

**Evaluación de la vulnerabilidad en la zona inundable de la cabecera urbana del municipio de
Salgar (Antioquia)**

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

Elaborado por:

Manuela Estrada Maya

Carolina Jiménez Galvis

Viviana Mejía Hernández

Juliana Márquez Jaramillo

Jessica A. Cañas Gómez

Sol Ochoa Osorio

Edna Margarita Rodríguez-Gaviria

Luis Alejandro Builes Jaramillo

Grupo de Investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad

Semillero de Investigación en Ciencias Ambientales

Este proyecto de investigación se llevó a cabo gracias a los recursos para Investigación de la
Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

Medellín, Colombia

2018

PRESENTACIÓN

El presente informe es uno de los productos de la investigación titulada **“Evaluación de la vulnerabilidad en la zona inundable de la cabecera urbana del municipio de Salgar (Antioquia)”**, financiada por la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.

El propósito de este informe es dar difusión de los resultados de la investigación a las autoridades y las comunidades del municipio de Salgar (Antioquia), como un material de apoyo para avanzar en el conocimiento del riesgo de desastres. Estos resultados contemplan una evaluación de las condiciones de vulnerabilidad física ante avenidas torrenciales, así como la formulación de unas recomendaciones o directrices para que las Autoridades y las Comunidades las tengan en cuenta dentro de sus instrumentos de planeación, ordenamiento territorial y gestión del riesgo.

TABLA DE CONTENIDO

PRESENTACIÓN	2
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Resumen	6
1.2. Caso de estudio	6
1.3. Objetivo general	6
1.4. Objetivos específicos	6
1.5. Planteamiento del problema	7
1.6. Justificación	8
1.7. Equipo de trabajo	11
1.8. Definiciones	11
2. METODOLOGÍA	16
2.1 Fase 1. Análisis de la normatividad Decreto 1807 de 2014	17
2.2 Fase 2: Análisis de los componentes exposición, tipología, fragilidad y daños	17
2.2.1 Variables de exposición	17
2.2.2 Variables de tipología	23
2.2.3 Variables de fragilidad	25
2.2.4 Variables de daños	37
2.3 Fase 3: Evaluación de condiciones de vulnerabilidad en campo y oficina	38
2.4 Fase 4: Evaluación de expertos	40
2.5 Fase 5: Completitud y análisis de la información	41
2.6 Fase 6: Tratamiento estadístico	41
2.7 Fase 7: Evaluación de la vulnerabilidad	42
2.8 Fase 8: Elaboración de mapas	43
3. RESULTADOS	44
3.1. Tratamiento estadístico	44
3.2. Evaluación de la vulnerabilidad	60
3.3. Elaboración de mapas	68
3.4. Elaboración de maqueta	72
4. RECOMENDACIONES	73
5. BIBLIOGRAFÍA	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Línea de tiempo de la ocurrencia de avenidas torrenciales en el Municipio de Salgar.....	9
Figura 2. Deslizamientos ocurridos en las pendientes del Cerro El Plateado.....	10
Figura 3. Metodología de investigación	16
Figura 4. Variable ángulo de impacto.....	19
Figura 5. Variable elementos de protección	21
Figura 6. Variable tipología.....	24
Figura 7. Variable altura de la edificación	26
Figura 8. Variable estado de conservación del predio	28
Figura 9. Variable tipo de fundación estructural.....	30
Figura 10. Variable edad de la vivienda.....	32
Figura 11. Fragilidad a escala de manzana	36
Figura 12. Aplicaciones de ODK.....	39
Figura 13. Resultados uso del predio	45
Figura 14. Resultados edad del predio	45
Figura 15. Resultado afectación del predio.....	46
Figura 16. Resultado estado del predio.....	47
Figura 17. Resultado afectación a los habitantes.....	47
Figura 18. Resultado tipología del predio	48
Figura 19. Resultado altura del predio	49
Figura 20. Resultado fundación estructural	49
Figura 21. Resultado estado de conservación del predio	50
Figura 22. Resultado área del predio	50
Figura 23. Resultado puertas expuestas	51
Figura 24. Resultado ventanas expuestas	51
Figura 25. Resultado elementos de protección.....	52
Figura 26. Resultado terraza.....	52
Figura 27. Resultado ángulo de impacto.....	53
Figura 28. Resultado distancia al cauce.....	53
Figura 29. Resultado densidad de construcción de la manzana	54
Figura 30. Resultado forma, compactación y regularidad de los límites de la manzana	55
Figura 31. Resultado densidad vial.....	56
Figura 32. Resultado densidad poblacional de la manzana	56
Figura 33. Resultado tipo de elemento de protección.....	57
Figura 34. Resultado estado de los elementos de protección	57
Figura 35. Porcentaje de varianza por dimensión.....	58
Figura 36. Contribución de las variables a la dimensión 1.....	59
Figura 37. Contribución de las variables a la dimensión 2.....	59
Figura 38. Contribución de las variables a la dimensión 3.....	60

Figura 39. Análisis de frecuencia vulnerabilidad física	68
--	----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Equipo de trabajo	11
Tabla 2. Clasificación de variables	61

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Localización de la zona de estudio	7
Mapa 2. Mapa de amenaza por avenida torrencial	38
Mapa 3. Cartografía para trabajo de campo	44
Mapa 4. Mapa evaluación de daños	70
Mapa 5. Vulnerabilidad física zona urbana	71

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Maqueta cabecera urbana Salgar (Antioquia)	72
--	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Encuesta salida de campo	
Anexo 2. Análisis por medio de ortofoto	
Anexo 3. Encuesta a expertos	
Anexo 4. Clasificación de las variables	
Anexo 5. Mapa trabajo de campo	
Anexo 6. Mapa evaluación de daños	
Anexo 7. Mapa vulnerabilidad física Salgar	
Anexo 8. Mapa localización general	
Anexo 9. Mapa de amenaza por avenida torrencial	

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Resumen

A pesar de que algunos estudios hidrológicos realizados para el Municipio de Salgar (Antioquia) sumado a los registros históricos de desastres, advirtieron de la posibilidad de ocurrencia del desastre si las condiciones de lluvia superaban ciertos límites, la avenida torrencial del 18 de mayo de 2015 no se pudo prevenir activando un sistema de alerta temprana. A raíz de este desastre y observando la magnitud de la destrucción del desastre surge la necesidad de evaluar componentes de la vulnerabilidad física de la cabecera urbana del municipio ante la ocurrencia de una avenida torrencial, con el fin de desarrollar una metodología que permita localizar las zonas más vulnerables, generar mapas de estas y proponer medidas de intervención y planificación para el desarrollo y el ordenamiento del territorio.

1.2. Caso de estudio

Salgar es un municipio colombiano localizado en la subregión Suroeste del departamento de Antioquia. Limita por el norte con los municipios de Urrao, Betulia y Concordia, por el este con Concordia, Venecia y Tarso, por el sur con Pueblorrico y Ciudad Bolívar, y por el oeste con el municipio de El Carmen de Atrato departamento del Chocó y el municipio de Urrao, la cabecera municipal se encuentra a una altura de 1.250 m sobre el nivel del mar, su extensión territorial es de 418 Km², su temperatura promedio los 23°C, su población es de 18.000 habitantes aproximadamente, fue fundado en 1.880 y erigido municipio en 1.903 (Municipio de Salgar, 2012). En el **Mapa 1** se observa la localización del área urbana del municipio.

