construir la curva de excedencia de pérdidas de todos los elementos expuestos estudiados.

En primer lugar, es preciso reportar un resumen de las fuentes de incertidumbre de la EPR y las propuestas metodológicas para su consideración y tratamiento en el proceso de análisis. La Tabla 36 presenta

dichas fuentes, categorizadas por los tipos de incertidumbre descritos anteriormente y su correspondiente propuesta metodológica.

Tabla 36. Fuentes de incertidumbre en la EPR por inundación para cada componente.

Fuentes de incertidumbre	Propuesta metodológica
Aleatoria 1. Asociada a la naturaleza del fenómeno amenazante y a la respuesta de cada elemento expuesto respecto a la ocurrencia del fenómeno.	1. Se consideran y propagan las incertidumbres aleatorias presentes en los componentes de amenaza y vulnerabilidad a partir de procesos de simulación de Montecarlo para la generación de intensidades de tirante hídrico y velocidad media de flujo dentro de un rango definido, y valores de relación media de daño asociada a una FDP específica proveniente de la variabilidad natural de los caudales máximos en una zona de análisis.
Epistémica 1. Distribución de probabilidad de la pérdida para cada rubro (contenidos y edificación) por evento. 2. Distribución de probabilidad de la pérdida total en cada localización, para cada evento. 3. Distribución de probabilidad de la pérdida para todas las localizaciones, para cada evento.	1. Se aborda a partir de un proceso de simulación de Montecarlo para la pérdida en cada uno de los rubros analizados, considerando los valores simulados de intensidad de amenaza y las funciones de vulnerabilidad específicas para cada rubro, localización y evento. 2. Se aborda a partir de pruebas de bondad de ajuste para hallar la FDP de la suma de la pérdida en cada rubro, localización, y evento. 3. Se aborda a partir de pruebas de bondad de ajuste para hallar la FDP de la suma de la pérdida en cada localización y evento.
Ontológica 1. Correlación de pérdidas entre rubros analizados, para cada evento 2. Correlación de pérdidas entre localizaciones analizadas, para cada evento	1. Se aborda a partir de la estimación del factor de correlación en función del número de pisos de la edificación. 2. Se aborda a partir de la estimación del factor de correlación en función de las pérdidas en cada localización, la distancia ortogonal al cuerpo de agua, la altura topográfica y artificial del elemento expuesto y, por último, la categorización de vulnerabilidad física por edificación.

El esquema general de cálculo propuesto se basa en las experiencias metodológicas descritas en el estado del arte disponible en el documento “Evaluación Probabilista del Riesgo por inundación lenta en las cabeceras municipales de San Marcos (Sucre), Montelíbano (Córdoba), Mompo (Bolívar) y Magangué (Bolívar)” (UNGRD, 2018), con algunas modificaciones, aportes metodológicos y/o complementos dada la escala de análisis para la cual se abordan estos lineamientos. En la Figura 29 se presenta el esquema general para la EPR por inundación y en las secciones subsiguientes se presentarán los procedimientos y el detalle técnico para llevar a cabo los cálculos que se indican en el esquema. Todos los conceptos y términos utilizados en la metodología pueden consultarse en el Glosario.

De manera general, el procedimiento descrito en la Figura 29 se inicia a partir de la consideración del primer evento de amenaza, para un elemento expuesto en particular. Para dicho elemento expuesto se realiza un proceso de simulación de Montecarlo para la generación de realizaciones de tirante hídrico. Para cada una de dichas intensidades de amenaza simuladas, se realiza un segundo proceso de Montecarlo para la generación de realizaciones de daño en los rubros de contenidos y de edificación, considerando las funciones de vulnerabilidad correspondientes a cada rubro (contenidos y edificaciones). Este proceso se realiza para todas las realizaciones de amenaza del primer evento.

A partir del cálculo de las realizaciones de daño por cada rubro, se realiza la suma de daños generados en cada uno de ellos y se estima la bondad de ajuste a una FDP conocido y se caracteriza por medio de los dos primeros momentos estadísticos de la pérdida. Posteriormente, se repite el proceso para todos los elementos expuestos de análisis, para el primer evento de amenaza considerado. Con el objetivo de obtener el resultado de la pérdida para el evento de análisis, se realiza la suma de los momentos estadísticos de daño estimados para todos los elementos expuestos considerados, teniendo en cuenta la correlación de pérdidas inter evento. Por último, el procedimiento mencionado anteriormente se realiza para todos los eventos de amenaza que describan exhaustivamente todas las posibles formas en las que se puede presentar una inundación en la localización de análisis, reportando la pérdida total para cada evento. A partir de esta información es posible calcular la curva de excedencia de pérdidas y los indicadores de riesgo que se derivan de ella.

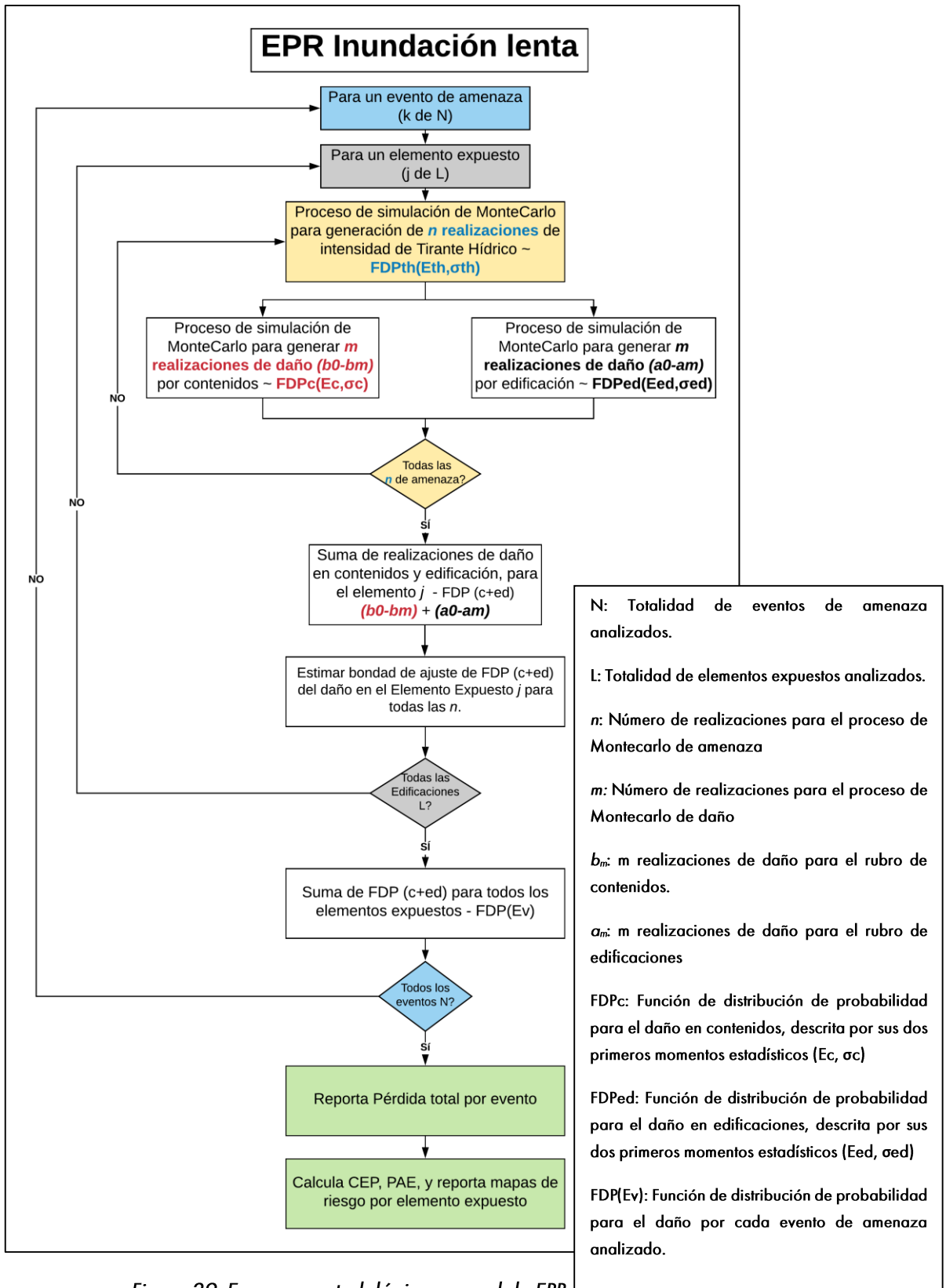


Figura 29. Esquema metodológico general de EPR por inundación progresiva.

Representación de la amenaza por inundación como insumo para la EPR por inundación

Para posibilitar el cálculo de las distribuciones de probabilidad de la pérdida por fenómenos naturales se debe recurrir al concepto de *evento*. Los eventos están constituidos por la ocurrencia de inundaciones por diferentes tipos de forzamientos, entre los que se encuentran típicamente; la precipitación, rotura de presas o diques, tsunamis, entre otros (de Risi et al., 2013). En tal medida, para el caso de los lineamientos planteados, se proponen las siguientes consideraciones y supuestos:

- Se asume que a cada valor de caudal máximo anual le corresponde un único hidrograma posible. De esta manera, el forzamiento que se plantea considerar es el caudal máximo anual calculado a partir de un análisis de frecuencia de la serie de datos disponible.
- Dado que se recomienda la calibración y validación del modelo hidrodinámico para una serie de eventos ocurridos en la zona de análisis, se asume que dicho modelo es estático en el tiempo y determinado, y que la ocurrencia de los eventos de inundación es independiente, mutuamente excluyente o disjunta y colectivamente exhaustiva. Esto es, que la ocurrencia de un evento no afecta positiva o negativamente la ocurrencia de otro en términos hidrológicos, ni de las condiciones hidráulicas del cauce y las planicies de inundación. Así mismo, también significa que no es posible que en la misma zona de análisis ocurran dos eventos simultáneamente. Y, por último, dado que se considera que son colectivamente exhaustivos, se asume que dentro del análisis quedan descritas todas las formas posibles en las que puede ocurrir una inundación en la zona de análisis debido al forzamiento seleccionado en la zona con características de cuenca definida.
- Se hace uso de hidrogramas calculados para períodos de retorno mayores que los utilizados típicamente para los análisis hidrológicos e hidráulicos convencionalmente elaborados para el diseño y/o revisión de seguridad de obras de control de inundaciones. Es indispensable incluir estos eventos extremos poco frecuentes, debido a que no se está revisando la seguridad de una obra en particular, sino que se busca evaluar las pérdidas que se pueden presentar en un régimen hidrológico determinado (Ordaz et al., 2013). Y, adicionalmente, para garantizar la exhaustividad en el análisis al considerar eventos de muy baja frecuencia, pero que pueden ser potencialmente desastrosos dada su gran intensidad.
- Para inundaciones en escala de detalle (1:2.000) ocasionadas por el desbordamiento de ríos, el conjunto de eventos primarios está conformado por los hidrogramas correspondientes a caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno, calculados considerando previamente el análisis de estacionariedad de las series de datos disponibles. Por tanto, la incertidumbre para el modelo de amenaza es considerada a partir de la variabilidad natural en los caudales máximos, con sus correspondientes momentos estadísticos y el coeficiente de variación estimado para la serie histórica.

- Para casos en los que el cuerpo de agua representado no corresponde a un río con un cauce y planicie de inundación definida sino, por el contrario, a un embalse, humedal o ciénaga, la metodología propuesta puede ser aplicada a partir de un análisis de frecuencias de niveles de tirante hídrico para una serie de datos histórica disponible y una modelación hidráulica de tipo cero dimensional.
- Se hace uso del concepto de iso-frecuencia al considerar las frecuencias de excedencia de las zonas de inundación calculadas como las mismas provenientes de los forzamientos detonantes de dichas zonas (Candela & Aronica, 2014).

Los métodos tradicionales para la determinación del período de retorno de eventos hidrológicos extremos, típicamente asumen dos condiciones como verdaderas: i) los eventos extremos surgen a partir de un comportamiento estacionario en el tiempo, y ii) la ocurrencia de los eventos extremos son independientes entre sí, o débilmente dependientes (Leadbetter, 1983) en (Salas & Obeysekera, 2014). De esta manera, la formulación típica para la estimación de cantidades usuales en hidrología, como el período de retorno de eventos extremos, el riesgo y la confiabilidad son plenamente conocidos a partir de las propuestas de autores como Gumbel (1941), Chow (1988), (Bras, 1990), entre otros. Sin embargo, a raíz de la evidencia en años recientes sobre los cambios (crecientes y decrecientes) en el comportamiento de las magnitudes hidrológicas medidas en diferentes cuencas alrededor del mundo, han surgido varias aproximaciones y propuestas para el empleo de los conceptos de no estacionariedad al análisis de frecuencia de variables hidrológicas extremas (por ejemplo caudal) para la evaluación de eventos de inundación poco recurrentes. Ejemplos de dichas aproximaciones pueden consultarse en: (Coles, 2001; Cooley, 2013; El-Adlouni, Ouarda, Zhang, Roy, & Bobee, 2007; Walter & Vogel, 2010).

En la Figura 30 se presenta el proceso de caracterización del set de eventos propuesto por inundación, a partir del cual, para un conjunto de hidrogramas (con su correspondiente caudal pico) asociados a períodos de retorno, se hace el tránsito por un modelo hidrodinámico definido para generar mallas de resultados para profundidad y velocidad media de flujo, asociadas a frecuencias de excedencia (inverso del período de retorno).

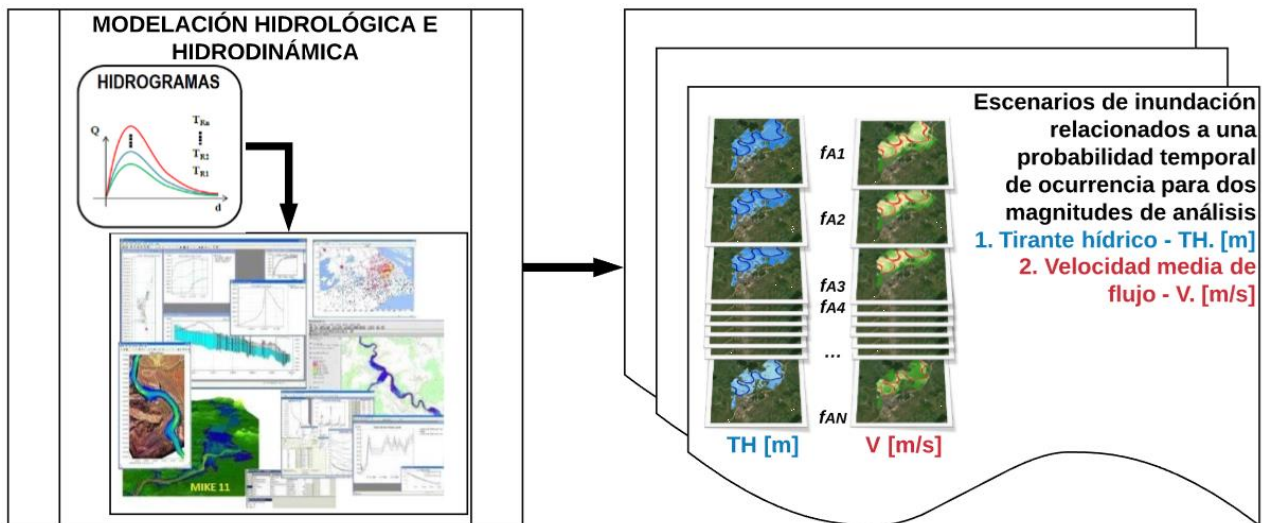


Figura 30. Proceso de caracterización del set de escenarios por inundación.

Fuente: Adaptado de (Torres et al., 2014) y (de Risi et al., 2013)

En el caso de las inundaciones provocadas por el desbordamiento de un cuerpo de agua, este conjunto de eventos está formado por los caudales o niveles máximos que se presentan con diferentes periodos de retorno. Es preciso mencionar, por una parte, que la frecuencia que caracteriza a cada evento en la metodología de EPR es su frecuencia anual de ocurrencia y no la probabilidad de que un valor de magnitud (caudal, tirante hídrico, velocidad media de flujo, etc.) sea excedido en un lapso dado. Debido a que en los análisis hidrológicos/hidráulicos típicos consideran eventos asociados a periodos de retorno, para zonas de análisis configuradas por una estructura de cuenca con un punto de concentración y cauce plenamente definidos a partir del cual es posible transitar un volumen de agua utilizando un modelo hidrodinámico, es preciso generar un proceso intermedio para estimar la frecuencia anual de ocurrencia a partir de dichos periodos de retorno (Ordaz et al., 2013).

Cálculo de frecuencia anual de ocurrencia a partir de período de retorno (o su inverso, la frecuencia anual de excedencia)

El procedimiento de cálculo de la frecuencia anual de ocurrencia a partir de los periodos de retorno implica la discretización (división en clases), tanto en el dominio de la magnitud de análisis como el de los periodos de retorno, para obtener combinaciones definidas usualmente por las marcas de clase. A esta combinación se asigna toda la frecuencia de ocurrencia correspondiente a los intervalos considerados. El número de clases que se consideren, el cual determina el número de eventos muestreados para el análisis, debe ser capaz de muestrear con razonable detalle el rango de magnitudes de análisis en cada punto del espacio (Ordaz et al., 2013). A continuación, se presenta el procedimiento de cálculo de las frecuencias anuales de ocurrencia a partir de la curva de amenaza para tirante hídrico en cada punto del espacio de análisis.

1. Construcción de la curva de amenaza para tirante hídrico vs. Período de retorno

A partir de las mallas de inundación producto de la modelación hidrodinámica, asociadas cada una de ellas a un período de retorno (Tr), es posible construir la curva de amenaza para cada localización (X_i, Y_i) en donde se encuentran elementos expuestos. En la Figura 31 se presenta el procedimiento de cálculo para un punto del espacio específico. De cada una de las mallas, para cada (X_i, Y_i) donde se encuentra localizado un elemento expuesto de interés, se lee el valor de tirante hídrico reportado y se grafica con respecto al período de retorno correspondiente. De esta curva es posible obtener la frecuencia anual de excedencia de intensidades de tirante hídrico como el inverso del período de retorno.

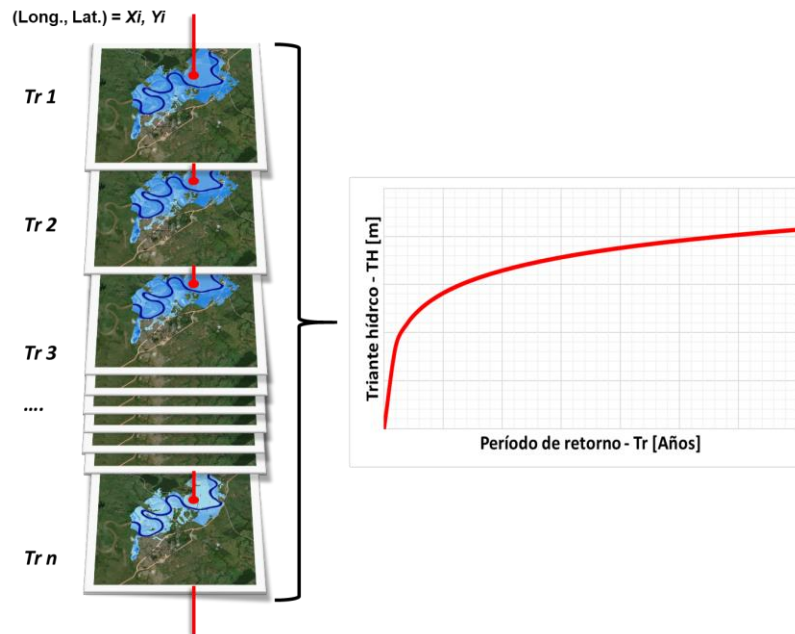


Figura 31. Construcción de la curva de amenaza para tirante hídrico vs. Período de retorno

2. Proceso de muestreo a partir de la discretización del dominio de la frecuencia anual de excedencia y estimación de la magnitud de tirante hídrico asociada

A partir de la curva de amenaza (paso 1), interpretada por medio de la frecuencia anual de excedencia (inverso del período de retorno), para cada localización se realiza el proceso de discretización de tirante hídrico (Th) y frecuencias anuales de excedencia, en el número de clases elegido. En la Figura 32, se presenta una partición de la magnitud en N clases, caracterizadas por su marca de clase como el valor medio entre el rango definido, a las cuales corresponde una determinada porción de frecuencia anual de excedencia *inicial* y *final* para el rango establecido.

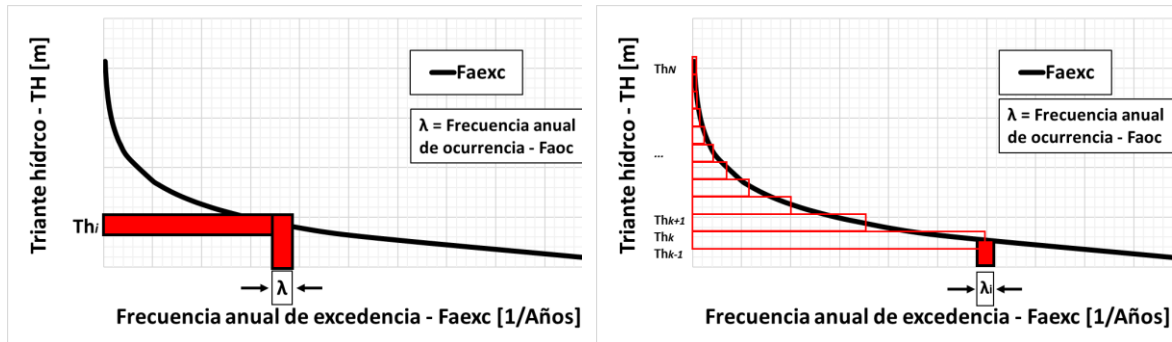


Figura 32. Frecuencia anual de ocurrencia a partir de frecuencias anuales de excedencia. Izq.: Discretización para la intensidad Th_i . Der.: Discretización para todo el rango de intensidad de Th de la curva de amenaza.

3. Cálculo de la frecuencia anual de ocurrencia para cada par de tirante hídrico muestreado.

La frecuencia anual de ocurrencia será, pues, el valor de la resta entre frecuencias anuales de excedencia para una determinada marca de clase.

$$F_{Ak} = \lambda(Th_{kk}) - \lambda(Th_{sk})$$

Ecuación 16.

Donde;

F_{Ak} = Frecuencia anual de ocurrencia para cada par de tirante hídrico muestreado

$\lambda(Th_{kk})$ = Frecuencia anual de excedencia final del rango de clase definido

$\lambda(Th_{sk})$ = Frecuencia anual de excedencia inicial del rango de clase definido

Dado que las magnitudes de análisis no se encuentran exentas de incertidumbre, se deben tratar como variables aleatorias. Para cuantificar este tipo de incertidumbre, existen diversas metodologías que permiten su estimación, por tanto en estos lineamientos se recomienda, así como en diferentes fuentes y autores, que se realice un esfuerzo para su estimación y propagación dentro del proceso de cálculo (Morel-Seytoux, 1976; Merz & Thieken, 2005; Pappenberger & Beven, 2006; Murphy, Gardoni, & Harris, 2011).

En este sentido, las incertidumbres a ser propagadas desde el modelo de amenaza provienen de la variación natural de los valores de caudal máximo, tenidas en cuenta en el análisis a partir del cálculo de la frecuencia anual de ocurrencia y la estimación de los momentos estadísticos correspondientes a la serie de datos histórica de caudal en términos de tendencia central y su dispersión por medio del coeficiente de variación. Por tanto, cada tirante hídrico muestreado, asociado a una frecuencia anual de ocurrencia, se trata como una variable aleatoria con una función de distribución de probabilidad (FDP)

que proviene del análisis de frecuencia para caudales máximos. Como consecuencia de lo anterior, para cada punto muestreado se asigna un momento de dispersión a partir del coeficiente de variación calculado para el análisis estadístico de caudales máximos históricos.

En conclusión, cada punto de la malla de cálculo en la zona de inundación queda descrito por un valor esperado de tirante hídrico y su correspondiente desviación estándar, que parametrizan la FDP estimada para el análisis de frecuencia de caudales máximos. Todo lo anterior, para N puntos muestreados sobre la curva de amenaza en cada localización. Un evento secundario quedará descrito, entonces, por el valor esperado y desviación estándar de las magnitudes de análisis (tirante hídrico y velocidad media de flujo) muestreadas, asociado a su correspondiente frecuencia anual de ocurrencia, para una localización en el espacio en donde exista un elemento expuesto.

Evaluación Probabilista del Riesgo por inundación

A continuación, se presenta el algoritmo para la generación de pérdidas por inundación sobre un grupo de elementos expuestos, considerando un conjunto representativo de eventos de amenaza. Los avances metodológicos se basan en el estado del conocimiento de la EPR por inundación (Ver capítulo Metodología General) en lo relativo al proceso de generación de pérdidas para elementos expuestos dada la ocurrencia de una amenaza de inundación. El procedimiento descrito se basa en el esquema metodológico de resumen presentado en la Figura 29. El diagrama de flujo detallado de la metodología se incluye en el Anexo 3. En el documento "Evaluación Probabilista del Riesgo por inundación lenta en las cabeceras municipales de San Marcos (Sucre), Montelíbano (Córdoba), Mompox (Bolívar) y Magangué (Bolívar)" (UNGRD, 2018), se presenta el detalle técnico, el modelo de datos y el diagrama de procesos correspondientes para su consulta.

Procedimiento para la generación de realizaciones de daño, a partir de realizaciones de amenaza

El subproceso presentado a continuación se define para el evento secundario k de N , y para el elemento expuesto j de L , esto es, para una localización específica en el espacio caracterizada por unas únicas coordenadas (X_i, Y_i) .

1. Proceso de simulación de Montecarlo para generación de n realizaciones de intensidad de tirante hídrico

Cada evento se encuentra caracterizado por una FDP que adopta su tipo desde el análisis de frecuencia de caudales máximos, y sus parámetros son;

- i) Valor esperado de la intensidad Th_k muestreada, en metros, y
- ii) la desviación estándar calculada a partir del coeficiente de variación adoptado del análisis estadístico de la serie de datos histórica de caudal.

A partir de los parámetros mencionados queda completamente descrita la FDP para cada evento de amenaza en cada localización de análisis. La Figura 33 presenta el proceso.

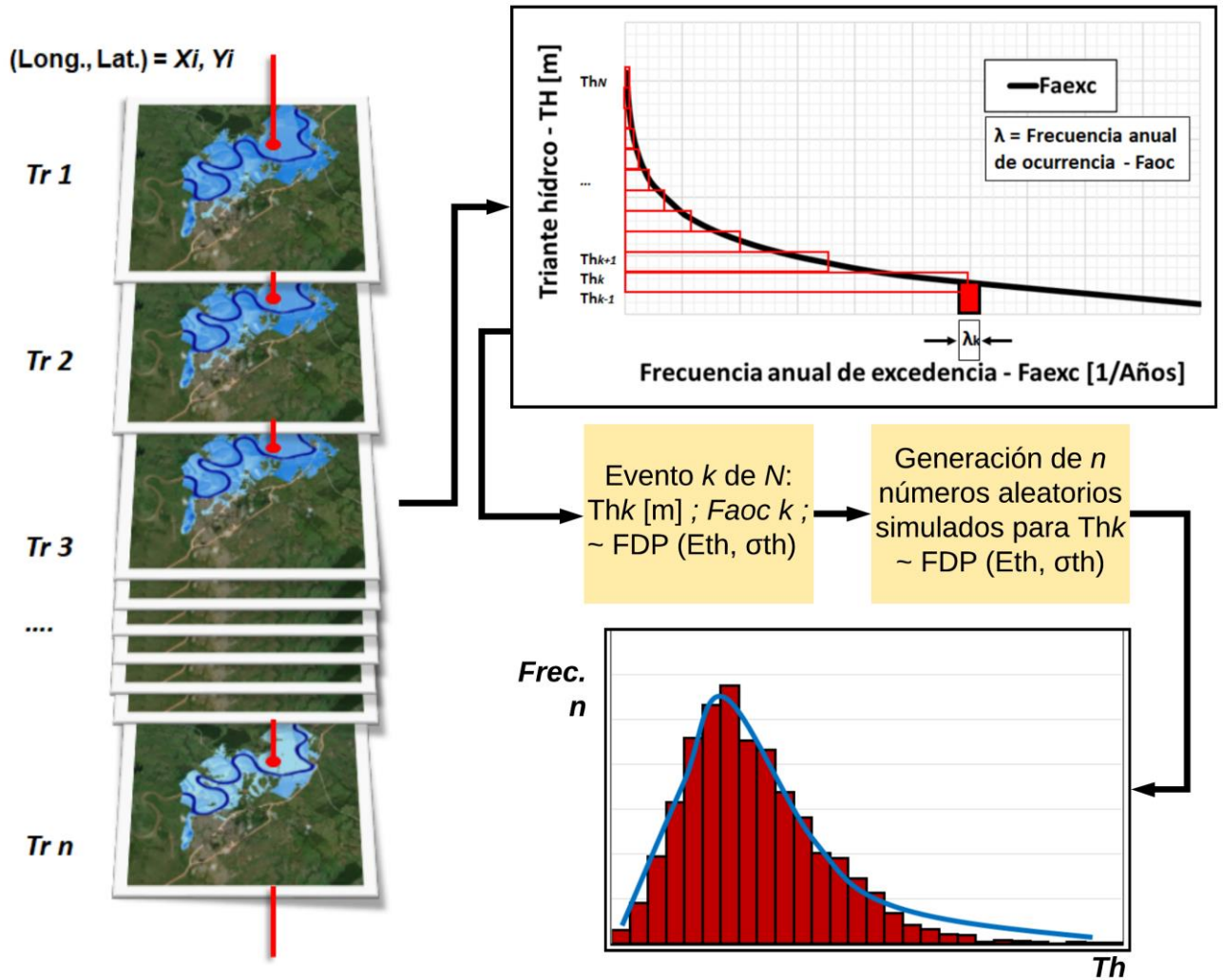


Figura 33. Proceso de simulación de Montecarlo para generación de n realizaciones de magnitud de amenaza.