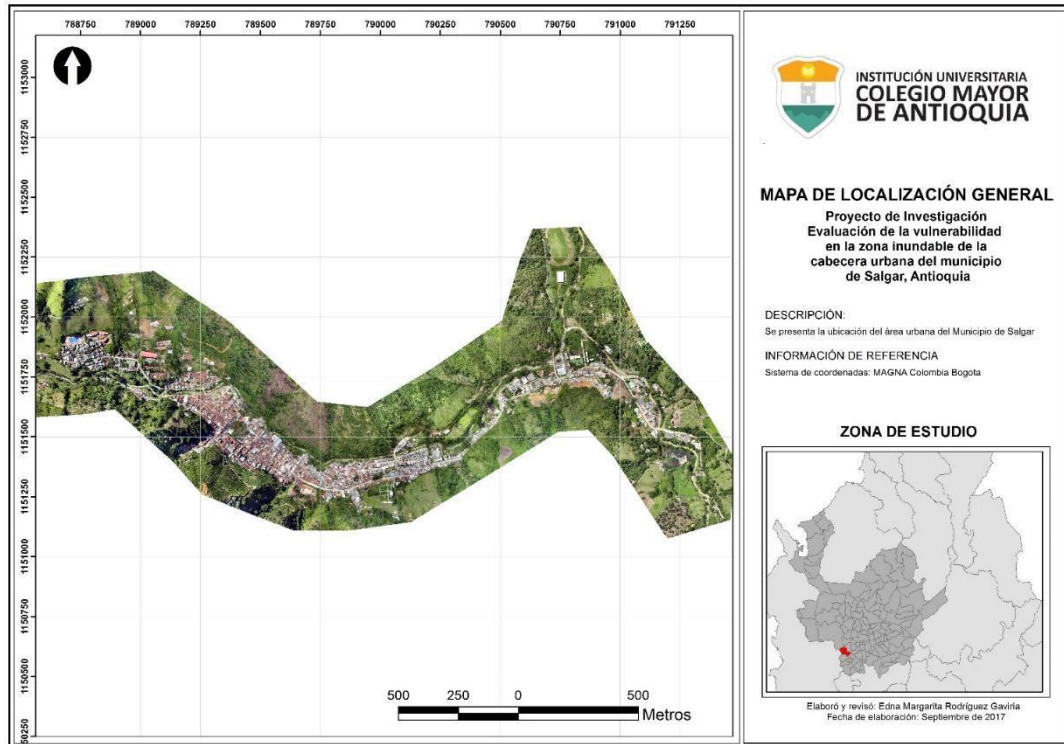
1.3. Objetivo general

Evaluar las condiciones físicas de la vulnerabilidad de la comunidad en zonas pobladas con amenaza por avenida torrencial.

1.4. Objetivos específicos

- Definir una zona prioritaria dónde aplicar la metodología.
- Definir y analizar indicadores de vulnerabilidad utilizando variables cualitativas con la integración del conocimiento local.

- Representar por medio de mapas las condiciones de vulnerabilidad.
- Proponer medidas de intervención para la reducción de la vulnerabilidad.



Mapa 1. Localización de la zona de estudio

Fuente: Municipio de Salgar

1.5. Planteamiento del problema

Diferentes zonas pobladas del municipio de Salgar son afectadas de manera recurrente por amenazas hidro-meteorológicas como las avenidas torrenciales. Debido a la ocurrencia de la avenida torrencial del 18 de mayo de 2015 que dejó un total de 94 muertos, 1397 afectados, 11 desaparecidos y gran parte de la infraestructura afectada (El Colombiano, 2018) se han desplegado diversas acciones, entre ellas la evaluación de la amenaza; pero hasta ahora no se han desarrollado iniciativas suficientes para evaluar la vulnerabilidad en sus componentes físicos de la comunidad y demás elementos expuestos.

Según el Plan Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre 2013-2025, se requiere en el país ampliar el conocimiento del riesgo y en especial profundizar en la evaluación de las condiciones de

vulnerabilidad (INGENIAR LTDA., 2013). Además, con el Decreto 1807 de 2014 sobre integración de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial se obliga a las alcaldías a realizar estudios de riesgo (básicos y detallados) en aquellas zonas que presentan condición de riesgo (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014)

Dichos estudios detallados contienen la evaluación de vulnerabilidad, la cual incluye las características de los elementos expuestos (tipo de elemento, grado de exposición y resistencia y distribución espacial), la identificación de los diferentes tipos de daño o efecto esperado sobre estos elementos y la elaboración de mapas de vulnerabilidad categorizada (vulnerabilidad alta, media y baja).

Para municipios como Salgar, la realización de estudios detallados demanda recursos financieros, humanos y tecnológicos para ejecutar actividades como el levantamiento, procesamiento y análisis de la información y que en ocasiones no se han presupuestado. Con este proyecto de investigación se desarrolló una metodología de evaluación de las condiciones físicas de la vulnerabilidad usando información disponible para el municipio o recopilada directamente en campo. Por ende la metodología debe ser aplicable para todo el territorio en riesgo por avenidas torrenciales y los resultados de su aplicación confiables para la toma de decisiones.

Esta información podrá ser actualizada constantemente, lo que contribuirá no sólo a buscar solución al cumplimiento normativo sino a la construcción de capacidades institucionales locales para beneficio de las comunidades.

A partir de lo anterior, la pregunta principal que se planteó en la investigación fue la siguiente: ¿Es posible establecer una metodología de evaluación de vulnerabilidad física por avenidas torrenciales a nivel local, con información levantada en campo, información disponible en el municipio y de acceso público para contextos urbanos?

1.6. Justificación

La ocurrencia de eventos de tipo hidrometeorológico (inundaciones y avenidas torrenciales) en el municipio de Salgar es frecuente como se puede observar en la línea de tiempo de ocurrencia de avenidas torrenciales en el municipio presentada en la **Figura 1.**

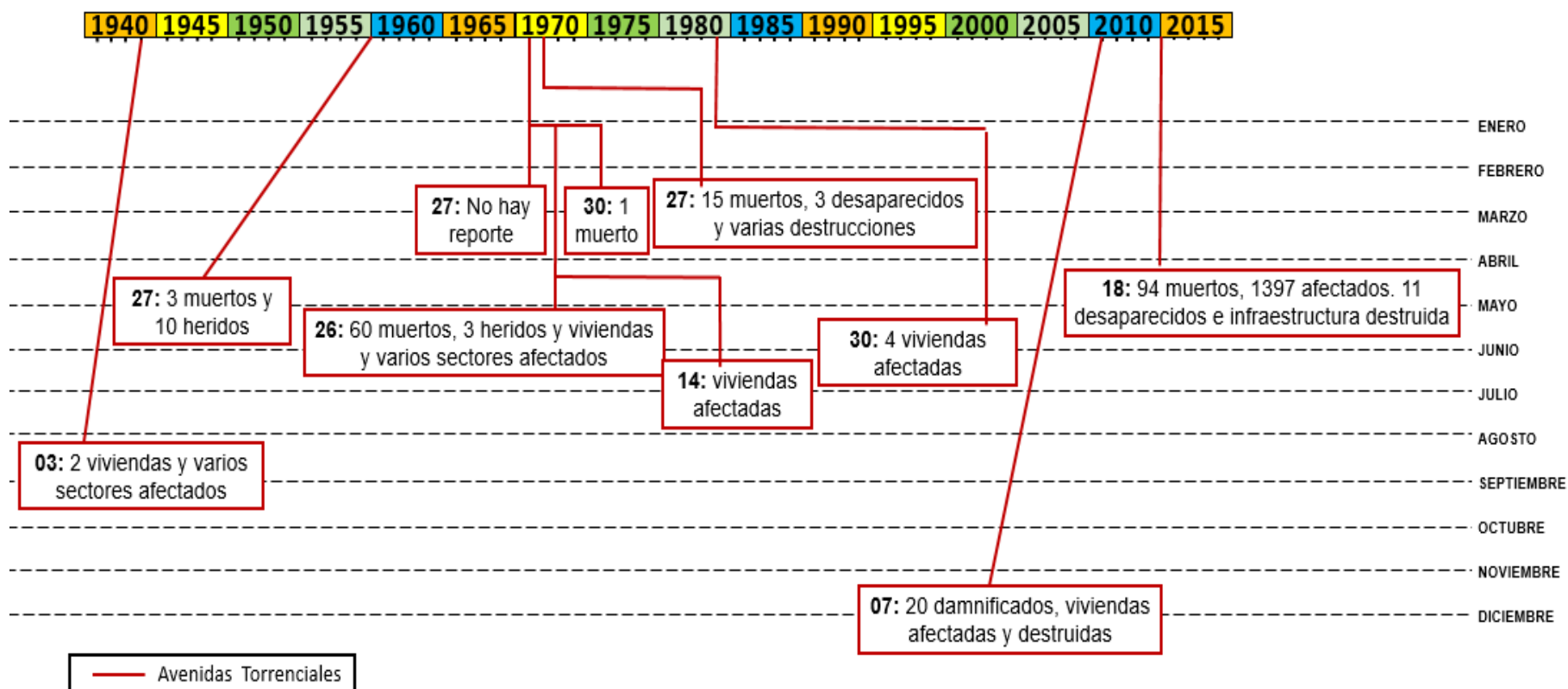


Figura 1. Línea de tiempo de la ocurrencia de avenidas torrenciales en el Municipio de Salgar

Fuente: (Corporación OSSO & La Red, 2015)

La avenida torrencial del 18 de mayo del 2015 es la de mayor afectación al municipio en términos de pérdidas humanas, daños en la infraestructura y bienes materiales (ver **Fotografía 1** y **Fotografía 2**) (DAPARD, 2015). Esta avenida torrencial fue generada por una descarga de 160 mm de lluvia, sobre Cerro El Plateado (ubicado al noroccidente de la cabecera urbana del municipio), en poco menos de dos horas (NoticiasCaracol, 2015). Dato que concuerda con las estimaciones publicadas por el DAPARD(2015), según las mediciones de una estación pluviométrica de CORANTIOQUIA (ubicada en la zona urbana), confrontadas con las imágenes del radar SIATA de precipitación de esa noche, lo que también ocasionó deslizamientos en las altas pendientes de la microcuenca de la quebrada La Liboriana, que desemboca en el río Barroso (ver la **Figura 2**).