Considerando dicha FDP se usa un proceso de simulación de Montecarlo para la generación de n realizaciones de intensidad, garantizando que el número de realizaciones generada logre una convergencia de los primeros dos momentos estadísticos simulados.

2. Proceso de simulación de Montecarlo para generación de m realizaciones de daño para los rubros de contenidos y edificación, para todo tirante hídrico (Th)

En general, las pérdidas que se presentan durante un evento de inundación se dan en función de las experimentadas en la edificación (elementos estructurales y no estructurales) y sus contenidos muebles. Llamaremos RMD_c y RMD_{ed} al conjunto de las pérdidas relativas simuladas en los rubros de contenidos y edificación, respectivamente. La relación media de daño (RMD) especifica el valor esperado de la cantidad de daño porcentual que sufre un rubro, por la acción de una intensidad específica de amenaza.

La generación de realizaciones de daño se obtiene a partir de la evaluación de las n intensidades de tirante hídrico sobre la función de vulnerabilidad para cada rubro de análisis, a partir de la cual se obtienen m realizaciones de daño considerando la FDP reportada para cada función de vulnerabilidad. A partir de las m realizaciones de daño para cada rubro ($RMDc$ y $RMDed$) se obtiene el histograma de pérdidas para el evento k de N , para el elemento expuesto j de L . El proceso detallado se presenta en el documento técnico "Evaluación Probabilista del Riesgo por inundación lenta en las cabeceras municipales de San Marcos (Sucre), Montelíbano (Córdoba), Mompo (Bolívar) y Magangué (Bolívar)" (UNGRD, 2018),

3. Cálculo de pérdida económica por rubro

El cálculo de la pérdida económica se debe efectuar para cada realización de daño ($RMDc$ y $RMDed$) multiplicando por el valor expuesto de cada rubro analizado, correspondiente al elemento expuesto j .

$$Pc (a_0 - a_m) = RMDc * Vc$$

Ecuación 17.

$$Ped (b_0 - b_m) = RMDed * Ved$$

Ecuación 18.

Donde;

$Pc (a_0 - a_m)$ = Pérdida económica por contenidos con dimensión $(a_0 - a_m)$.

$Ped (b_0 - b_m)$ = Pérdida económica en edificación con dimensión $(b_0 - b_m)$.

$RMDc$ = Conjunto de realizaciones de daño porcentual que describen el daño por contenidos, dado un conjunto de n realizaciones de Th.

$RMDed$ = Conjunto de realizaciones de daño porcentual que describen el daño por edificación, dado un conjunto de n realizaciones de Th.

Vc = Valor expuesto de contenidos en el elemento expuesto j , reportado en el modelo de exposición.

Ved = Valor expuesto de la edificación en el elemento expuesto j , reportado en el modelo de exposición.

Procedimiento para el cálculo de pérdida en una localización para los dos rubros de análisis

4. Proceso de suma de $P_{ed} + P_c$ para la localización j , para el evento k

Para obtener la pérdida total en la localización j se deben sumar las pérdidas reportadas en cada rubro. El procedimiento que se sigue es tal que, para toda realización de Th , se sume cada valor correspondiente de P_{ed} y P_c . En el Anexo 4 se presenta un resumen de los procesos descritos anteriormente. Una vez obtenidos los valores de $P_c + P_{ed}$ para cada realización n de Th , se construye el histograma de frecuencias que resume la forma en que se distribuye la pérdida total en una localización j , para un evento k . A partir de estos datos se realizan pruebas de bondad de Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnov para estimar la FDP de la suma de la pérdida en cada rubro, con sus respectivos dos primeros momentos estadísticos, a partir de los cuales queda totalmente descrita la pérdida en cada localización, para un evento específico.

5. Evaluación del riesgo para una localización

El enfoque probabilista sugerido, aplicado para una localización específica, consiste en evaluar la pérdida esperada para la suma de los dos rubros de análisis $E(P_{ed+c})_{j,k}$ para cada uno de los eventos de amenaza analizados, desde k hasta N . Los resultados del valor esperado de la pérdida para cada evento, se ponderan con las frecuencias anuales de ocurrencia $f_{aoc,k}$ de cada uno de los eventos. La Ecuación 19 es una de las múltiples formas que adopta el teorema de la probabilidad total (Benjamin & Cornell, 1970) en (Torres et al., 2014).

$$E(p)_{j,N} = \sum_{k=1}^N E[P_{ed+c}|Th_k] * f_{aoc}(Evento k)$$

Ecuación 19.

Donde;

$E(p)_{j,N}$ = valor esperado de la suma de la pérdida total en una localización j para todos los eventos N

$E[P_{ed+c}|Th_k]$ = valor esperado de la pérdida en la localización j , dado que ocurrió el evento con intensidad Th_k

$f_{aoc}(Evento k)$ = frecuencia anual de ocurrencia del evento k

A partir del cálculo del valor esperado de la pérdida en cada localización de análisis para un evento determinado, es necesario computar la pérdida total por evento haciendo uso de las ecuaciones para la

suma de momentos estadísticos. El procedimiento detallado se presenta en el documento “Evaluación Probabilista del Riesgo por inundación lenta en las cabeceras municipales de San Marcos (Sucre), Montelíbano (Córdoba), Mompo (Bolívar) y Magangué (Bolívar)” (UNGRD, 2018), en donde se especifican las variables tenidas en cuenta para la estimación de la correlación de pérdidas entre elementos expuestos.

Procedimiento para el cálculo de la tasa de excedencia de pérdidas para la totalidad de elementos expuestos, para la totalidad de eventos analizados

El riesgo debido a amenazas naturales es comúnmente expresado en términos de la Curva de Excedencia de Pérdidas (CEP), la cual especifica el número promedio de veces al año en que una pérdida específica será igualada o excedida. Esta frecuencia anual también es comúnmente conocida como la tasa de excedencia y es definida por la siguiente expresión reconocida ampliamente en aplicaciones de ingeniería sísmica y estructural (Esteva, 1967) en (Torres et al., 2014).

$$v(p) = \sum_{k=1}^N \Pr(P > p | \text{Evento } k) f_{aoc}(\text{Evento } k)$$

Ecuación 20.

Donde;

$v(p)$ = tasa de excedencia de la pérdida p

N = número total de eventos de amenaza muestreados

$f_{aoc}(\text{Evento } k)$ = frecuencia anual de ocurrencia asociada al evento k

$\Pr(P > p | \text{Evento } k)$ = probabilidad de que la pérdida p sea excedida dado que ocurrió el evento k

La anterior expresión relaciona la tasa de excedencia de la pérdida $v(p)$ con la probabilidad de que la pérdida sea superior a p , dado que ocurrió el k -ésimo evento $\Pr(P > p | \text{Evento } k)$, afectada por la frecuencia de ocurrencia del evento. Al resultado de esta ecuación se conoce comúnmente como la CEP.

Categorización y zonificación del riesgo por inundación

Con el objetivo de cumplir con lo exigido por el Decreto 1807 de 2014 respecto de la evaluación de riesgo, una vez terminada la fase de cálculo de riesgo es necesario establecer criterios generales para la categorización del mismo. El criterio comúnmente utilizado es la pérdida relativa física de un elemento, o grupo de elementos, por medio de la relación entre la pérdida experimentada para un conjunto de eventos y el valor expuesto del elemento analizado. Ejemplos de estas propuestas de categorización se pueden encontrar en la “Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por

movimientos en masa” del SGC (2016) y en el documento “Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA” del MADS (2014).

Para estos lineamientos, en concordancia con lo planteado por diversos autores (Cardona, 2017; Ordaz et al., 2013; Torres et al., 2014; Yamin et al., 2013) con respecto a la representación del riesgo en un indicador que permita la descripción del mismo de forma eficaz, el criterio que se propone para la categorización del riesgo es la Pérdida Anual Esperada (PAE), concepto que se refiere a las pérdidas anuales que se pueden experimentar a futuro por todos los eventos de amenaza por inundación lenta que ocurrirían en una cabecera municipal por el desbordamiento de un cuerpo de agua. Esta cantidad se determina a partir del cálculo del área bajo la curva de excedencia de pérdidas (CEP). A partir de la PAE, es común dentro del sector asegurador el cálculo de la Prima Pura de Riesgo (PPR), indicador que usualmente se expresa al millar, en vez de porcentaje, dado que suele ser un valor muy pequeño.

La categorización del riesgo es un esfuerzo que involucra numerosas variables de tipo físico y socio-económico. La PPR permite estimar el riesgo físico de manera cuantitativa involucrando las incertidumbres inherentes de cada componente analizado. Por otro lado, dentro de los factores socio-económicos, se encuentra la capacidad de gestión del riesgo que tiene una determinada población. En un esfuerzo por medir dicha capacidad, el DNP lanzó en el 2018 el *Índice Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres* enfocado a eventos hidrometeorológicos (DNP, 2018). La categorización del riesgo propuesta en estos Lineamientos sugiere, como mínimo, el uso de estos tres componentes: Riesgo Físico, Vulnerabilidad Social y Capacidades para la GRD.

Tal como lo sugiere el DNP, el componente de capacidades está relacionado con el potencial financiero, socio-económico y de gestión del riesgo de una comunidad. Habiendo definido el criterio para la categorización del riesgo como una relación entre el riesgo físico, la vulnerabilidad social y las capacidades para la GRD de una población específica es posible expresar la estrategia de categorización como sigue:

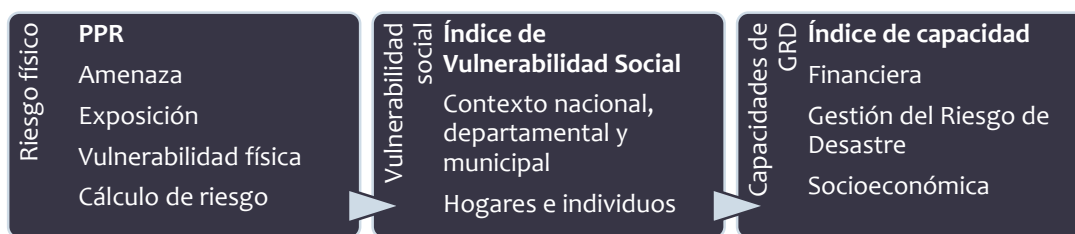


Figura. 34 Componentes para la categorización del riesgo. Adaptado de: (DNP, 2018)

Dentro del componente de capacidades, el DNP propone la consideración de tres dimensiones y seis variables (ver Tabla 37) que permiten medir el índice de capacidades en gestión del riesgo a escalas municipales, pero que pueden aplicarse a escalas detalladas según la información disponible.

Tabla 37. Dimensiones y variables para estimar el índice de capacidad

Dimensión	Variables	Explicación
Financiera	Ingresos del municipio	Ingresos tributarios y no tributarios per cápita
Gestión del Riesgo de Desastre	Instrumentos de gestión	<ul style="list-style-type: none"> • Consejos de gestión del riesgo • Plan Municipal de Gestión del Riesgo aprobado • Estrategia de manejo de respuesta
	Inversión en gestión del riesgo	Inversión en gestión del riesgo per cápita
Socioeconómica	Población urbana	Porcentaje de población en cabeceras municipales
	Valor agregado	Valor agregado per cápita
	Densidad empresarial	Densidad empresarial

Fuente: adaptado de (DNP, 2018)

De manera adicional, es necesario mencionar que, dada la complejidad, implicaciones y particularidad del proceso de categorización del riesgo como insumo para el ordenamiento territorial, se sugiere para todos los casos que la conclusión y definición del proceso sea producto de la contribución del criterio de los integrantes del Consejo distrital o municipal de Gestión del Riesgo. Con el objetivo de apoyar este proceso de concertación entre los profesionales especializados autores de los estudios y del Consejo Municipal, el SGC (2016) describe las categorías de riesgo total como sigue:

Tabla 38. Descripción de las categorías de riesgo total

Categoría de riesgo	Descripción
ALTO	Alta probabilidad de lesiones serias en la población. La implementación de medidas de intervención es inviable desde el punto de vista técnico. Se debe hacer una evaluación económica detallada para establecer la posibilidad de mitigación y disminución del nivel de riesgo.
MEDIO	Lesiones moderadas frecuentes en la población. Se requiere evitar que el nivel de riesgo aumente, pero las medidas de intervención son en todo caso viables técnica y económicamente.
BAJO	Probabilidad de víctimas fatales prácticamente nula. Es un riesgo aceptable y requiere tan solo medidas de prevención.

Fuente: adaptado de (SGC, 2016)

Riesgo alto mitigable y no mitigable

Posterior a la definición de las categorías de riesgo a partir de los componentes sugeridos, es preciso generar una evaluación adicional para la categoría de riesgo alto con el objetivo de definir la viabilidad de la mitigación y reducción de un nivel de riesgo alto a un nivel medio.

Siguiendo lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 se deben “generar, por lo menos, tres alternativas de intervención física (estructural y no estructural) para la reducción del riesgo. Dichas alternativas de intervención deben ser evaluadas con criterios de viabilidad técnica, financiera y urbanística” (SGC, 2016). El SGC (2016) plantea los siguientes criterios para la evaluación de la viabilidad de las medidas de mitigación:

- Cálculo de costos de reubicación de asentamientos e infraestructura, considerando las pérdidas económicas asociadas a la prohibición de asentamientos y el costo de las obras para el control de la influencia de los eventos de inundación en áreas que se encuentren ocupadas.
- Evaluación económica detallada por medio de técnicas de beneficio/costo para la PAE comparando el estado actual del riesgo, es decir, sin intervención con las PAE asociadas a estados de riesgo intervenidos. Deben ser planteados al menos dos medidas de intervención distintas a la de reubicación de asentamientos e infraestructura.
- Transferencia del costo de reducción del riesgo para el desarrollo de infraestructura en áreas no ocupadas.

Respecto del planteamiento de medidas de intervención es necesario mencionar que en el proceso se debe considerar el aporte de cada una de las dimensiones del riesgo por inundación, estas son; amenaza, exposición y vulnerabilidad física y social. En este sentido, las medidas de intervención, ya sean estructurales o no estructurales, pueden proponerse para cada una de estas dimensiones. Adicionalmente, es importante que, tanto el modelador como los actores tomadores de decisión, consideren que el planteamiento de obras civiles que ejerzan presión sobre un cuerpo de agua (p. ej. Obras de control de inundaciones; diques, muros, presas, entre otros) pueden ser beneficiosos para la cabecera municipal que se está evaluando, pero pueden significar un perjuicio para los territorios que se encuentren aguas-abajo de la zona en estudio. Por lo tanto, se recomienda proponer medidas de intervención que provengan de una mirada general de la cuenca analizada en donde se discuta el beneficio conjunto de los territorios aledaños y no únicamente el de la zona en estudio.