Fotografía 1 y Fotografía 2. Impactos de la avenida torrencial del 18 de mayo de 2015

Fuente: (DAPARD, 2015; UNGRD & Universidad Javeriana, 2016)



Figura 2. Deslizamientos ocurridos en las pendientes del Cerro El Plateado

Fuente: Imagen tomada de Google Earth Pro

Teniendo en cuenta lo anterior, las motivaciones para abordar esta investigación fueron varias tales como encaminar el proyecto de investigación con los conocimientos adquiridos en la línea de cursos electivos en gestión del riesgo de desastres, las características del municipio de Salgar similares a otros municipios de Colombia y la facilidad de adquirir de información acerca del municipio en parte por la ocurrencia reciente del desastre de mayo de 2015 y por las condiciones de acceso al municipio.

1.7. Equipo de trabajo

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

Tabla 1. Equipo de trabajo

Nombre	Funciones
Manuela Estrada Maya	Estudiante de Ingeniería Ambiental Investigadora
Viviana Mejía Hernández	Estudiante de Ingeniería Ambiental Investigadora
Jessica A. Cañas Gómez	Estudiante de Ingeniería Ambiental Investigadora
Carolina Jiménez Galvis	Estudiante de Ingeniería Ambiental Investigadora
Juliana Márquez Jaramillo	Estudiante de Ingeniería Ambiental Investigadora
Sol Ochoa Osorio	Estudiante de Ingeniería Ambiental Investigadora
Edna Margarita Rodríguez Gaviria	Profesora Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia Investigadora
Luis Alejandro Builes Jaramillo	Profesor Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia Investigador
Carolina García Londoño	Profesora Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia Investigadora

1.8. Definiciones

Para la realización de este proyecto de acuerdo con su contexto y basados en lo dictado por el Decreto 1807 de 2014 (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014), se adaptaron los siguientes conceptos:

Avenida torrencial: una avenida torrencial es un fenómeno generado por un flujo violento de agua causado por fuertes lluvias o por la ruptura de represamientos en cuencas medianas. Dicho flujo se desplaza por los cauces de las quebradas o ríos, llegando a transportar volúmenes importantes de sedimentos y escombros a altas velocidades. Debido a lo anterior, los habitantes y las infraestructuras ubicados en las zonas de incidencia de aquellas cuencas susceptibles de presentar este tipo de fenómenos se encuentran altamente expuestos, por ende es necesario realizar un estudio para evaluar la vulnerabilidad tanto humana como física para posteriormente tomar medidas para mitigar los impactos que dicho fenómeno pueda ocasionar (Caballero Acosta, 2011; Rosales & Velásquez, 1999)

Vulnerabilidad: después de analizar diferentes conceptos de vulnerabilidad (Chardon, 2006; Ciurean, Schröter, & Glade, 2013; Congreso de la República, 2012; MOVE, 2011; Universidad Católica de Oriente, 2014), la vulnerabilidad para este proyecto de investigación se definió como un sistema complejo y dinámico que corresponde a la probabilidad (es factible a priori, pero no seguro) de que un sujeto o elemento expuesto a una amenaza natural, tecnológica, antrópica o socio-natural, sufra daños y pérdidas humanas o materiales en el momento del impacto del fenómeno, teniendo además dificultad en recuperarse de ello, a corto, mediano o largo plazo. Lo que significa que la vulnerabilidad se considera antes, durante y después del evento.

Vulnerabilidad física: reuniendo conceptos de diferentes autores como Jakob, Stein, & Ulmi (2011), Karagiorgos, Thaler, Hubl, Maris, & Fuchs (2016), Servicio Geológico Colombiano (2015), Thouret et al. (2014^a) y Uzielli, Nadim, Lacasse, & Kaynia (2008), la vulnerabilidad física se definió como la susceptibilidad que tienen los elementos expuestos a sufrir daños físicos debido a su localización en zona de riesgo o la deficiencia de sus estructuras, en el caso de ocurrencia de una avenida torrencial. Los elementos expuestos incluyen tanto elementos físicos (bienes e infraestructura) como personas y líneas de vida que pueden resultar afectados por la materialización de una amenaza.

Cada elemento identificado y localizado se debe describir y categorizar en función de sus características de fragilidad, exposición y tipología, con el propósito de evaluar su vulnerabilidad física ante la ocurrencia de una amenaza. La vulnerabilidad física de personas depende de factores

relacionados tanto con la amenaza (tipo, tamaño, distribución e intensidad del evento) como con la capacidad de respuesta y resistencia de los individuos (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

Fragilidad: la fragilidad es una de las categorías más importantes en el momento de evaluar la vulnerabilidad de las estructuras expuestas a determinadas amenazas. Su definición varía para diferentes autores: por ejemplo, Martínez et al. (2007) se enfocan en los factores sociales y afirman que *“la fragilidad se refiere al nivel de resistencia y protección frente al impacto de un peligro/amenaza”*. Otra definición de fragilidad es *“la predisposición de la sociedad y los ecosistemas a sufrir daño como resultado de los niveles de susceptibilidades o fragilidades de los asentamientos humanos y condiciones desventajosas y debilidades relativas relacionadas con cuestiones físicas, ecológicas, sociales, económicas, culturales e institucionales”* (MOVE, 2011).

Según el Servicio Geológico Colombiano (2015) la fragilidad *“es el nivel de daño que un elemento dado puede sufrir luego de estar sometido a la acción de un movimiento en masa [o avenida torrencial en nuestro caso], y dependerá de la tipología de la edificación, de las condiciones de exposición y de su resistencia ante las solicitaciones impuestas”*.

Fragilidad física: teniendo en cuenta las definiciones de fragilidad anteriores y el hecho de que la amenaza que se está evaluando en este proyecto es de avenida torrencial, la fragilidad física es el nivel de resistencia y protección frente a un impacto dadas las condiciones de exposición y características tipológicas de las diferentes estructuras.

Exposición: varios autores han documentado definiciones para la exposición, por ejemplo, Martínez et al. (2007) la definen como *“aquel grado que tiene que ver con algunas decisiones y prácticas que ubican a una unidad social cerca de zonas de influencia de un peligro”*. Por su parte, el Servicio Geológico Colombiano (2015) considera la exposición como la posición relativa con respecto al área afectada por el evento.

Mientras otros autores afirman que la exposición puede definirse como uno de los factores antropogénicos que contribuyen al riesgo siendo representada por la población y los bienes situados en zonas de riesgo (Barredo & Engelen, 2010; Bendimerad, 2001), otras definiciones están dadas por la medida de la susceptibilidad de los elementos dentro de una región amenazada

(Fekete, 2010), los potenciales receptores de la amenaza como el número de personas o bienes potencialmente afectados (Apel, Thieken, Merz, & Blösch, 2004; Bohórquez, 2013) o el grado en el que un sistema social-ecológico es expuesto a una amenaza o perturbación específica (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres-EIRD, 2004).

Se concluyó que la exposición contempla entonces aspectos físicos como la localización, calidad del ambiente construido y natural, la proximidad al evento amenazante así como la intensidad de este (Rodríguez-Gaviria, 2016; Sepúlveda B., Patiño Franco, & Rodríguez Pineda, 2016). Pero también aspectos sociales como la presencia de personas vulnerables, las condiciones de habitabilidad y la percepción de pérdidas y daños a causa de una amenaza (Rodríguez-Gaviria, 2016). Thouret et al (2014a) afirma que la exposición está influenciada por aspectos ambientales, sociales y físicos, y viene dada por la ubicación de elementos vulnerables (comunidades, bienes y/o ecosistemas) en la zona de influencia de cualquier amenaza.