A partir del planteamiento de las medidas de intervención, es posible usar métodos de evaluación de beneficio/costo comparando la PAE del estado actual frente a la PAE obtenida para cada medida propuesta. Este tipo de metodologías son valiosas en el sentido en que permiten evidenciar el impacto de una determinada medida de intervención en el riesgo, involucrando la amenaza, exposición y vulnerabilidad de manera cuantitativa y con las incertidumbres inherentes del proceso. Un ejemplo en Colombia de la aplicación de este tipo de iniciativas se presenta en el Proyecto La Mojana. Para mayores detalles se recomienda consultar el documento “Modelación Probabilista de Inundaciones en La Mojana” de Cardona (2017) para el Fondo Adaptación. Otras aproximaciones válidas para la evaluación de la viabilidad de las medidas de intervención se presentan en Lee & Jones (2004), citado en SGC (2016).

Conclusiones sobre la metodología

En este capítulo se presentan los objetivos, alcances y recomendaciones para el análisis y evaluación probabilista del riesgo por inundación lenta en cabeceras municipales a escala 1:2.000. El modelo propuesto es producto de las metodologías existentes en el estado del arte para la gestión del riesgo por inundaciones a nivel nacional e internacional, con consideraciones diferenciadas específicamente para la evaluación de la pérdida de manera independiente en los rubros de contenidos y edificaciones con sus elementos estructurales y no estructurales. Adicionalmente se proporciona una aproximación metodológica para la estimación de la correlación de pérdidas entre localizaciones a partir de: valor de pérdida estimada, distancia ortogonal al cuerpo de agua analizado, altura topográfica, altura sobre la rasante y la categorización de la vulnerabilidad por edificación en cada elemento expuesto.

El enfoque sugerido para la EPR por inundación tiene las siguientes ventajas:

- Se realiza una propuesta que considera el análisis separado de los rubros de contenidos y edificación para la valoración del riesgo en una localización como la suma de las pérdidas experimentadas en cada uno de ellos para el mismo evento de análisis.
- Dada la escala de análisis se propone la estimación de la correlación de pérdidas entre localizaciones para un evento de análisis a partir de información recopilada en campo y procesada en el modelo de exposición. Esta información es: altura sobre la rasante, altura topográfica, distancia ortogonal al cuerpo de agua analizado y una clasificación de la vulnerabilidad física de acuerdo con las funciones de vulnerabilidad en edificación propuestas en la metodología.
- La metodología propuesta no requiere del uso de software comercial. En términos generales, se recomienda tener acceso a SIG y herramientas de cálculo y de gestión de datos. Dentro de las herramientas de uso abierto más usuales, se resaltan: QGIS, PostGIS, PostgreSQL y paquetes estadísticos con ambientes de programación como R, con los cuales se puede llevar a cabo actividades que involucren el manejo y cálculo de datos.
- Estimar el riesgo con un enfoque probabilista permite la comparación cuantitativa y estandarizada entre localizaciones, zonas homogéneas, municipios, cuencas hidrográficas, departamentos, etc.
- El uso de metodologías probabilistas para la evaluación del riesgo permite identificar, categorizar y priorizar población y bienes expuestos en zonas de riesgo alto, medio y bajo, a partir de medidas cuantitativas, estandarizadas y reproducibles.
- A partir de análisis posteriores al cálculo de riesgo para el diagnóstico de la situación actual y, considerando medidas de intervenciones estructurales y no estructurales, la metodología representa una herramienta valiosa para la selección de medidas más convenientes a partir de análisis beneficio-costos, cuantificando la pérdida comparativamente con las medidas de intervención adoptadas respecto de su costo de implementación.
- La metodología se plantea para hacer uso de los insumos comúnmente conocidos y producidos para caracterizar la amenaza por inundación, estos son las mallas de resultados para tirantes hídricos asociados a períodos de retorno.

El enfoque sugerido para la EPR por inundación tiene las siguientes desventajas:

Las principales desventajas identificadas para la aplicación de la metodología corresponden al costo y al tiempo empleado. Estas desventajas se basan principalmente en la necesidad de realizar trabajo de campo y en el costo de insumos de información de entrada a los componentes. A continuación, se describen propuestas generales para la reducción de estos costos.

- Para la información topobatimétrica, el Fondo Adaptación dispone de información de alta resolución para la totalidad de la región de La Mojana para 1.100.000 hectáreas. Dicha información debe poder ser solicitada y utilizada por los municipios localizados en esta región para la elaboración de sus estudios de riesgo, no solo por inundación, sino por otro tipo de amenaza para los cuales se requiera este tipo de información. En este mismo sentido, se sugiere explorar la disponibilidad de información topobatimétrica de detalle ante las CAR dado que, en el marco de la elaboración de los POMCA, se ha realizado el levantamiento de este tipo de información para la modelación de algunos fenómenos a nivel de cuenca y, para algunos casos, en escala de detalle.
- Se sugiere adicionalmente el trabajo mancomunado y estrecho con todos los actores integrantes del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo y con los líderes de la comunidad para la consecución de información relevante para el proyecto.
- Para la construcción de las funciones de vulnerabilidad se propone el uso del criterio de experto para todos los casos, en los que el presupuesto limitado no permita la evaluación de detalle de cada tipología estructural propuesta en el modelo de exposición. Adicionalmente, dado que las tipologías estructurales en algunas zonas del país son similares, se sugiere el uso de las funciones de vulnerabilidad para contenidos y edificaciones elaboradas en el marco del proyecto de "Metodología de Evaluación Probabilista del Riesgo por inundación lenta y aplicación de estudios de caso en las cabeceras municipales de Mompo y Magangué (Bolívar), Montelíbano (Córdoba) y San Marcos (Sucre)" de la UNGRD (2018).

Términos de referencia estándar para contratación

Especificaciones técnicas

En este capítulo se presentan sugerencias respecto del alcance y equipo de profesionales necesario para la elaboración de una EPR por inundación como insumo para el ordenamiento territorial para suelos urbanos y de expansión urbana a escalas de detalle (1:2.000) a la luz de lo dispuesto por el Decreto 1807 de 2014. Cabe resaltar que estas sugerencias son dadas de manera general para que puedan ser adoptadas por ciudades y/o cabeceras municipales como una base sobre la cual adapten y enfoquen estudios con la metodología propuesta en este documento. Estas sugerencias se dan basados en las experiencias de elaboración de documentos de términos de referencia y estudios previos realizados para proyectos de similar temática en el país.

Objeto

Realizar estudios de evaluación probabilista de riesgo por inundación lenta con componentes de evaluación de amenaza, elaboración del modelo de exposición y análisis, evaluación y diagnóstico de la vulnerabilidad física, vulnerabilidad social y el cálculo probabilista del riesgo a escala de detalle 1:2.000, como insumo para el ordenamiento territorial.

Alcance del objeto

El alcance del proyecto consiste en la realización de estudios de evaluación probabilista del riesgo por inundación con componentes de evaluación de amenaza, elaboración del modelo de exposición y análisis, evaluación y diagnóstico de la vulnerabilidad física, vulnerabilidad social y el cálculo probabilista del riesgo a escala de detalle (1:2.000), para suelos urbanos y/o de expansión urbana, con el objetivo de definir zonas de riesgo categorizado para niveles alto, medio y bajo, y el establecimiento de la zonificación de riesgo alto mitigable y no mitigable a la luz de lo dispuesto por el Decreto 1807 de 2014. En tal sentido, dichos estudios se realizarán de acuerdo con las especificaciones técnicas que se detallan más adelante. Se identifican las siguientes obligaciones específicas en el proyecto:

Obligaciones específicas en el proyecto

a) Recolección y análisis de información secundaria

- a. Elaboración del plan de trabajo.
- b. Base de apoyo documental y de datos espaciales existentes en la zona de estudio.
 - i. Cartográfica.
 - ii. Informes técnicos referentes a aspectos biofísicos, sociales, económicos, y de gestión del riesgo por inundación.
 - iii.

b) Cartografía y topografía.

c) Levantamiento geomorfológico

- a. Estudio evolutivo del medio fluvial a partir de análisis multitemporal de imágenes y sensores remotos o fotografías aéreas que estén disponibles para la zona de estudio.
- b. Análisis y validación de eventos históricos registrados en la zona de estudio a partir de diferentes fuentes de información**

- c. Definición de zonas susceptibles a inundación a partir del cruce de información validada para eventos históricos con información de:**
 - i. Definición de ambientes morfogenéticos.
 - ii. Interpretación de sensores remotos.
 - iii. Definición de los sistemas de terreno.
 - iv. Definición de unidades de terreno.
 - v. Control de campo.
 - vi. Mapas de geomorfología fluvial.

d) Modelación de amenaza por inundación

- a. Definir el propósito y alcance del modelo.
- b. Evaluar los modelos hidrológicos, hidrogeológicos e hidrodinámicos existentes en la zona de estudio que incluye la revisión e identificación de variables, parámetros, datos, procedimientos y metodologías realizadas en la zona con anterioridad.
- c. Revisar y analizar la información secundaria que permita establecer las dinámicas del sistema de drenaje analizado. En particular, es importante identificar las estaciones de bombeo, cierres de cuenca, estructuras hidráulicas, estaciones de aforo y reglas de operación de estructuras hidráulicas.
- d. Preparar y procesar la información secundaria disponible que incluye la generación y construcción de mapas temáticos, la calibración y validación de los datos hidrometeorológicos actualizados y la preparación de mapas de inundación basados en imágenes históricas procesadas.
- e. Validar y post-procesar los productos de levantamiento de topobatimetría, que incluyen: i) levantamiento y elaboración de la red geodésica en el área de estudio, ii) levantamiento topográfico, iii) levantamiento batimétrico, iv) elaboración de cartografía base y construcción de una base de datos geográfica con la identificación de los elementos expuestos y, v) La construcción de un modelo digital de terreno a partir de la información de topografía y batimetría, los cuales constituyen el insumo más importante para la simulación de escenarios de amenaza.
- f. Construir el modelo conceptual, que comprende: i) definición del dominio y fronteras del modelo, ii) definición de elementos y procesos a simular, iii) definición de las unidades de

estudio que permitan tener en cuenta la variabilidad espacio-temporal y, iv) definición de la conectividad del sistema de agua superficial en la zona de análisis.

- g. Diseñar de manera óptima el modelo que comprende; i) la construcción de la malla de cálculo, ii) la definición de condiciones de frontera y condiciones iniciales, así como la incorporación de estructuras características de relevancia identificadas durante la construcción del modelo conceptual y puntos de control internos y externos. En esta actividad se incluye también la definición de la resolución temporal del modelo.
- h. Calibrar el modelo hidrodinámico de la zona de análisis, que debe incluir las fases de parametrización, la definición de funciones objetivo, el ajuste de los parámetros y la determinación de la precisión e incertidumbre asociada a los valores calibrados.
- i. Validar el modelo hidrodinámico de la zona de análisis, que debe comprender el cálculo de estadísticas típicas sugeridas (RMSE, coeficiente de Nash-Sutcliffe, ME y MSE), así como el cálculo de la incertidumbre conjugada en el modelo (incertidumbre de la calibración y la validación).
- j. Preparar los escenarios de amenaza para diferentes períodos de retorno a partir de la información hidrometeorológica previamente procesada.
- k. Clasificar la amenaza por inundación en categorías alta, media y baja, según se plantea en el decreto 1807 de 2014, considerando las metodologías sugeridas en dicho decreto.
- l. Simular los escenarios de amenaza que debe incluir el análisis y actualización de los escenarios de amenaza que se requiere simular, su posterior simulación y el análisis detallado de los resultados, que debe incluir cálculo de distribución de tirantes y velocidades en el dominio del modelo. Adicionalmente, se deben construir mapas de inundación para cada escenario de amenaza evaluado.
- m. Elaboración de informes mensuales de avance de las actividades relacionadas con la evaluación de los escenarios de amenaza por inundación y su socialización con actores locales.
- n. Generar mapas de amenaza por inundación de manera periódica y progresiva, que faciliten la interacción con actores locales.

e) Elaboración del modelo de exposición

- a. Definir y realizar el muestreo aleatorio a partir del cual se debe programar y llevar a cabo la recopilación de información en campo.
- b. Definir y programar el trabajo de campo.
- c. Proporcionar seguimiento y supervisión al personal de trabajo de campo para la recolección de información relevante descrita en este documento de lineamientos.
- d. Analizar y consolidar la información recopilada en campo referente a las variables de análisis del modelo de exposición.
- e. Definir las tipologías estructurales y de contenidos que se encuentran presentes en el área de análisis a partir de información de campo. Este trabajo se debe realizar en conjunto con el componente de evaluación de vulnerabilidad física.

- f. Analizar y consolidar la información de catastro para la zona de análisis, en términos de elementos expuestos, su localización y el valor catastral de cada uno de ellos.
- g. Consolidar la base de datos de elementos expuestos para la zona de análisis a partir de la localización de los elementos expuestos, su avalúo, y la asignación de tipologías estructurales y de contenidos, en conjunto con las variables de análisis definidas en el documento de Lineamientos, entre las que se encuentran: altura sobre la rasante, distancia ortogonal al cuerpo de agua, número de pisos y condición de adaptación.
- h. Presentar archivos shape en los que se evidencie la información de la base de datos de elementos expuestos construida.
- i. Elaborar un documento de resultados en el que se evidencie el proceso de construcción de la base de datos de exposición, que contenga; insumos de información, metodología, procesamiento de datos y resultados del modelo. Se deben incluir mapas con rótulos del proyecto para las tipologías estructurales, de contenidos, de avalúo, de altura sobre la rasante, distancia ortogonal al cauce y de condiciones de adaptación.

f) Evaluación de vulnerabilidad física

- a. Proporcionar seguimiento y supervisión al personal de trabajo de campo para la recolección de información relevante descrita en este documento de lineamientos.
- b. Analizar y consolidar la información recopilada en campo referente a las variables de análisis de la metodología de evaluación de la vulnerabilidad física.
- c. Definir las tipologías estructurales y de contenidos que se encuentran presentes en el área de análisis a partir de información de campo. Este trabajo debe realizarse en conjunto con el componente de elaboración del modelo de exposición.
- d. Realizar análisis de vulnerabilidad física a partir de la aplicación de las metodologías definidas en el presente documento para los rubros de edificación y contenidos.
- e. Construir funciones de vulnerabilidad para cada tipología estructural definida para el rubro de edificaciones considerando la profundidad de inundación y la velocidad media de flujo como medidas de intensidad de análisis.
- f. Construir funciones de vulnerabilidad para cada tipología de contenidos definida para el rubro de contenidos considerando la profundidad de inundación como medida de intensidad de análisis.
- g. Evaluar la aplicabilidad de las funciones de vulnerabilidad construidas en el proyecto de "Evaluación de vulnerabilidad física por inundación como insumo para evaluación probabilista de riesgo" (UNGRD, 2018).
- h. Elaborar documento de resultados en el que se defina la metodología, procesamiento y análisis de datos recopilados en campo y la construcción de funciones de vulnerabilidad para los rubros de análisis. Se deben incluir fichas de resumen para cada tipología estructural y de contenidos para las cuales se construyen las funciones de vulnerabilidad.

g) Evaluación y diagnóstico de vulnerabilidad social

- a. Aplicar los contenidos y planteamientos del documento "Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres" (UNGRD, 2017) en las cabeceras municipales de Montelíbano, San Marcos, Mompóx y Magangué.
- b. Realizar una descripción general del territorio estudiado y una contextualización histórica.
- c. Hacer el plan de participación y la estrategia de comunicación social del proyecto.
- d. Definir el objetivo y el alcance del estudio de vulnerabilidad social.
- e. Identificar, determinar y establecer las dinámicas de la vulnerabilidad social en la zona, específicamente en lo relacionado con la amenaza por inundación.
- f. Realizar el análisis de la gestión del riesgo en el municipio relacionado con la amenaza por inundación.
- g. Identificar, determinar y establecer la percepción del riesgo por inundación en las comunidades.
- h. Hacer un análisis del desarrollo de capacidades en las comunidades.
- i. Identificar, determinar y establecer las causas subyacentes de la vulnerabilidad social, específicamente en lo relacionado con la amenaza por inundación.
- j. Emitir un informe y/o juicio sobre el estado de la vulnerabilidad del territorio y sus habitantes a partir de la observación de indicadores sociales.
- k. Realizar una zonificación de la condición de vulnerabilidad social en las zonas de amenaza alta por inundación.

h) Evaluación del riesgo por inundación

- a. Proporcionar lineamientos y seguimiento al equipo de modelación de la amenaza por inundación, de tal manera que se garantice que los resultados de este producto alimenten apropiadamente la modelación del riesgo por inundación.
- b. Proporcionar lineamientos para la recolección de información de elementos expuestos, en lo que se refiere al tipo de atributos, información y datos requeridos para su caracterización apropiada en la modelación del riesgo por inundación.
- c. Analizar y hacer seguimiento al proceso de recolección de información en campo de elementos expuestos y sugerir ajustes para optimizar la utilización en términos de evaluación y análisis de vulnerabilidad física y de modelación del riesgo por inundación.
- d. Procesar información del modelo de exposición recopilada de estudios previos en la zona de análisis de tal manera que pueda ser incorporada en el modelo probabilista del riesgo por inundación.
- e. Definir y realizar la modelación probabilista del riesgo para la caracterización de las pérdidas esperadas en la zona de estudio en el estado actual, por medio de métricas actuariales del riesgo como la pérdida anual esperada o la curva de pérdidas máximas probables, y su concentración en la zona de estudio.
- f. Identificar alternativas estructurales y no estructurales de reducción del riesgo para la zona de estudio y realizar la modelación probabilista del riesgo para la caracterización de las

pérdidas esperadas bajo el supuesto de la aplicación de dichas alternativas, considerando cambios en la situación de amenaza o vulnerabilidad física de la zona de estudio.

- g. Realizar el análisis beneficio-costos de las alternativas identificadas como viables para la reducción de la amenaza por inundación o para la reducción de la vulnerabilidad física de los elementos expuestos en la zona de estudio.
- h. Recomendar las opciones de intervención más apropiadas para la zona de estudio a partir del análisis beneficio-costos.

Equipo de trabajo

En la Tabla 39 se presentan recomendaciones respecto a la información necesaria así como actividades a incluir en el plan de trabajo para el desarrollo del modelo de riesgo por inundación, considerando cada uno de los componentes de análisis.

Tabla 39. Actividades, personal requerido y duración estimada para el desarrollo de estudios de evaluación probabilista de riesgo por inundación lenta

Actividad/ componente	Personal requerido	Duración (meses)
Coordinación del proyecto	1 ingeniero/a civil, ambiental, con experiencia en coordinación de proyectos de consultoría	Duración total del proyecto
Recopilación de información secundaria (cartografía, modelos digitales de terreno, información catastral y censal, documentación técnica relativa a la Gestión del Riesgo por inundación existente en la zona de estudio, planes territoriales, información socio-económica)	1 ingeniero/a civil, ambiental o catastral. No se necesita experiencia específica.	3
Levantamiento geomorfológico	1 geólogo/a o ingeniero/a geólogo con experiencia en geomorfología fluvial.	1
Inspecciones en campo (Levantamiento de información para modelo de exposición, modelo de	Estudiantes de ingeniería o arquitectura sin experiencia específica. <ul style="list-style-type: none"> • Supervisión, revisión y coordinación de inspecciones 	A definir en el estudio según el número de inspecciones y la superficie de la cabecera municipal.

vulnerabilidad física y componente de vulnerabilidad social)	1 Ingeniero/a civil, ambiental o catastral.	
Modelación de amenaza: Componente hidrológico	1 ingeniero/a civil, sanitario o ambiental con estudios de postgrado en recursos hídricos (hidrología) y experiencia en el área.	2
Modelación de amenaza: Componente hidráulico	1 ingeniero/a civil, sanitario o ambiental con estudios de postgrado en hidráulica y experiencia en la modelación de ríos y cuencas.	2
Componente de SIG (Elaboración de salidas gráficas para los componentes de amenaza, exposición, vulnerabilidad y riesgo)	1 ingeniero/a catastral, civil, ambiental, sanitario o geógrafo/a con experiencia en SIG.	1
Componente de exposición (Elaboración del modelo a partir de información recopilada en campo)	1 ingeniero/a civil o catastral con experiencia en manejo de bases de datos y en construcción de modelos de exposición.	2
Componente de vulnerabilidad social (Evaluación y diagnóstico de vulnerabilidad social de la zona de estudio)	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajador/a social, sociólogo/a con experiencia de trabajo de campo con comunidades. • Trabajador/a social, sociólogo/a o ingeniero civil o catastral con experiencia específica en evaluación y diagnóstico de vulnerabilidad en comunidades por fenómenos naturales. 	4
Componente de vulnerabilidad física (Elaboración de funciones de vulnerabilidad para contenidos y para edificaciones identificadas en el modelo de exposición)	1 ingeniero/a civil con experiencia en análisis estructural de edificaciones y/o infraestructura.	2
Componente de evaluación de riesgo	1 ingeniero/a civil con experiencia en la evaluación probabilista del riesgo por inundación.	2

(Cálculo de daños y pérdidas económicas en la zona de estudio. Análisis de categorización y zonificación del riesgo a partir de métricas calculadas. Articulación de medidas de intervención para la reducción del riesgo integrando todos los componentes de análisis y a los actores tomadores de decisión)

Componente financiero y administrativo del proyecto	1 ingeniero/a de proyectos/contador/administrador de empresas	Duración total del proyecto
---	---	-----------------------------

Productos esperados

Modelo de amenaza por inundación:

- Documento con las recomendaciones sobre la metodología y el procedimiento general de análisis de la amenaza por inundación para efectos de la modelación del riesgo por inundaciones.
- Base de datos de información hidrológica, que contenga la información capturada, recopilada y procesada, analizados compatible con el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH).
- Base de datos geográfica que incluya los escenarios de amenaza.
- Informe de construcción del modelo conceptual.
- Informe del diseño y calibración del modelo hidrodinámico.
- Archivo digital que incluya; i) código fuente del modelo y, ii) la configuración del modelo con parámetros calibrados.
- Informe de los resultados de la modelación de los escenarios de intervención propuestos, en caso que se tengan disponibles.
- Mapas de amenaza por inundación para diferentes períodos de retorno que incluyan el tirante hídrico, velocidades de flujo y tiempos de permanencia. Se debe presentar la categorización de la amenaza en alta, media y baja, acorde a lo exigido en el Decreto 1807 de 2014.

Modelo de Exposición

- Base de datos georreferenciada con la información requerida para el análisis de riesgos (localización, valor, características físicas). Una descripción general de los campos sugeridos se presenta en la metodología descrita en este capítulo específico.

- Documento con la descripción de: objetivos, alcance, limitaciones, descripción de insumos e información recopilada, metodología, resultados obtenidos y conclusiones.

Vulnerabilidad física

- Documento que recoja el resultado de la modelación de vulnerabilidad física por inundación para las tipologías estructurales definidas producto del trabajo de campo y reportadas en el modelo de exposición.
- Funciones de vulnerabilidad física definidas para cada tipología estructural dispuestas en archivos digitales de datos.

Vulnerabilidad social

Documento final con el contenido total del proyecto de evaluación de vulnerabilidad social por inundación, en donde se especifiquen los procesos y actividades llevadas a cabo para generar los resultados pertinentes a cada área, anexando la información que se estime conveniente en términos de mapas, gráficos, tablas, bases de datos, etc. Específicamente, debe contener lo estipulado en el documento de "Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres" (UNGRD, 2017) como un contenido base.

Modelo de Riesgo

- Documento que contenga los resultados de la modelación probabilista del riesgo por inundación para la caracterización de las pérdidas esperadas en su estado actual y bajo el supuesto de la aplicación de las diferentes alternativas de reducción del riesgo, estructurales y no estructurales, teniendo en cuenta los diferentes portafolios de elementos expuestos.
- Documento de análisis de beneficio-costos de las alternativas seleccionadas por medio de interacción entre el equipo consultor y los actores tomadores de decisión en el ente territorial, que permita la selección de la mejor medida de intervención.
- Documento de recomendaciones de alternativas de intervención para la reducción de la amenaza y/o de la vulnerabilidad con su respectiva combinación de medidas estructurales y no estructurales.
- Informe final que recopile todos los componentes de la modelación probabilista del riesgo, incluyendo los resultados del modelo de riesgo, el análisis beneficio-costos y las recomendaciones de intervención del consultor, como resultado del acompañamiento a los actores tomadores de decisión del ente territorial.
- Archivo digital que incluya; i) código fuente del modelo para la evaluación del riesgo o los archivos de entrada y salida del software usado y, ii) la configuración del modelo con parámetros calibrados.

Recomendaciones generales

En un estudio de evaluación probabilista del riesgo por inundación a escala de detalle (1:2.000) para suelos urbanos se recomienda incluir un resumen ejecutivo, dirigido a los tomadores de decisión y a la comunidad en general, en el que sean señalados los aspectos más relevantes del estudio adelantado, así como los resultados, conclusiones y recomendaciones, al igual que un informe final que contenga los capítulos descritos a continuación, con sus correspondientes mapas y anexos (SGC, 2016).

Informe final

Contendrá todos los componentes de la EPR por inundación, planos, mapas, especificaciones, memorias de cálculo, presupuesto y cronograma aprobados por la interventoría/supervisión y las conclusiones y recomendaciones finales del estudio

Mapas y anexos

El informe final se debe complementar con los resultados de cálculo para cada componente de la EPR, entre los cuales se deben incluir, como mínimo;

- Mapas producidos en el estudio de amenaza para los diferentes escenarios estudiados a escala 1:2.000
- Mapas de zonificación de amenaza a escalas 1:2.000.
- Mapas de zonificación del modelo de exposición del Municipio a escala 1:2.000.
- Mapas de zonificación de vulnerabilidad física y social a escala 1:2.000.
- Mapas de zonificación del riesgo a escala 1:2.000.

Es recomendable que la estructura y almacenamiento de datos e información cartográfica se realice a partir de las geodatabase definidas por las entidades oficiales nacionales (IGAC, SGC, ASOCARS, entre otros), o las autoridades locales a partir de los requerimientos y necesidades de las entidades o instituciones que contraten el estudio. Es recomendable utilizar la estructuración de datos definida por entidades del orden nacional, con el objetivo de estandarizar la presentación, publicación, tratamiento y visualización de los resultados obtenidos.

Los metadatos del proyecto deberán considerar la información mínima dispuesta y exigida en la NTC 4611 de 2011. Tanto el informe final, como cada uno de los mapas de resultados deberán ser firmados por profesionales matriculados y facultados que cumplan con los requisitos indicados en el capítulo de "Perfil de profesionales descrito en las recomendaciones de términos de referencia", indicando las actividades generales realizadas por cada profesional (SGC, 2016).

Referencias

- AIS, A. colombiana de ingeniería sísmica-. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. *Scielo*, 2, 32.
- Apel, H., Aronica, G. T., Kreibich, H., & Thieken, A. . (2009). Flood risk analysis - how detailed do we need to be? *Natural Hazards*, 49, 79–98.
- ASCE. (2010). ASCE/SEI 7-10: Minimum design loads for buildings and other structures. ASCE standard. <https://doi.org/10.1061/9780784412916>
- Banco Mundial. (2016). Métodos de evaluación de riesgos y amenazas de inundación. Washington DC.
- Baró-Suarez, J. ., Díaz-Delgado, C., & Calderón, G. (2007). Curvas de daños económicos provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México. Parte 1: propuesta metodológica. México D.F.
- Bendot, J. S., & Piersol, A. G. (2010). Random data: Analysis and Measurement Procedures. Wiley Series in Probability and Statistics. <https://doi.org/10.1002/9781118032428>
- Benjamin, J. ., & Cornell, C. . (1970). *Probability, statistics and decision for civil engineers*. (M. Hill, Ed.). New York.
- Berg, H., Ebeltoft, M., & Nielsen, J. (2014). Flood damage survey after major flood in Norway 2013 – cooperation between the insurance business and a government agency. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 184, 227–235. <https://doi.org/10.2495/FRIAR140191>
- BID, & CEPAL. (2012). Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia 2010-2011 Documentos con sigla, 240. Retrieved from http://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/0/47330/P47330.xml&xsl=/publicaciones/ficha.xsl&base=/publicaciones/top_publicaciones.xsl
- Bras, R. L. (1990). *Hydrology: An introduction to hydrologic science*. (Addison-Wesley, Ed.). Reading, MA.
- Brzev, S., Scawthorn, C., Charleson, A. W., Allen, L., Greene, M., Jaiswal, K., & Silva, V. (2013). *GEM Building Taxonomy Version 2.0, GEM Technical Report 2013-02 V1.0.0*. Pavia, Italy. <https://doi.org/10.13117/GEM.EXP-MOD.TR2013.02>.
- Candela, A., & Aronica, G. T. (2014). Probabilistic floodplain hazard mapping : managing uncertainty by using a bivariate approach for flood frequency analysis. *EGU General Assembly 2014*, 16, 7914.
- Cardona, O. (2017). *Modelación probabilista de inundaciones en La Mojana*. Bogotá, D.C. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29312.02566>

- Chow, V. Te, Maidment, D., & Mays, L. (1988). *Applied Hydrology*.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. *Hidrologia Aplicada*. Retrieved from <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=158911&indexSearch=ID%5Cnhttp://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IisScript=BINAL.xis&method=post&formato=2&cantidad=>
- CNM, & IDEAM. (2017). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. Bogotá, D.C.
- Coles, S. (2001). An introduction to statistical modeling of extreme values. *Springer London*.
- Congreso de Colombia. Ley 99 De 1993, Diario Oficial § (1993). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Congreso de Colombia. (1997). Ley 388 de 1997. Bogotá, D.C.
- Congreso de Colombia. (2000). Ley 617 de 2000. *Ley*, 1–20. Retrieved from http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0617_2000.html
- Congreso de Colombia. Ley 1523 de 2012 (2012). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cooley, D. (2013). Extremes in a changing climate: Detection, analysis and uncertainty. In E. A. AghaKouchak, D. Easterling, and K. Hsu (Ed.), *Return periods and return levels under climate change*. New York.
- DANE. (2005). Censo básico. Retrieved April 17, 2018, from <http://systema59.dane.gov.co/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CG2005BASICO&MAIN=WebServerMain.inl>
- DANE. (2012a). Censo ampliado (s.f). Retrieved April 17, 2018, from <http://systema59.dane.gov.co/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CG2005AMPLIADO&MAIN=WebServerMain.inl>
- DANE. (2012b). Proyecciones de población. Retrieved March 10, 2018, from <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- de Moel, H., Jongman, B., Kreibich, H., Merz, B., Penning-Rowsell, E., & Ward, P. J. (2015). Flood risk assessments at different spatial scales. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(6), 865–890. <https://doi.org/10.1007/s11027-015-9654-z>