Para medir la exposición de manera espacial y temporal, autores como Vega & Díaz (2013) han recurrido al uso de sistemas e información geográfica, a la interpretación de imágenes, al modelamiento numérico y al trabajo en campo en diferentes escalas espaciales.

Tipología: la tipología de las edificaciones incluye aspectos como el reforzamiento de la estructura, el tipo de material utilizado en su construcción y su calidad (Hernandez Atencia & Ramírez Arcila, 2016; PNUD, 2012; Rodríguez-Gaviria, 2016; Servicio Geológico Colombiano, 2015; Thouret et al., 2014; Universidad Católica de Oriente, 2014). Se decidió utilizar dentro del análisis de la tipología elementos como materiales de construcción, sistema estructural y reforzamiento de la estructura (PNUD, 2012; Servicio Geológico Colombiano, 2015; Universidad Católica de Oriente, 2014).

Daños: durante el desarrollo de la investigación se consultaron diferentes autores que han abordado la evaluación de daños. Sin embargo, pocos autores analizan los daños en relación a las avenidas torrenciales (Jakob et al., 2011; Thouret et al., 2014a), por lo cual se incluyeron de manera adaptada variables sobre daño empleadas para otros tipos de amenazas tales como sismos (Safina, 2003) y movimientos en masa (Servicio Geológico Colombiano, 2015). Según Jakob et al. (2011), para la evaluación de los daños generados por una avenida torrencial se deben tener en cuenta factores como la estructura, el material y la geometría de un edificio.

Más estudios de caso pueden ayudar a las personas a entender las características y los patrones de daños a las edificaciones y elementos de las redes vitales, con el objeto de definir un modelo cuantitativo de evaluación de la vulnerabilidad. Por ejemplo en la investigación adelantada por (Sepúlveda et al., 2016) sobre flujos de detritos, los daños acaecidos sobre las edificaciones se plantearon en función de las variables exposición y resistencia. La exposición involucra el tipo de evento y la ubicación de las viviendas frente al flujo, la resistencia implica la calidad y las propiedades de las edificaciones según su tipología.

Para efectos de esta investigación se definió el daño como el deterioro físico de los diferentes elementos vulnerables, incluyendo las personas y las edificaciones, así como el estado de uso y servicio de las edificaciones luego de una avenida torrencial (adaptado de Yépez (1996)). Según (Yépez, 1996), una edificación puede sufrir deterioro estructural cuando se ven afectados elementos del sistema resistente tales como pilares, vigas o muros lo cual depende de las características de los materiales que los componen, su configuración y ensamblaje. También puede presentar deterioro no estructural o afectación de elementos arquitectónicos (sistemas mecánicos, eléctricos, sanitarios y contenidos de la edificación).

2. METODOLOGÍA

La metodología de investigación se desarrolló en ocho fases como se aprecia en la **Figura 3**:

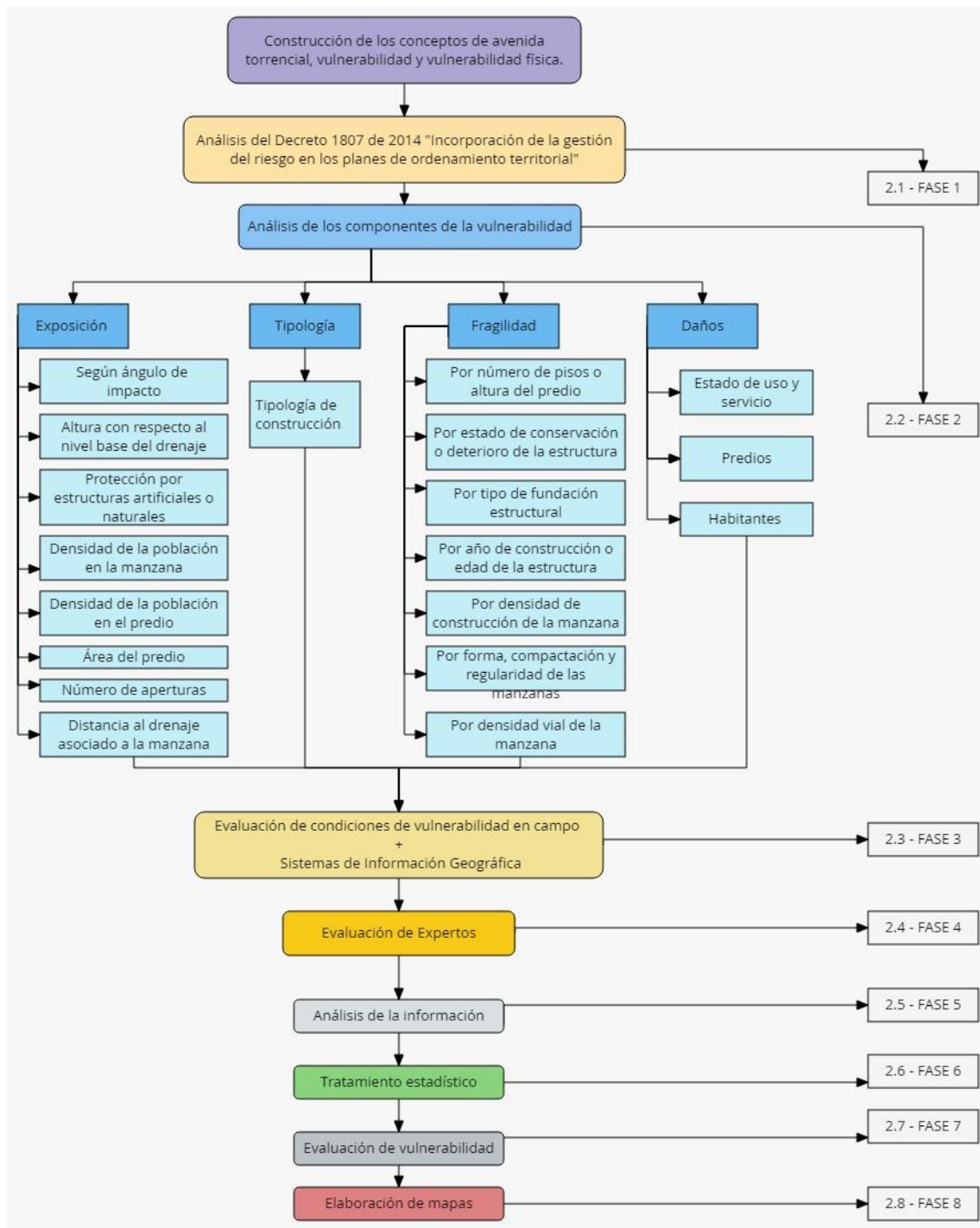


Figura 3. Metodología de investigación

Fuente: Elaboración propia

2.1 Fase 1. Análisis de la normatividad Decreto 1807 de 2014

Se define la vulnerabilidad a partir de los resultados del proyecto titulado “Consultoría de estudios y diseño para la implementación del sistema de alerta temprana por avenidas torrenciales en la microcuenca de la quebrada la Liboriana, quebrada La Clara y Río Barroso del municipio de Salgar (Antioquia)” elaborado por la Universidad Javeriana en el año 2016 por solicitud de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo (UNGRD) posterior al desastre del Municipio de Salgar (UNGRD & Universidad Javeriana, 2016) y se toma la decisión de trabajar en la evaluación de los aspectos físicos de la vulnerabilidad en detalle, tal como se propone en el Decreto 1807 de 2014 sobre la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial.

2.2 Fase 2: Análisis de los componentes exposición, tipología, fragilidad y daños

Se realiza un proceso inicial de selección de variables que deberían ser incluidas en cada componente, partiendo de las investigaciones de diferentes autores que contemplaron en sus estudios diferentes amenazas como sismos, inundaciones, movimientos en masa, entre otras (Jakob et al., 2011; PNUD, 2012; Rodríguez-Gaviria, 2016; Safina, 2003; Sepúlveda et al., 2016; Servicio Geológico Colombiano, 2015; Thouret et al., 2014; UNGRD & Universidad Javeriana, 2016; Yépez, 1996). En esta fase se realizaron ejercicios de discusión para encontrar aquellas variables que pudiesen adaptarse a las avenidas torrenciales.

2.2.1 Variables de exposición

Para las variables de exposición asociadas a aspectos ambientales, de población y de la vivienda se seleccionaron las siguientes variables con base en diferentes autores: (Martínez et al., 2007, Servicio Geológico Colombiano, 2015, Barredo & Engelen, 2010; Bendimerad, 2001, Fekete, 2010, Apel, Thieken, Merz, & Blösch, 2004; Bohórquez, 2013, Rodríguez-Gaviria, 2016, Vega & Díaz, 2013), específicamente Thouret et al., (2014a) para las variables ángulo de impacto y altura respecto al nivel base del drenaje.