- de Risi, R., Jalayer, F., de Paola, F., Iervolino, I., Giugni, M., Topa, M. E., ... Gasparini, P. (2013). Flood risk assessment for informal settlements. *Natural Hazards*, 69(1), 1003–1032. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0749-0>
- Departamento Administrativo de la Función Pública. Decreto 19 De 2012 (2012).
- Devore, J. L. (2013). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 7). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- DNP. Conpes 3870, <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3870.pdf> § (2016). Colombia. Retrieved from <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3870.pdf>
- DNP. (2018). Gestión del Riesgo de Desastres. Retrieved from <https://www.dnp.gov.co/programas/ambiente/gestion-del-riesgo/Paginas/gestion-del-riesgo.aspx>
- DNP, IDEAM, MADS, & UNGRD. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2014). Bogotá, D.C.
- Domínguez, E. (2007). Modelación matemática: una introducción al método (PUJ). Retrieved from www.mathmodelling.org
- Dottori, F., Figueiredo, R., Martina, M. L. V., Molinari, D., & Scorzini, A. R. (2016). INSYDE: A synthetic, probabilistic flood damage model based on explicit cost analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(12), 2577–2591. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2577-2016>
- El-Adlouni, A., Ouarda, T. B. M. ., Zhang, X., Roy, R., & Bobee, B. (2007). Generalized maximum likelihood estimators for the nonstationary generalized extreme value model. *Water Resources Research*, 43(3).
- ERN - AL. (2011). *Probabilistic Modelling of Natural Risks at the Global Level: the Hybrid Loss Exceedance Curve*. Ginebra, Suiza. Retrieved from www.ern-la.com
- Esteva, L. (1967). Criteria for the construction of seismic design spectra. In *3rd Panamerican symposium on structures*. Caracas, Venezuela.
- Euscátegui, C., & Hurtado, G. (2011). *Análisis del impacto del fenómeno "La Niña" 2010-2011 en la hidroclimatología del país. Ideam*.
- Felicísimo, A. . (1994). Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicación en las ciencias ambientales. España.
- FEMA. (2012). Engineering: Principles and Practices for Retrofitting Flood-Prone Residential Structures. <https://doi.org/10.1201/b13978>

- Figueiredo, R., & Martina, M. (2016). Using open building data in the development of exposure data sets for catastrophe risk modelling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 417–429. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/nhess-2017-349>
- Figueiredo, R., Schröter, K., Weiss-Motz, A., Martina, M., & Kreibich, H. (2017). Improving accuracy and quantifying uncertainty in flood loss estimations through the use of multi-model ensembles. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/nhess-2017-349>
- Guha-Sapir, D., & Below, R. (2017). EM-DAT: The CRED/OFDA International Database. Retrieved February 9, 2018, from www.emdat.be
- Gumbel, E. . (1941). The return period of flood flows. *New School for Social Research*, 18(4), 495–513. <https://doi.org/10.1214/aop/1176995579>
- Gutenson, J. ., Oubeidillah, A. ., Ernest, A. N. ., Zhu, L., Zhang, X., & Sadeghi, S. . (2017a). Investigating Uncertainty in Developing Regional Building Inventories for Flood Damage Prediction. *Natural Hazards Review*, 18(3).
- Gutenson, J. ., Oubeidillah, A. ., Ernest, A. N. ., Zhu, L., Zhang, X., & Sadeghi, S. . (2017b). Rapid flood damage prediction and forecasting using public domain cadastral and address point data with fuzzy logic algorithms. *Journal of the American Water Resources Association*.
- Haan, C. . (2002). *Statistical methods in hydrology*. (Wiley-Blackwell, Ed.) (2nd ed.). Ames, Iowa.
- Huerta-Garnica, B., Vega-Serratos, B. ., & Avelar-Frausto, C. E. (2006). Caracterización del daño causado a estructuras y contenidos por inundaciones fluviales y costeras. In XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Puerto Vallarta, México.
- IDEAM. (2015). *Ortofotomosaico Región de la Mojana*. Bogota, D.C.
- IDEAM. (2017). *Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación*. Bogotá, D.C.
- IDEAM, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguavio, ... DNP. (2012). *Piloto de asistencia técnica para incorporar la gestión integral de riesgo hidroclimáticos en el ordenamiento territorial municipal*.
- IDRD. (2017). *Análisis de precios unitarios, precios de referencia a Diciembre de 2017*. Retrieved from <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/>
- IGAC. (2016). *Registros Uno y Dos*. Retrieved August 20, 2004, from http://www2.igac.gov.co/igac_web/contenidos/plantilla_general_titulo_contenido.jsp?idMenu=139
- Instituto Geológico y Minero de España. (2008). *Mapas de peligrosidad por avenidas torrenciales e inundaciones: Guía metodológica para su elaboración*. Madrid, España.

- Kolmogorov, A. (1931). Über die analytischen Methoden in der Wahrscheinlichkeitsrechnung. *Mathematische Annalen*, 104(1), 415–458. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF01457949>
- Leadbetter, M. R. (1983). Extremes and local dependence in stationary sequences. *Zeitschrift für Wahrscheinlichkeitstheorie Und Verwandte Gebiete*, 65(2), 291–306. <https://doi.org/10.1007/BF00532484>
- Lee, E. ., & Jones, D. K. . (2004). *Landslide risk assessment*. Thomas Eldford Publishing.
- Levy, J. K., & Hall, J. (2005). Advances in flood risk management under uncertainty. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(6), 375–377. <https://doi.org/10.1007/s00477-005-0005-6>
- MADS. Decreto 1640 de 2012, Minambiente.gov.co § (2012). Colombia. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_1640_2012.pdf
- MADS. Decreto 298 de 2016 (2016). Colombia.
- MADT. (2014). *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*.
- MAVDT. Decreto 1469 de 2010 (2010). Colombia.
- MAVDT. (2015a). Decreto 1076. *Ministerio De Ambiente Decreto Unico 1076 de 2015*, 1(53), 654.
- MAVDT. Decreto 1077 de 2015, Pub. L. No. 1077 de 2015, República de Colombia (2015). Colombia.
- Melchers, R. . (1999). *Structural reliability analysis and prediction* (2nd Ed.). John Wiley & Sons.
- Merz, B., Elmer, F., & Thielen, A. H. (2009). Significance of “high probability/low damage” versus “low probability/high damage” flood events. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(1), 1–14. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-3-2010>
- Merz, B., & Thielen, A. H. (2004). Flood Risk Analysis: Concepts and challenges. *Österreichische Wasser-Und Abfallwirtschaft*, (56), 27–34. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/257343530_Flood_risk_analysis_Concepts_and_challenges
- Merz, B., & Thielen, A. H. (2005). Separating natural and epistemic uncertainty in flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 309(1–4), 114–132. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.11.015>
- Messner, F., & Meyer, V. (2007). Flood damage, vulnerability and risk perception challenges for flood damage research. *Hazard, Vulnerability and Mitigation Measures*, 149–167. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1_13

- Metropolis Nicholas, S. U. (1949). The Montecarlo Metod. *Journal of the American Statistical Association*, 44.
- Milanesi, L., Pilotti, M., & Ranzi, R. (2016). People and buildings vulnerability to floods in mountain areas. In *Interpraevent* (pp. 781–788). Lucerna, Suiza.
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2014). Decreto 1807 de 2014. Retrieved from http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/SRR/decreto_1807_19_septiembre_2014.pdf
- Morel-Seytoux, H. . (1976). Optimization and uncertainty. *Stochastic Approaches to Water Resources*, 1, 9–37.
- Murphy, C., Gardoni, P., & Harris, C. . (2011). Classification and moral evaluation of uncertainties in engineering modeling. *Science and Engineering Ethics*, 17(3), 553–570.
- OMM. (1994). *Guía de prácticas hidrológicas*.
- Ordaz, M., Torres, M. A., & Domínguez, R. (2013). *Vulnerabilidad Y Riesgo Por Inundaciones*.
- Pappenberger, F., & Beven, K. . (2006). Ignorance is bliss: or seven reasons not to use uncertainty analysis. *Water Resources Research*, 42(5), 1–8.
- Paté-Cornell, M. E. (1996). Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment. *Reliability Engineering & System Safety*, 54(2), 95–111. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(96\)00067-1](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(96)00067-1)
- Porter, K., Hu, Z., Huyck, C., & Bevington, J. (2014). *User guide: Field sampling strategies for estimating building inventories - GEM Technical Report 2014-02 V1.0.0*. Pavia, Italy. <https://doi.org/10.13117/GEM.DATA-CAPTURE.TR2014.02>.
- Presidencia de la República. Decreto Ley 19 de 2012 (2012). Colombia.
- Rodríguez-Gaviria, E. . (2016). *Diseño metodológico para la evaluación del riesgo por inundación a nivel local con información escasa*. Universidad Nacional de Colombia.
- Ruíz-Abellón, M. (2017). *Tema 5. Procesos estocásticos*. Cartagena, Colombia. Retrieved from http://www.dmae.upct.es/~mcruiz/Telem06/Teoria/apuntes_procesos.pdf
- Ruiz-Valencia, D., López-Pérez, C., & Rivera, J. C. (2012). Propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales. *Estudios Sobre Patrimonio Cultural*, 25(2), 226–239.
- Salas, J. D., & Obeysekera, J. (2014). Revisiting the concepts of return period and risk for nonstationary hidrologic extreme events. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), 554–568. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000820](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000820).

Salazar, S. (2013). *Metodología para el análisis y la reducción del riesgo de inundaciones: aplicación en la Rambla del Poyo (Valencia) usando medidas de "retención de agua en el territorio."* <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/29329>

SGC. (2016). *Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. (Servicio Geológico Colombiano - SGC, Ed.). Bogotá, D.C.: Servicio Geológico Colombiano - SGC.

Smith, D. (1994). Flood damage estimation - A review of urban stage-damage curves and loss functions. Canberra, Australia: Centre for Resource and Environmental Studies (Australian National University).

Torgersen, G., Rød, J. ., Kvaal, K., Bjerkholt, J. ., & Lindholm, O. . (2017). Evaluating Flood Exposure for Properties in Urban Areas Using a Multivariate Modelling Technique. *Water Resources Management*, 9, 318. <https://doi.org/10.3390/w9050318>

Torres, M. ., Jaimes, M. ., Reinoso, E., & Ordaz, M. (2014). Event-based approach for probabilistic flood risk assessment. *International Journal of River Basin Management*, 12(4), 377–389. <https://doi.org/10.1080/15715124.2013.847844>

UNGRD-IEMP. (2017). Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres, 96.

UNGRD. (2016). *Plan Nacional De Gestión del Riesgo de Desastres*. Bogotá, D.C.

UNGRD. (2017a). *Establecer, referir, determinar y describir la articulación normativa en la incorporación del riesgo en instrumentos de planificación en escalas nacional, regional y local en el tema inundación*. Bogotá, D.C.

UNGRD. (2017b). *Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes*. Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo SNGRD. Bogotá, D.C.: UNGRD.

UNGRD. (2018). *Evaluación probabilista del riesgo por inundación lenta en las cabeceras municipales de San Marcos (Sucre), Montelíbano (Córdoba), Mompox (Bolívar) y Magangué (Bolívar)*. Bogotá, D.C.

UNISDR. (2015). GAR. Informe de Evaluación Global Sobre la Reducción del Riesgo de Desastres. *Hacia El Desarrollo Sostenible: El Futuro de La Gestión Del Riesgo de Desastres*, 352.

Universidad de Los Andes. (2004). Microzonificación sísmica y estudios generales de riesgo en las ciudades de Palmira, Tuluá y Buga. Bogotá, D.C.

Valdivieso-Taborga, C.E., Valdivieso-Castellón, R., Valdivieso-Taborga, O. A. (2011). Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión. *Investigación y Desarrollo*, 11, 148–176.

Vu, T. ., & Ranzi, R. (2017). Flood risk assessment and coping capacity with flood in central Vietnam. *Journal of Hydro-Environment Research*, 14, 44–60.

Walter, M., & Vogel, R. M. (2010). Increasing trends in peak flows in the northeastern United States and their impacts on design. *2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas*, (1998), 1–16.

Ward, P. ., Marfai, M. ., Yulianto, F., Hizbaron, D. R., & Aerts, J. C. J. . (2011). Coastal inundation and damage exposure estimation: a case study for Jakarta. *Natural Hazards*, 56, 899–916.

Yamin, L. E., Ghesquiere, F., Cardona, O.-D., & Ordaz, M. G. (2013). *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre: El caso de Bogotá, Colombia*. (Banco Mundial & Universidad de Los Andes, Eds.). Banco Mundial.

Glosario

En la Tabla 40 se presentan los conceptos y definiciones que se consideran relevantes para la comprensión de los Lineamientos Metodológicos planteados en este documento. Las definiciones son recopiladas de diversas fuentes referenciadas a lo largo del documento, entre las que se destacan; la Ley 1523 de 2012, el documento de “Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastre y Fenómenos Amenazantes” (UNGRD, 2017b), el documento de “Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres” (UNGRD-IEMP, 2017), el Decreto 1807 de 2014 (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014) y la “Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa” (SGC, 2016), entre otros.

Tabla 40. Conceptos y definiciones relevantes para la aplicación de EPR por inundación como insumo para el ordenamiento territorial

Concepto	Definición
Adaptación	Comprende el ajuste de los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos actuales o esperados a sus efectos, con el fin de moderar prejuicios o explorar oportunidades beneficiosas. En el caso de los eventos hidrometeorológicos la adaptación al cambio climático corresponde a la gestión del riesgo de desastres en la medida en que está encaminada a la reducción de la vulnerabilidad o al mejoramiento de la resiliencia en respuesta a los cambios observados o esperados del clima y su variabilidad.
Alerta	Estado que se declara con anterioridad a la manifestación de un evento peligroso, con base en el monitoreo del comportamiento del respectivo fenómeno, con el fin de que las entidades y la población involucrada activen procedimientos de acción previamente establecidos.
Amenaza	Peligro latente de que un evento físico de origen natural, 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 pérdida en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.
Análisis y evaluación de riesgo	Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación.
Áreas con condición de amenaza	Son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo Plan de Ordenamiento Territorial-POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de

	expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.
Áreas con condición de riesgo	Corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos.
Conocimiento del riesgo	Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre.
Convolución	Formalmente, es un operador matemático que se define como la integral del producto de dos funciones. En otros términos, se puede entender como un procedimiento que permite hallar la distribución de probabilidad de la operación entre dos funciones. Para el caso particular de la evaluación del riesgo, las dos funciones corresponden a las variables aleatorias que describen la amenaza y la vulnerabilidad de un elemento expuesto.
Crecientes súbitas	Las áreas de afectación son menores, pero el impacto es potencialmente mayor y cobra el mayor número de vidas. Responden rápidamente a la ocurrencia de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, los incrementos de nivel son del orden de metros en pocas horas y el tiempo de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas son igualmente de horas o pocos días. Estas se presentan en todas las cuencas de alta pendiente de la región Andina principalmente.
Curva de amenaza	Curva que define, para todo el rango de intensidades que pueden ocurrir en una localización de análisis, las frecuencias de excedencia asociadas a dichas intensidades. Esto es, para el caso de inundaciones, la curva que relaciona el rango de intensidades de tirante hídrico que puede experimentar un elemento expuesto, con el tiempo medio para el cual se puede alcanzar o exceder una intensidad específica.
Curva de Excedencia de Pérdidas (CEP)	Curva que especifica las frecuencias, usualmente anuales, con que ocurrirán eventos en el futuro que excedan un valor determinado de pérdidas para un portafolio de elementos expuestos analizado.
Delimitación	Consiste en la identificación del límite de un área determinada, mediante un polígono. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.
Desastre	Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios la subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del estado y del sistema nacional ejecutar de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción.

Espacio muestral		Corresponde a los elementos que conforman el conjunto de todos los posibles resultados conocidos de un experimento aleatorio.
Esquema de clasificación	de	Conjunto de reglas que permiten clasificar un edificio en una tipología estructural
Experimento aleatorio		<p>Todo experimento cuyo resultado está condicionado por el azar y la incertidumbre. Se rige bajo las siguientes consideraciones y supuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es posible repetirlo un número ilimitado de veces bajo las mismas condiciones. • Es posible conocer por adelantado todos los posibles resultados a que pueden dar origen. • No puede predecirse con exactitud un resultado específico en una realización particular del experimento
Evento		Formalmente se conoce como un subconjunto del espacio muestral. Específicamente, corresponde a cualquier subconjunto que contenga varios puntos de muestreo, los cuales hacen referencia a cada posible resultado presente en el espacio muestral.
Exposición (Elementos expuestos)		Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden afectarse por la manifestación de una amenaza.
Forzamiento		Fuerzas externas actuantes sobre un sistema simulado. A gran escala es posible hacer referencia al forzamiento climatológico y meteorológico. A escalas regionales y locales es posible hacer referencia a forzamientos hidrológicos como la precipitación o los caudales máximos para un lapso dado.
Frecuencia anual de excedencia	de	Medida de probabilidad temporal obtenida a partir de calcular el inverso del período de retorno. Indica la probabilidad con la que una determinada intensidad de magnitud de inundación será igualada, o excedida, en un lapso dado.
Frecuencia anual de ocurrencia	de	Medida del número de veces por año en las que ocurre un evento determinado.
Función de Distribución Probabilidad (FDP)	de de	Función y expresión matemática que determina la probabilidad para cada uno de los valores que una determinada variable aleatoria puede tomar.
Gestión del riesgo		Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como la posterior recuperación (rehabilitación y reconstrucción). Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.
Intensidad inundación	de	Hace referencia al rango de todos los posibles valores que puede adoptar una magnitud de inundación (por ejemplo: Tirante hídrico, Velocidad media de flujo)
Intensidad de magnitud inundación	de de	para un evento dado en una localización.

Inundación lenta	Eventos de amenaza por inundación que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros, reportan afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas humanas. El tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses. En Colombia el ejemplo más claro donde se presenta este tipo de inundación es la región de La Mojana.
Iso-frecuencia	Concepto comúnmente usado en modelación hidrológica/hidráulica para la estimación de zonas de inundación asociadas a un período de retorno único asumido como el mismo del forzamiento detonante del evento de inundación.
Localización	Cualquier punto en el espacio geográfico de análisis en el que se encuentra presente un elemento expuesto, caracterizado por coordenadas geográficas, tipología y valor expuesto únicos para cada rubro de análisis. En resumen, cada localización corresponde a la representación puntual en el espacio de toda la información que contiene un elemento expuesto.
Magnitudes de inundación	Cantidades físicas que interesa medir en la EPR por inundación con el objetivo de relacionar la intensidad de la amenaza, dada por la ocurrencia de un evento en una localización específica, con la vulnerabilidad de un elemento expuesto particular sujeto a la acción de cualquiera de dichas cantidades para un rango de intensidades dado. Para el caso particular de las inundaciones es común hacer uso de cantidades como: Tirante hídrico, Velocidad media de flujo, duración, esfuerzo cortante en el cauce y planicie de inundación, entre otros.
Malla de cálculo o malla computacional	Dominio discretizado que consiste en un arreglo de nodos comúnmente asociado a esquemas de elementos o diferencias finitas que, para cada nodo, contienen información de resultado de diferentes tipos, tales como; variables meteorológicas, variables hidráulicas, entre otros. Cada zona de inundación calculada está asociada a este dominio discretizado con información de, por ejemplo, tirante hídrico y velocidad media de flujo para cada punto del espacio de análisis.
Mitigación del riesgo	Medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se pueden presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente.
Modelo de exposición	Descripción simplificada de un conjunto de elementos expuestos a una amenaza. Contiene información respecto a la localización de los elementos, su valor y propiedades físicas que los hacen propensos a sufrir daños por la ocurrencia de eventos desastrosos.
Pérdida	Cantidad asociada a una gran incertidumbre, proveniente de diversas fuentes y de los componentes de análisis de amenaza y vulnerabilidad. Por tanto, es una cantidad de la cual no se puede conocer su valor con exactitud o certeza y, por ende, es tratada como una variable aleatoria descrita por una distribución de probabilidad, condicionada a la ocurrencia de un evento.

Pérdida Esperada (PAE)	Anual	Corresponde al valor de pérdida esperado en un lapso anual para un portafolio de elementos expuestos específico.
Pérdida Probable (PML, por sus siglas en inglés)	Máxima	Hace referencia a un valor de pérdida que ocurre con muy baja frecuencia, es decir, que se encuentra asociada a un período de retorno muy largo, o alternativamente, a una tasa de excedencia muy baja.
Período de retorno		También conocido como el período o intervalo de recurrencia. Puede ser definido como la probabilidad temporal que se mide en años. Específicamente mide el <i>tiempo medio</i> que transcurre entre eventos independientes.
Plan de Ordenamiento Territorial (POT)		Instrumento útil para regular, durante un término de doce años, la utilización, transformación y ocupación del espacio físico en el largo plazo de los distritos y municipios. Hay tres tipos de POT según el número de habitantes y la complejidad de las dinámicas territoriales de los municipios. POT para municipios con población superior a 100.000 habitantes; Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) para municipios con población entre 30.000 y 50.000 habitantes; y Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) para municipios con población inferior a 30.000 habitantes.
Prevención del riesgo		Medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible.
Prima Pura de Riesgo (PPR)		Indicador típico en el sector asegurador para caracterizar el riesgo de un portafolio de elementos expuestos. Es obtenido a partir de la relación entre la PAE y el valor físico expuesto total para un elemento, o grupo de elementos analizados.
Probabilidad		Área del conocimiento que trata de cuantificar todos los posibles resultados de un experimento en el cual está presente e intrínseca la incertidumbre o aleatoriedad.
Protección financiera		Mecanismos o instrumentos financieros de retención intencional o transferencia del riesgo que se establecen en forma ex ante con el fin de acceder de manera ex post a recursos económicos oportunos para la atención de emergencias y la recuperación.
Realización		Una realización de un experimento aleatorio es el resultado de una repetición de esa experiencia, condicionada por unos parámetros y funciones determinadas con anterioridad.
Recuperación		Son las acciones para el establecimiento de las condiciones normales de vida mediante la rehabilitación, reparación o reconstrucción del área afectada, los bienes y servicios interrumpidos o deteriorados y el restablecimiento e impulso del desarrollo económico y social de la comunidad. La recuperación tiene como propósito central evitar la reproducción de las condiciones de riesgo preexistente en el área del sector afectado.
Reducción del riesgo		Es el proceso de la gestión del riesgo que está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes (mitigación del riesgo) y

	a evitar nuevo riesgo en el territorio (prevención del riesgo). Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y las pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera.
Relación Media de Daño (RMD)	Porcentaje de afectación expresado en términos de valor de reposición o reparación del daño causado a un elemento expuesto, normalizado con respecto al valor expuesto total del elemento.
Rubro	Conjuga las posibles categorías constituyentes de un elemento expuesto particular. Para estos lineamientos, hace referencia a los componentes de dicho elemento, específicamente los contenidos y la edificación. Para la EPR por inundación se propone el análisis separado de los rubros de; contenidos y edificación, generando una función de vulnerabilidad única para cada uno de ellos, para cada tipología estructural.
Tenencia	Posesión de un enser o contenido individual (se define como tiene o no tiene) esta información se obtiene en las encuestas de campo para cada contenido en cada edificación.
Tipología estructural	Combinación de un conjunto de propiedades estructurales que describen a un edificio.
Tirante hídrico (TH)	Magnitud también conocida como calado o altura o profundidad de inundación en una zona particular.
Variable aleatoria	Corresponde a una variable que puede asumir valores numéricos asociados a los posibles resultados de un experimento aleatorio.
Velocidad media de flujo (V)	Magnitud que representa la velocidad promedio (usualmente al 40% de la profundidad del cauce) en un punto de análisis.
Vulnerabilidad	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 afectarse por eventos físicos peligrosos.
Zona homogénea	Sector del municipio en el que se considera que los edificios siguen un patrón o comparten características semejantes, tales como el uso, el número de plantas, el material de construcción, etc.
Zonificación	Es la representación cartográfica de áreas con características homogéneas. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.

Anexo 1.

Formatos para la recopilación de información en campo

En este Anexo se presentan propiedades relevantes para la descripción de características generales de los edificios y de la población expuesta ante inundaciones lentas, así como de propiedades estructurales de las construcciones.

Tabla 41. Uso y estrato de las construcciones.

Uso	Marque con una X
Residencial	
Comercial	
Industrial	
Gobierno	
Oficinas	
Salud	
Educación	
Mixto	
Uso multifamiliar	
Estrato socioeconómico	
Indique el estrato	

La Tabla 42 presenta características respecto a la tenencia de las construcciones, su avalúo y existencia de actividades económicas. Esta información puede ser de utilidad para analizar posibles impactos económicos de los daños producidos por inundaciones.

Tabla 42. Características de la tenencia y avalúo de la construcción.

Tenencia	
	Propia
	Totalmente pagada
	La están pagando
	En arriendo
	Usufructo
	Posesión sin título
	Propiedad colectiva
	Otra
Avalúo y actividad económica	
Cuota de la deuda (pesos)	
Valor arriendo (pesos)	
Valor de la construcción (pesos)	
Actividad económica (si/no)	

Características estructurales de las construcciones

Para describir las características estructurales se recomienda determinar propiedades del sistema estructural, de los pisos, de la cubierta, de los muros exteriores e interiores, así como la altura de la construcción. La Tabla 43 presenta propiedades sugeridas para describir el sistema estructural en términos del sistema resistente a cargas, el material y la fecha de construcción

Tabla 43. Propiedades del sistema estructural

Sistema estructural	Selección e con una x	
Sistema resistente	Características estructurales	
	Desconocido	
	Sin sistema resistente a cargas	
	Pórticos resistentes a momento	
	Muros de mampostería confinada	
	Muros de mampostería simple	
	Muros de mampostería reforzada	
	Muros de concreto reforzado	
	Postes y vigas	
	Muros de otros materiales	
	Sistema combinado	
Material del sistema resistente a cargas	Desconocido	
	Mampostería de arcilla perforación horizontal	
	Mampostería - Ladrillo de arcilla maciza	
	Mampostería - bloque de concreto	
	Mampostería - Ladrillo de adobe	
	Mampostería de piedra	
	Bahareque	
	Tapia	
	Concreto	
	Metal	
	Madera	
Otro		
Fecha de construcción	<1950	
	Entre 1950 y 1984	
	Entre 1984 y 1999	
	Entre 1999-2010	
	>2010	

La Tabla 44 presenta propiedades sugeridas para describir los entrepisos de las construcciones en términos del material, el sistema de soporte, material de acabados y existencia de diafragma rígido. Para edificios de una sola planta, esta información corresponderá a las propiedades del piso.

Tabla 44. Propiedades para describir los pisos

Propiedades de los entrepisos		Selecciones con una X
Material del sistema resistente del piso	Desconocido	
	Mampostería	
	Tierra	
	Concreto	
	Metal	
	Madera	
	Otro	
Sistema de soporte de placa de entepiso	Mampostería	
	Bóvedas de mampostería	
	Arcos de mampostería	
	Tierra	
	Arcos de tierra	
	Concreto	
	Placas macizas	
	Placas aligeradas	
	Placas macizas con vigas descolgadas	
	Metaldeck	
	Losas con vigas	
	Metálico	
	Desconocido	
	Vigas o cerchas metálicas con placas de concreto	
	Vigas o cercas metálicas que soportan sistemas livianos	
	Madera	
	Desconocido	
	Vigas o cerchas de madera que soportan láminas de madera	
	Vigas o cerchas de madera que soportan placas de concreto	
Láminas de madera		
Diafragma rígido	Desconocido	
	Sin diafragma rígido	
	Con diafragma rígido	
Material de acabado de pisos (placas aéreas)	Madera	
	Tierra	

	Concreto	
	Mármol	
	Alfombra	
	Cerámica	

Similarmente, la Tabla 45 presenta propiedades recomendadas para describir las cubiertas en términos de la forma, el material de la cubierta, el sistema resistente y la existencia de diafragma rígido.

Tabla 45. Propiedades de la cubierta

Propiedades de la cubierta		Seleccione con una x
Forma de la cubierta	Desconocida	
	Plana	
	A un agua	
	A dos aguas	
	A 4 aguas	
Material de la cubierta	Desconocido	
	Concreto sin recubrimiento	
	Tejas de concreto o de arcilla	
	Tejas de eternit	
	Membranas	
	Piedra	
	Tejas de asbesto	
	Tejas metálicas (zinc)	
	Madera	
	Otro	
Material del sistema resistente de la cubierta	Desconocido	
	Mampostería	
	Tierra	
	Concreto	
	Metal	
	Madera	
	Otro	
Sistema de soporte de la cubierta	Mampostería	
	Bóvedas de mampostería	
	Arcos de mampostería	
	Tierra	
	Arcos de tierra	
	Concreto	
	Placas macizas	
	Placas aligeradas	
	Placas macizas con vigas descolgadas	

	Metaldeck	
	Losas con vigas	
	Metálico	
	Desconocido	
	Vigas o cerchas metálicas con placas de concreto	
	Vigas o cercas metálicas que soportan sistemas livianos	
	Madera	
	Desconocido	
	Vigas o cerchas de madera que soportan láminas de madera	
	Vigas o cerchas de madera que soportan placas de concreto	
	Láminas de madera	
Diafragma rígido	Desconocido	
	Sin diafragma rígido	
	Con diafragma rígido	

La Tabla 46 presenta propiedades recomendadas para describir los muros exteriores (fachadas) e interiores (particiones) en términos de los materiales de construcción, porcentaje de aberturas y espesor.