El **ángulo de impacto**, sirve para evaluar la susceptibilidad de una edificación de ser afectada dependiendo de la ubicación de la edificación respecto al drenaje y ángulo de impacto de la avenida torrencial. Se analiza la relación espacial del elemento vulnerable respecto al drenaje y depende de si el ángulo entre ambos elementos es paralelo, oblicuo o perpendicular, además de considerar si el elemento vulnerable está en la primera fila o más distante (Thouret et al., 2014a).

En la **Figura 4** se observan las diferentes posibilidades que se pueden presentar con imágenes tomadas en el municipio.

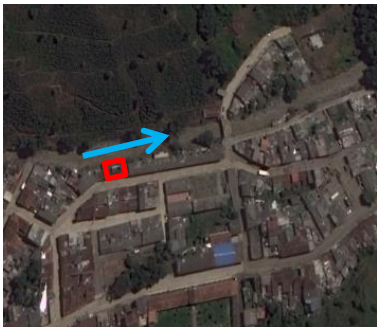
ÁNGULO DE IMPACTO		
Ángulo paralelo, predio a lo largo de la primera fila del drenaje	Ángulo oblicuo, predio a lo largo de la primera fila del drenaje	Ángulo perpendicular, predio a lo largo de la primera fila del drenaje
		
Ángulo paralelo, predio distantes del drenaje	Ángulo oblicuo, predio distantes del drenaje	Ángulo perpendicular, predio distantes del drenaje
		

Figura 4. Variable ángulo de impacto

Fuente: Imágenes tomadas en el municipio de Salgar

La **altura respecto al nivel base del drenaje**, considera la ubicación del elemento vulnerable en las distintas terrazas aluviales del drenaje objeto de estudio. Esta variable determina la vulnerabilidad asociada a la elevación respecto al nivel base del drenaje en relación a terrazas aluviales con los rangos adoptados de Thouret et al. (2014a) según la siguiente clasificación:

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

Exposición asociada a la presencia de elementos naturales como árboles y/o rocas o elementos artificiales como muros, otras edificaciones y/o cualquier objeto que amortigüe u obstaculice el paso de la avenida torrencial y le brinde **protección a la edificación**. Las posibilidades establecidas en esta investigación se pueden ver en la **Figura 5** y son:

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

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN			
Árboles	Muro de protección		Puente
	 		
Otra vivienda	Arenera	Establo	Pesebrera
			

Figura 5. Variable elementos de protección

Fuente: Imágenes tomadas en el municipio de Salgar

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

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

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

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

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

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

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

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

1. De 1 a 2 ventanas expuestas en fachada
2. De 3 a 4 ventanas expuestas en fachada
3. De 4 a 5 ventanas expuestas en fachada
4. Más de 5 ventanas expuestas en fachada
5. Sin ventanas expuestas en fachada

Número de aperturas (puertas) en la fachada más expuesta: la exposición estará asociada al número de puertas localizadas en la fachada más expuesta al impacto de la avenida torrencial.

Para esta variable se tienen en cuenta elementos como puertas por cada vivienda así:

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

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

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

2.2.2 Variables de tipología

Se determina mediante una sola variable tras el análisis de diferentes autores (Hernandez Atencia & Ramírez Arcila, 2016; PNUD, 2012; Rodríguez-Gaviria, 2016; Servicio Geológico Colombiano, 2015; Thouret et al., 2014; Universidad Católica de Oriente, 2014) e incluye aspectos como el reforzamiento de la estructura, el tipo de material utilizado en su construcción y su calidad véase la **Figura 6**.

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

Figura 6. Variable tipología

Fuente: Imágenes tomadas en el municipio de Salgar

Las descripciones de la tipología definidas se explican a continuación:

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

2.2.3 Variables de fragilidad

Para las variables de fragilidad asociadas a las características físicas de la vivienda se seleccionaron las siguientes variables basadas en diferentes autores (Martínez et al., 2007, MOVE, 2011, Servicio Geológico Colombiano, 2015, García, 2015) y Thouret et al. (2014a) específicamente para las variables a escala de manzana.

El **número de pisos o altura de la edificación** es la cantidad de pisos de la edificación, la cual determina la cercanía del piso al nivel del suelo (ver la **Figura 7**). Las opciones definidas son:

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

ALTURA DE LA EDIFICACIÓN / NÚMERO DE PISOS			
1 piso	2 pisos	3 pisos	4 pisos o más
			

Figura 7. Variable altura de la edificación

Fuente: Imágenes tomadas en el municipio de Salgar

El **estado de conservación o deterioro de la estructura** es el deterioro de las propiedades mecánicas de los materiales lo cual determina su resistencia a las amenazas. En la **Figura 8** se pueden observar las diferentes representaciones de este componente.

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

Figura 8. Variable estado de conservación del predio

Fuente: Imágenes tomadas en el municipio de Salgar

Estas se pueden describir así:

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

El **tipo de fundación estructural** es la susceptibilidad en la edificación de ser afectada dependiendo de presencia o ausencia de cimentación y la altura desde el suelo. En la **Figura 9** se pueden apreciar las distintas formas de cimentaciones presentes.

FUNDACIÓN ESTRUCTURAL / CIMENTACIÓN		
Con losa de cimentación	Elevada en pilotes/columnas	Sin cimentación
		

Figura 9. Variable tipo de fundación estructural

Fuente: Imágenes tomadas en el municipio de Salgar

Las posibilidades de cimentaciones son:

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

La variable **año de construcción o edad de la edificación** se encuentra asociada a la posible resistencia de la estructura dada por su edad y posible relación con códigos de construcción apropiados (ver la **Figura 10**), tales como las normas de sismo resistencia que se han definido en Colombia (Decreto 1400 de 1984, NRS98 y NRS10, García, 2015).

EDAD DE LA VIVIENDA			
Antes de 1989 (Más de 28 años)	Entre 1989 y 1998 (Entre 19 y 28 años)	Entre 1998 y 2009 (Entre 8 y 19 años)	Entre 2010 y actual (Menos de 7 años)
			

Figura 10. Variable edad de la vivienda

Fuente: Imágenes tomadas en el municipio de Salgar

La clasificación de las viviendas por edad es la siguiente:

1. Antes de 1989 (más de 28 años)
2. Entre 1989 y 1998 (entre 19 y 28 años)
3. Entre 1998 y 2009 (entre 8 y 19 años)
4. Entre 2010 y presente (menos de 7 años)

En cuanto a la **fragilidad a escala de manzana**, se retoma lo propuesto por Thouret et al. (2014a) en el estudio de avenidas torrenciales realizado en Perú. Esta categoría se divide en las siguientes variables que también se pueden apreciar en la **Figura 11**:

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

Forma, compactación y regularidad de los límites de la manzana: establece la fragilidad de la manzana según la forma, compactación y regularidad de los límites de esta, siendo más frágil las manzanas de forma regular, cuadriculada o rectangular.

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

Fragilidad por densidad de construcción de la manzana	Forma, compactación y regularidad de los límites de la manzana	Densidad vial de la manzana
 Parcialmente construido, con algunos espacios libres	 Construcciones similares en un 75% pero manzana con forma irregular	 Sin calles dentro de la manzana, pero rodeado por calles anchas
 Pocas edificaciones esparcidas	 Forma de la manzana irregular y con irregularidades en los límites de la manzana	 Pocas calles dentro de la manzana, y rodeado por calles estrechas

		
Totalmente construido, algunos parqueaderos, patios y/o jardines	Forma de la manzana muy compleja, con edificios fuera de los límites de la manzana.	Densamente construido sin calles dentro de la manzana o edificios dispersos como en áreas rurales
		
Sin construcciones	Forma compacta de la manzana con algunas irregularidades	*Edificios distanciados entre ellos y manzanas entrecruzadas por varias calles



Figura 11. Fragilidad a escala de manzana

Fuente: Imágenes tomadas en el municipio de Salgar e *imágenes tomadas de Thouret et al. (2014a)

2.2.4 Variables de daños

Para las variables de daños asociadas a el estado post evento de la vivienda y sus habitantes se seleccionaron las siguientes variables basadas en diferentes autores (Jakob et al., 2011; Thouret et al., 2014a, Safina, 2003, Servicio Geológico Colombiano, 2015, Sepúlveda et al., 2016, Yépez, 1996).

Estado de uso y servicio, toma en cuenta la relación entre el tipo de daños sufrido por la edificación y la necesidad de reparaciones, así como su condición de prestar servicios y ser ocupada. Su clasificación se presenta a continuación (Safina, 2003):

1. No requiere intervención, puede ser ocupada
2. Requiere intervención, reparaciones menores a moderadas y puede ser ocupada
3. No es reparable, se requieren medidas para prevención de colapso y debe evacuarse de inmediato
4. Colapso

Daños a edificaciones, esta variable fue adaptada de la propuesta por Jakob, Stein, & Ulmi (2012) en la cual se clasifica el daño de manera cualitativa considerando la afectación a elementos estructurales y/o no estructurales según el daño observado, posterior a un evento, teniendo en cuenta el porcentaje de pérdidas y las posibilidades de reparación o reconstrucción y presencia de sedimentos. Su clasificación se presenta en:

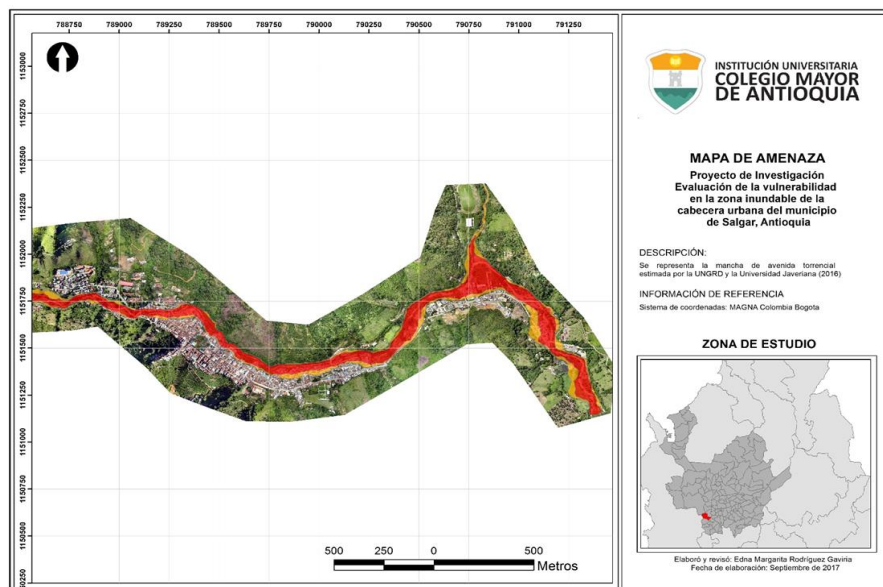
1. Sin daño, no existe daño, no hay sedimentos que entren a la edificación.
2. Algunos sedimentos y agua ingresan al primer piso o sótano de la edificación. Requiere renovación por daños a elementos no estructurales, se presentan hasta 25% de pérdidas.
3. Algunos elementos estructurales de soporte son dañados y pueden ser reparados con grandes esfuerzos, se presentan 25-75% de pérdidas.
4. Daños a elementos estructurales tales como las fundaciones de la edificación. Algunas paredes y columnas requieren reconstrucción completa, se presentan pérdidas mayores de 75% de pérdidas.
5. Estructura completamente destruida y/o transportada de su ubicación original, pérdida del 100%.

Daños a habitantes, niveles de daño en materia de pérdidas probables de vidas, de lesiones corporales o impactos psicológicos, asociadas con los niveles de daño de las edificaciones, previamente evaluados, posteriores a un evento.

1. Habitantes muertos o con heridas serias
2. Habitantes con heridas moderadas
3. Habitantes con heridas muy leves o con afectaciones psicológicas
4. Habitantes no afectados

2.3 Fase 3: Evaluación de condiciones de vulnerabilidad en campo y oficina

Para evaluar las condiciones de vulnerabilidad se emprendieron una serie de actividades previas para la obtención de datos en campo: inicialmente se analizó la información sobre la amenaza proveniente del estudio “Consultoría de estudios y diseño para la implementación del sistema de alerta temprana por avenidas torrenciales en la microcuenca de la quebrada La Liboriana, Quebrada La Clara y Río Barroso del Municipio de Salgar, Antioquia” (UNGRD & Universidad Javeriana, 2016). En el Mapa 2 se representan las manchas por amenaza alta y media (de color rojo y naranja respectivamente) que fueron elaboradas en el estudio de la Universidad Javeriana (2016).



Mapa 2. Mapa de amenaza por avenida torrencial
Fuente: Mancha de inundación tomada de la Universidad Javeriana (2016)

Posteriormente se procede a realizar un premuestreo superponiendo la información disponible de construcciones que se encuentran localizadas dentro de las zonas media y alta inundables. A continuación se realiza el muestreo siguiendo el método probabilístico de Bartlett, Kotrlik, & Higgins (2001) en donde el tamaño de la muestra necesario en la zona de estudio para alcanzar el criterio del 3% de margen de error relativo corresponde al 10% de las viviendas u hogares. Adicionalmente, ese porcentaje se aumentó un poco más a fin de que el tamaño de la muestra se conservara y no se presentara un sesgo y así se pudieran incluir aquellos hogares sin respuesta o aquellos en los que presentase algún inconveniente para realizarla.

Para evaluar las condiciones de vulnerabilidad física se diseñó una encuesta para recopilar la información en campo mediante el software de libre acceso Open Data Kit-ODK (Universidad de Washington, 2015).

Esta herramienta consta de 3 aplicaciones (ver la **Figura 12**): el ODK Build para el diseño del cuestionario ordenado y claro, para recopilar información en campo con la aplicación ODK Collect y la aplicación ODK Aggregate necesaria para almacenar dicha información a través de un servidor online que finalmente permite procesar y tabular los datos (Ver Anexo 1).

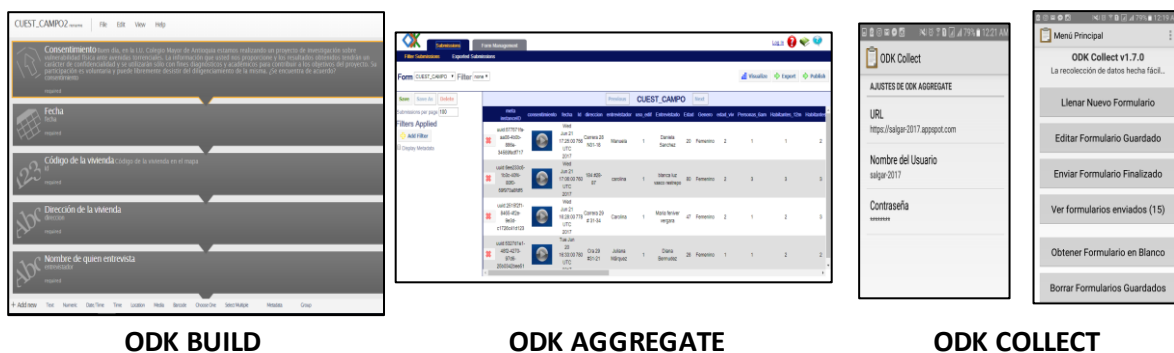


Figura 12. Aplicaciones de ODK
Fuente: ODK del proyecto

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

Las variables ángulo y posición en el que se encuentra la edificación, altura y distancia en metros respecto al drenaje (véase el Anexo 2), densidad vial, densidad de construcción, forma, compactación y regularidad de la manzana se evaluaron a través de la observación en ortofoto disponible para el proyecto.

Además, partiendo del compilado de viviendas afectadas suministrada por el DAPARD (2015) en el reporte Código: FO-M4-P1- 018 y con la herramienta Google Street View o fotografía aérea de la cabecera urbana del municipio para identificarlos y posteriormente verificarlos en campo, se realiza una clasificación previa de los daños en cada uno de los predios asignando una calificación de alto, medio y bajo a cada una de las variables estado de uso y servicio, daños a edificaciones y daños a habitantes.

2.4 Fase 4: Evaluación de expertos

Con el fin de evaluar la importancia de cada variable en la estimación de las condiciones físicas de la vulnerabilidad, se realiza una encuesta dirigida a expertos en gestión del riesgo desde diversas profesiones de la ingeniería (ambiental, civil y geológica).