Tabla 46. Características de las fachadas (muros exteriores).

Características de las fachadas		Seleccione con una X
Material de las paredes exteriores	Desconocido	
	Concreto	
	Vidrio	
	Bahareque	
	Tapia	
	Mampostería de arcilla perforación horizontal	
	Mampostería - Ladrillo de arcilla maciza	
	Mampostería - bloque de concreto	
	Mampostería - Ladrillo de adobe	
	Mampostería de piedra	
	Metal	
	Vegetal	
	Madera	
	Plástico	
	Otro	
Porcentaje de aberturas	0% - 20%	
	20% - 40%	
	40% - 60%	
	60% - 80%	
	80% - 100%	
Espesor de muros de fachada (cm)		

Material de las paredes internas	Desconocido	
	Concreto	
	Vidrio	
	Bahareque	
	Tapia	
	Mampostería de arcilla perforación horizontal	
	Mampostería - Ladrillo de arcilla maciza	
	Mampostería - bloque de concreto	
	Mampostería - Ladrillo de adobe	
	Mampostería de piedra	
	particiones en Drywall	
	Metal	
	Vegetal	
	Madera	
	Plástico	
	Otro	

Por último, en la Tabla 47 se presentan datos sugeridos para describir la altura de las construcciones.

Tabla 47. propiedades respecto a la altura de las construcciones

Altura de la construcción	Valores
Número de plantas sobre rasante	
Número de plantas bajo rasante	
Altura de entrepiso (cm)	
Altura del edificio respecto a la rasante	

Como ejemplo, en la Figura 35 y en la Figura 36 se presentan fichas descriptivas de propiedades estructurales y de contenidos recolectados a partir de encuestas para una construcción específica.

Fichas de inspección de edificios							
Fecha	2017-11-11 17:52:35 UTC		Inspector	Devis Pérez			
			Datos	Ficha estructural y contenidos			
Localización							
Municipio	Mompóx	ID	6	Long (WGS84)	-74.428	Lat (WGS84)	9.241
Fecha de construcción	Entre 1950 y 1984			Sector censal	13468100000000000105		
Características estructurales							
Sistema resistente a cargas laterales							
Sistema resistente a cargas laterales	Sin sistema resistente a cargas						
Material del sistema resistente a cargas	Mampostería - Ladrillo de arcilla						
Propiedades de los pisos							
Material del sistema resistente del piso	Concreto						
Sistema de apoyo del piso	Losas sin vigas						
Material de acabado de pisos	Concreto						
Conexión del piso al sistema resistente	Sin datos						
Propiedades del techo							
Material del sistema resistente del techo	Madera						
Sistema de apoyo del techo	Vigas o cerchas que soportan techos livianos						
Material de acabado del techo	Tejas de asbesto						
Forma del techo	Sin datos						
Conexión del techo al sistema resistente	Sin conexión						
Características de las paredes							
Material de las paredes exteriores	Mampostería						
Porcentaje de aberturas	0% - 20%						
Número de plantas							
Numero de plantas sobre rasante	1		Numero de plantas bajo rasante	0			
Alturas y elementos de protección ante inundaciones							
Altura de entepiso (cm)	280		Altura del acceso respecto a la rasante (cm)	35			
Altura primer piso respecto a la rasante (cm)	25		Altura muro protección (cm)	10			
Fotografías							
							

Figura 35 Ejemplo de ficha de descripción de propiedades estructurales



Información general y contenidos															
Información general															
Uso	Residencial														
Estrato	2														
Ingresos (Salarios mínimos - SM)	> 2 < 3 SM														
Tenencia de la construcción															
Tenencia	En arriendo	Cuota deuda (pesos)	-												
Valor arriendo	10000	Actividad económica en el hogar	No												
Valor de la construcción	> 50 millones < 100 millones														
Contenidos															
Tiene calentador	No	<table border="1"> <tr> <td>Valor contenidos</td> <td>2.5M - 5.0M</td> </tr> <tr> <td>Numero de ocupantes</td> <td>3</td> </tr> </table>	Valor contenidos	2.5M - 5.0M	Numero de ocupantes	3	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Vehículos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carro</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Motocicleta</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Bicicleta</td> <td>Si</td> </tr> </tbody> </table>	Vehículos		Carro	No	Motocicleta	No	Bicicleta	Si
Valor contenidos	2.5M - 5.0M														
Numero de ocupantes	3														
Vehículos															
Carro	No														
Motocicleta	No														
Bicicleta	Si														
Tiene DVD	No														
Tiene televisor	Si														
Tiene equipo de sonido	Si														
Tiene computador	No														
Tiene aspiradora/brilladora	No														
Tiene aire acondicionado	No														
Tiene ventilador	Si														
Tiene refrigerador	Si														
Tiene licuadora	Si														
Tiene estufa	Si														
Tiene horno eléctrico / Gas	No														
Tiene horno microondas	No														
Daños por inundación															
Ha sufrido daños por inundaciones	Sin datos	Tiempo de recuperación (meses)	Sin datos												
Fotografías															
															

Figura 36 Ejemplo de ficha de descripción de contenidos

Anexo 2. Formato encuesta contenidos

1) Dirección: _____

2) ¿Número de pisos? _____

3) ¿Su lugar de residencia alguna vez ha sido afectado por inundación? SI NO

4) ¿Durante la inundación modifica usted la localización de los enseres? SI NO

5) De la siguiente tabla seleccione la tenencia y los rangos de altura sobre el nivel del piso en el que se encuentran sus enseres en temporada seca y en temporada de inundación (si realiza modificaciones en su localización).

ÍTEM	TENENCIA		LOCALIZACIÓN	LOCALIZACIÓN EN TEMPORADA SECA			LOCALIZACIÓN EN TEMPORADA DE INUNDACIÓN		
	Si	No		Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:
Televisor			localización	Altura sobre el nivel de piso:			Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____			Entre 0 y 20cm		Entre 0.80 y 1.0m	Entre 0 y 20cm		Entre 0.80 y 1.0m
	Precio			Entre 20 y 40cm		Entre 1.00 y 1.5m	Entre 20 y 40cm		Entre 1.00 y 1.5m
	Unitario _____			Entre 40 y 80 cm		Más de 1.5m	Entre 40 y 80 cm		Más de 1.5m
DVD			localización	Altura sobre el nivel de piso:			Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____			Entre 0 y 20cm		Entre 0.80 y 1.0m	Entre 0 y 20cm		Entre 0.80 y 1.0m
	Precio			Entre 20 y 40cm		Entre 1.00 y 1.5m	Entre 20 y 40cm		Entre 1.00 y 1.5m
	Unitario _____			Entre 40 y 80 cm		Más de 1.5m	Entre 40 y 80 cm		Más de 1.5m

ÍTEM		TENENCIA	LOCALIZACIÓN EN TEMPORADA SECA			LOCALIZACIÓN EN TEMPORADA DE INUNDACIÓN		
Equipo de sonido	Si	No	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:
			Altura sobre el nivel de piso:			Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m	
	Precio		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m	
Unitario _____		Entre 40 y 80 cm	Más de 1.5m		Entre 40 y 80 cm	Más de 1.5m		
Computador	Si	No	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:
			Altura sobre el nivel de piso:			Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m	
	Precio		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m	
Unitario _____		Entre 40 y 80 cm	Más de 1.5m		Entre 40 y 80 cm	Más de 1.5m		
Aire acondicionado	Si	No	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:
			Altura sobre el nivel de piso:			Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m	
	Precio		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m	
Unitario _____		Entre 40 y 80 cm	Más de 1.5m		Entre 40 y 80 cm	Más de 1.5m		
Ventilador	Si	No	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:
			Altura sobre el nivel de piso:			Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m	
	Precio		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m	
Unitario _____		Entre 40 y 80 cm	Más de 1.5m		Entre 40 y 80 cm	Más de 1.5m		

íTEM		TENENCIA	LOCALIZACIÓN EN TEMPORADA SECA			LOCALIZACIÓN EN TEMPORADA DE INUNDACIÓN				
Nevera	Si	No	localización	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:	
				Altura sobre el nivel de piso:				Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____			Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m		Entre 0 y 20cm		Entre 0.80 y 1.0m	
	Precio Unitario _____			Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m		Entre 20 y 40cm		Entre 1.00 y 1.5m	
Licuadora	Si	No	localización	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:	
				Altura sobre el nivel de piso:				Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____			Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m		Entre 0 y 20cm		Entre 0.80 y 1.0m	
	Precio Unitario _____			Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m		Entre 20 y 40cm		Entre 1.00 y 1.5m	
Estufa	Si	No	localización	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:	
				Altura sobre el nivel de piso:				Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____			Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m		Entre 0 y 20cm		Entre 0.80 y 1.0m	
	Precio Unitario _____			Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m		Entre 20 y 40cm		Entre 1.00 y 1.5m	
Lavadora	Si	No	localización	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:	
				Altura sobre el nivel de piso:				Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____			Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m		Entre 0 y 20cm		Entre 0.80 y 1.0m	
	Precio Unitario _____			Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m		Entre 20 y 40cm		Entre 1.00 y 1.5m	
		Entre 40 y 80 cm	Más de 1.5m		Entre 40 y 80 cm		Más de 1.5m			

ÍTEM		TENENCIA	LOCALIZACIÓN EN TEMPORADA SECA			LOCALIZACIÓN EN TEMPORADA DE INUNDACIÓN		
Secadora	Si	No	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:
			Altura sobre el nivel de piso:			Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m	
	Precio Unitario _____		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m	
Corfinas	Si	No	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:
			Altura sobre el nivel de piso:			Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m	
	Precio Unitario _____		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m	
Muebles de sala	Si	No	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:
			Altura sobre el nivel de piso:			Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m	
	Precio Unitario _____		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m	
Muebles de comedor	Si	No	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:
			Altura sobre el nivel de piso:			Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m		Entre 0 y 20cm	Entre 0.80 y 1.0m	
	Precio Unitario _____		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m		Entre 20 y 40cm	Entre 1.00 y 1.5m	
		Entre 40 y 80 cm	Más de 1.5m		Entre 40 y 80 cm	Más de 1.5m		

ÍTEM	TENENCIA		LOCALIZACIÓN EN TEMPORADA SECA			LOCALIZACIÓN EN TEMPORADA DE INUNDACIÓN		
	Si	No	Piso 1	Piso 2	Piso 3 o superior:	Piso 1:	Piso 2:	Piso 3 o superior:
Camas			localización			localización		
			Altura sobre el nivel de piso:			Altura sobre el nivel de piso:		
	¿Cantidad? _____		Entre 0 y 20cm		Entre 0.80 y 1.0m	Entre 0 y 20cm		Entre 0.80 y 1.0m
	Precio		Entre 20 y 40cm		Entre 1.00 y 1.5m	Entre 20 y 40cm		Entre 1.00 y 1.5m
Unitario _____		Entre 40 y 80 cm		Más de 1.5m	Entre 40 y 80 cm		Más de 1.5m	

6) ¿Cuenta con alguno de los siguientes vehículos? Y ¿cuál es el valor estimado?

Carro: SI NO El valor estimado de su carro es?

\$0 a \$5.000.000 \$5.000.000.a \$10.000.000 \$10.000.000.a \$20.000.000 \$20.000.000.a \$40.000.000 \$40.000.000.a \$80.000.000 Más de \$80.000.000

Moto: SI NO

\$0 a \$1.000.000 \$1.000.000.a \$3.000.000 \$3.000.000.a \$5.000.000 \$5.000.000.a \$10.000.000 \$10.000.000.a Más de \$20.000.000

Bicicleta SI NO

7) ¿Logra ubicar su vehículo lejos del alcance de la inundación?

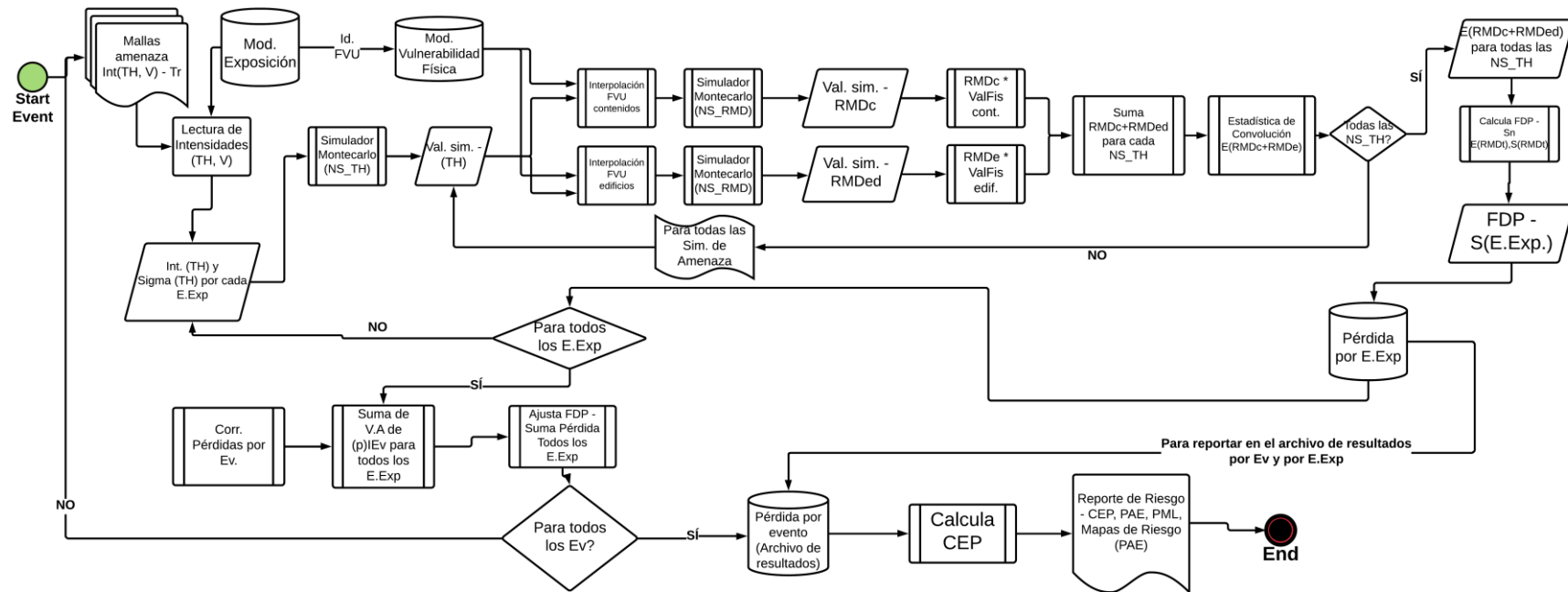
Siempre casi siempre Casi nunca Nunca

8) ¿En algún evento de inundación su vehículo se ha visto afectado? SI NO

Anexo 3. Detalle metodológico modelo de riesgo

1. Diagrama de flujo detallado del procedimiento de cálculo para la EPR por inundación.

EPR INUNDACIÓN



1. Procedimiento detallado para la suma de pérdida entre rubros analizados