Esta fase consiste en preparar un formulario de encuesta y buscar la colaboración de expertos con amplia trayectoria en los diversos procesos de la gestión del riesgo y que tuvieran la disponibilidad y voluntad para participar en un proceso de consulta y calificación cualitativa de las variables físicas de vulnerabilidad en sus 4 componentes.

Durante esta fase, se realizó un proceso denominado exploración del conocimiento en donde se explica a los expertos el modelo conceptual de la investigación, la necesidad de proporcionar un valor en la escala de medición correspondiente a cada variable y las relaciones entre las variables y los factores relevantes que podrían afectar el valor de su estimación.

El formulario que fue elaborado con la aplicación “formularios” de Google contiene 15 secciones que se resumen así: se inicia con la presentación del proyecto, seguida por las definiciones establecidas en el desarrollo de la investigación para poner a los encuestados en contexto, después de esto, se solicitó a los encuestados calificar las variables de los componentes, con un valor de 0 a 1 (de menor a mayor vulnerabilidad), y finalmente se solicita establecer un rango de vulnerabilidad para las clasificaciones alto, medio y bajo, siguiendo los parámetros anteriores (Ver Anexo 3).

2.5 Fase 5: Complejidad y análisis de la información

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

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

2.6 Fase 6: Tratamiento estadístico

Una vez realizadas las respectivas encuestas en campo, se procede a realizar el análisis de frecuencias por medio de tablas dinámicas del software Microsoft Excel. Dicho análisis se elaboró para cada una de las variables con el objetivo de recopilar información sobre el número de predios que se encuentran en igualdad de condiciones y observar tendencias y comportamientos.

Además, debido a la importancia que tienen las variables según los objetivos de la investigación y como parte esencial del tratamiento estadístico se realiza un análisis de correspondencia múltiple (ACM) que permite trabajar datos categóricos. El ACM resume la información contenida en una

tabla de contingencia, la cual está compuesta por los datos de frecuencia de aparición de las variables en un conjunto de elementos (predios encuestados) y lo interpreta como un procedimiento objetivo de asignar valores numéricos a variables cualitativas, que en para esta aplicación son las calificaciones de alto, medio o bajo asignadas a cada variable.

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

Cada dimensión en el espacio euclidiano resultante tiene asociado un porcentaje de la variación o de la inercia del sistema en estudio. Estos porcentajes están dados por los valores propios arrojados por el método. En cada dimensión hay una importancia relativa de las variables estudiadas, y es de esta forma como se clasifican los aportes particulares de cada una de las variables (Rodríguez-Sabate, Morales, Sanchez, & Rodriguez, 2017; Sourial et al., 2010).

2.7 Fase 7: Evaluación de la vulnerabilidad

Para establecer la vulnerabilidad de los predios, se analizaron los datos obtenidos del ACM, principalmente las contribuciones de cada dimensión a la variabilidad total de los datos y la de cada una de las variables dentro de dicha contribución por dimensión. Para la estimación del indicador de la vulnerabilidad se tiene en cuenta la suma de las contribuciones por dimensión de cada una de las variables y multiplicándolas por el aporte de cada dimensión, repitiendo esta operación para cada uno de los porcentajes de contribución para cada una de las tres dimensiones analizadas. Como se puede apreciar en la Fórmula 1. Finalmente se realiza una sumatoria de los datos obtenidos obteniéndose así un valor total que representa el Indicador de Vulnerabilidad (IV) para cada uno de los predios.

$$IV = \% \text{Dimensión}_1 (\% \text{Variable}_i + \% \text{Variable}_{i+1} + \dots \% \text{Variable}_n) + \% \text{Dimensión}_2 (\% \text{Variable}_i + \% \text{Variable}_{i+1} + \dots \% \text{Variable}_n) + \% \text{Dimensión}_3 (\% \text{Variable}_i + \% \text{Variable}_{i+1} + \dots \% \text{Variable}_n); \text{ donde } n = \#$$

de variables

Fórmula 1. Indicador de la vulnerabilidad

Fuente: Elaboración propia

Para clasificar la vulnerabilidad de los predios en alta, media y baja, se utiliza la distribución por cuartiles, de esta manera los predios que tienen un indicador de vulnerabilidad (IV) dentro del primer cuartil son identificados con condiciones de vulnerabilidad física alta, y los predios con IV correspondientes al tercer cuartil se clasifican con condiciones de vulnerabilidad física baja. Los predios restantes, incluyendo los que tiene valores dentro de la media y la mediana se consideran con condiciones de vulnerabilidad física media.

2.8 Fase 8: Elaboración de mapas

Por medio del software ArcGis, se representaron los resultados obtenidos en la fase anterior sobre la cartografía, añadiendo, a través de la herramienta Join dichos resultados a la tabla de atributos de los predios evaluados y clasificándolos a través de un sistema de colores en el que la vulnerabilidad alta se representa por medio del color rojo, la media a través del amarillo y la baja utilizando el color verde.

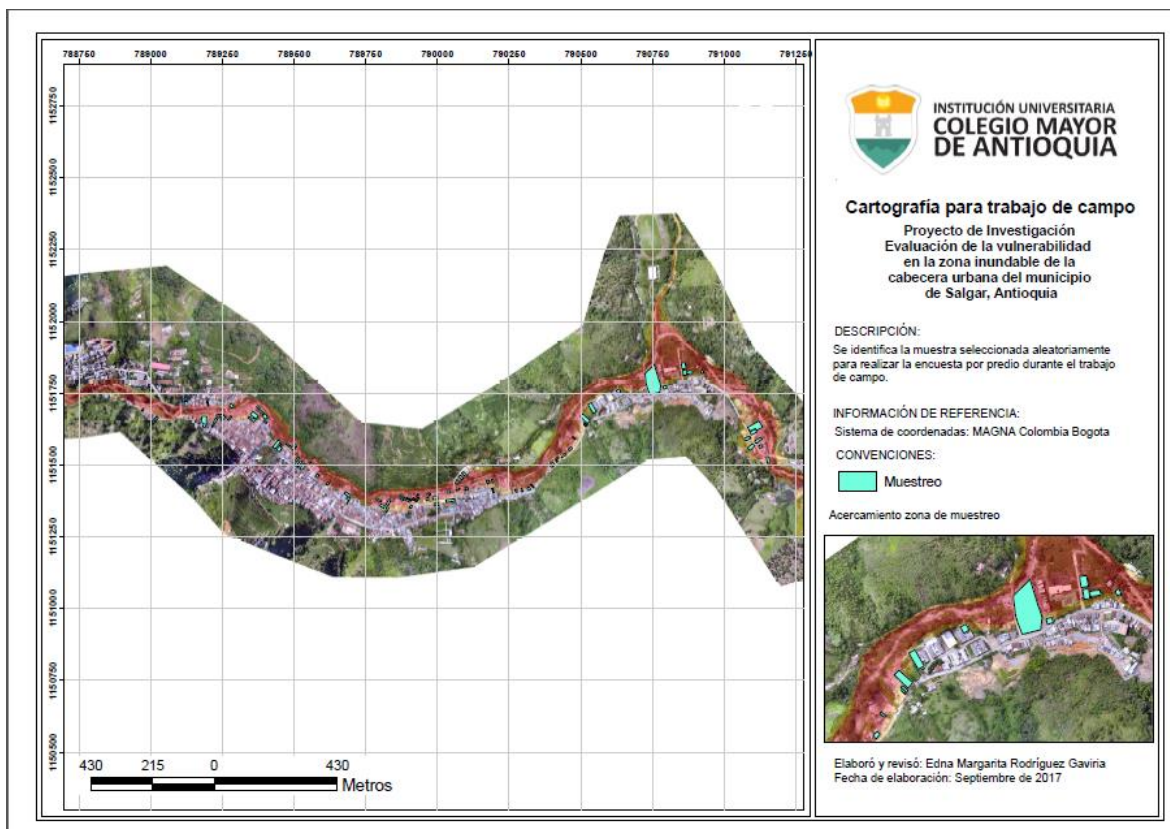
Posteriormente, se hace un análisis de homogeneidad o moda de los resultados de los predios por manzana, para evaluar la posibilidad de extrapolar la información a escala de manzana, de acuerdo con la definición cartográfica del catastro municipal.

3. RESULTADOS

Durante el análisis de la información recolectada, se obtuvo diferentes resultados como la clasificación de las variables en alto, medio y bajo y la generación de un rango para ellas, como se observa en el Anexo 4, para finalmente obtener la clasificación de todas las variables para cada predio, estimar el indicador de vulnerabilidad y elaborar los mapas.

3.1. Tratamiento estadístico

En primera instancia se obtuvo el **Mapa 3** con los predios seleccionados para ser encuestados:



Mapa 3. Cartografía para trabajo de campo

Fuente: Propia del proyecto

Para el análisis estadístico se obtuvo el siguiente análisis de frecuencia para los 93 predios evaluados, brindando una idea de las características generales de la zona urbana de Salgar por variable. De los 93 predios encuestados el 83,87% son de uso residencial y el 11,83% de uso comercial. Para los usos educación, industrial, salud y otro se encontró un 1,08% respectivamente (**Figura 13**).

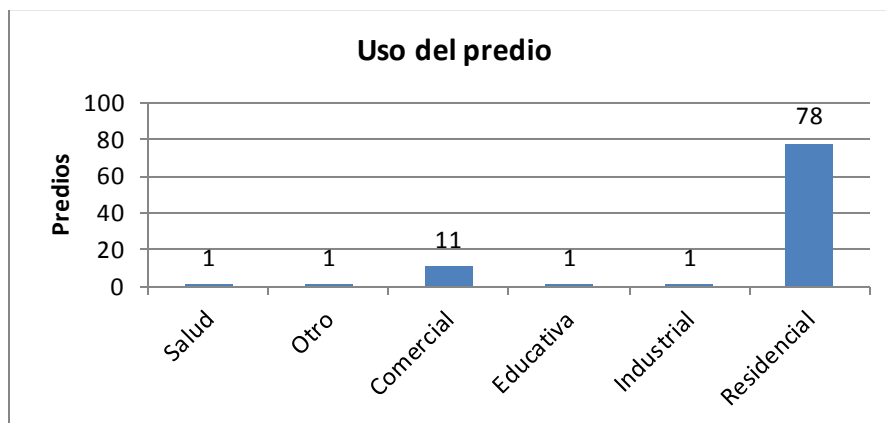


Figura 13. Resultados uso del predio

De 93 predios encuestados el 64,5% fue construido hace más de 28 años, el 11,8% fue construido entre hace 8 y 19 años, 7,5% entre 19 y 28 años, 7,5% de los predios evaluados tiene menos de 7 años de construidos y en 8,7%, 8 predios el encuestado no tenía conocimiento (**Figura 14**).

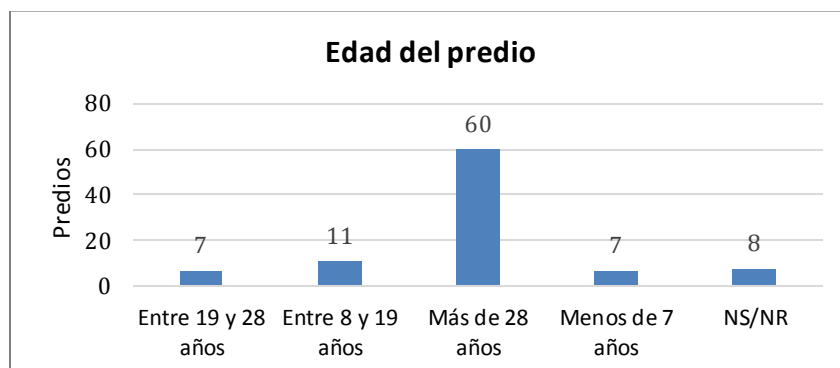


Figura 14. Resultados edad del predio

Analizando la afectación que sufrieron los predios en el evento de avenida torrencial ocurrida en el año 2015, se observa que, de los 93 predios encuestados, 59 no presentaron ninguna pérdida en su infraestructura, a tal punto que ni siquiera entraron sedimentos a la edificación. Seguido a esto se encontró que 25 predios presentaron pérdidas hasta del 25%, lo cual implicó realizar reparaciones puesto que algunos elementos estructurales de soporte fueron dañados, sólo 2 viviendas sufrieron una pérdida del 100% de su estructura y 4 predios tuvieron pérdidas entre el 25% y 75% en su estructura. De 3 predios no se pudo obtener información en cuanto a pérdidas relacionadas con el evento del 2015 ya que las personas que ahora lo habitan no vivían allí en ese momento (**Figura 15**).

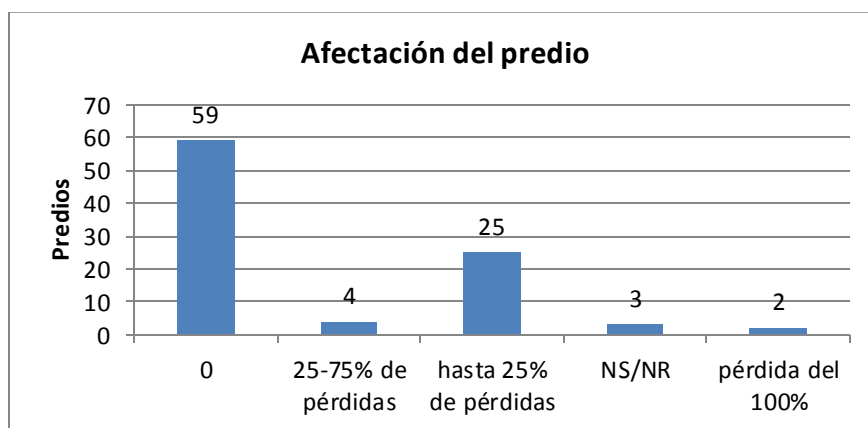


Figura 15. Resultado afectación del predio

El 81,72% de los predios observados no requirieron intervención y pudieron ser ocupados inmediatamente, el 11,83% requirieron intervención con reparaciones en áreas que podrían haber puesto en riesgo la seguridad de las personas, pero fue habitable después de las reparaciones, el 1,08% lo que equivale a un predio, quedó totalmente destruido y el 2,15% no fue reparable, se requirió tomar medidas para prevenir su colapso, hubo que evacuar inmediatamente (**Figura 16**).

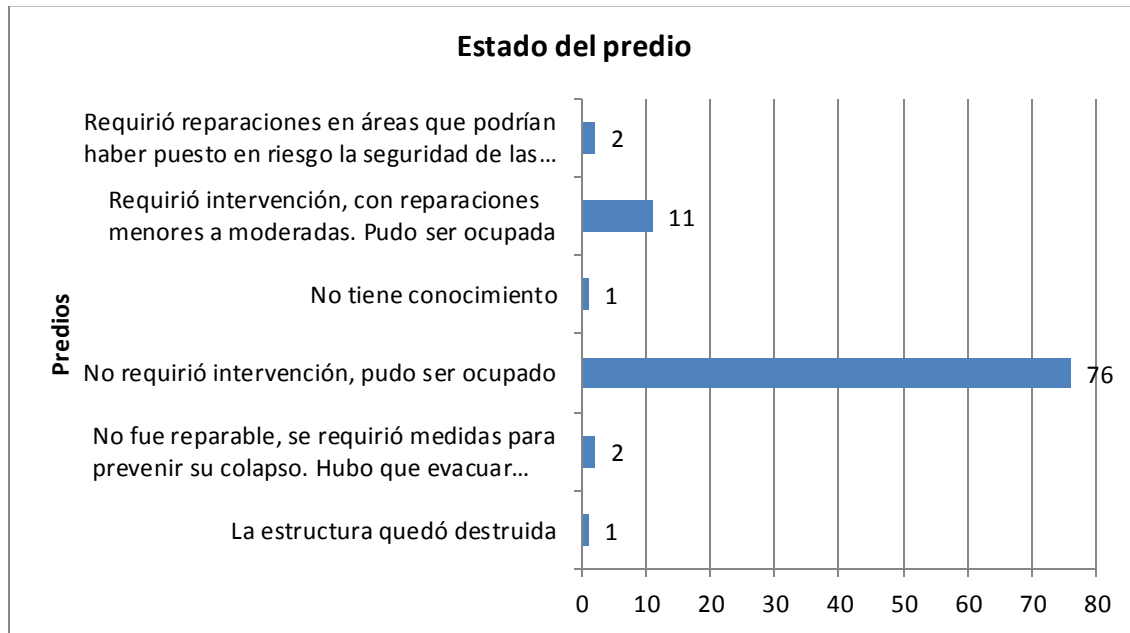


Figura 16. Resultado estado del predio.

Un punto muy importante que se encontró en este análisis es que la mayoría de los habitantes no fueron afectados físicamente durante el evento del 2015, este valor equivale a 91 predios de los 93 encuestados, los habitantes restantes sufrieron heridas muy leves (**Figura 17**).

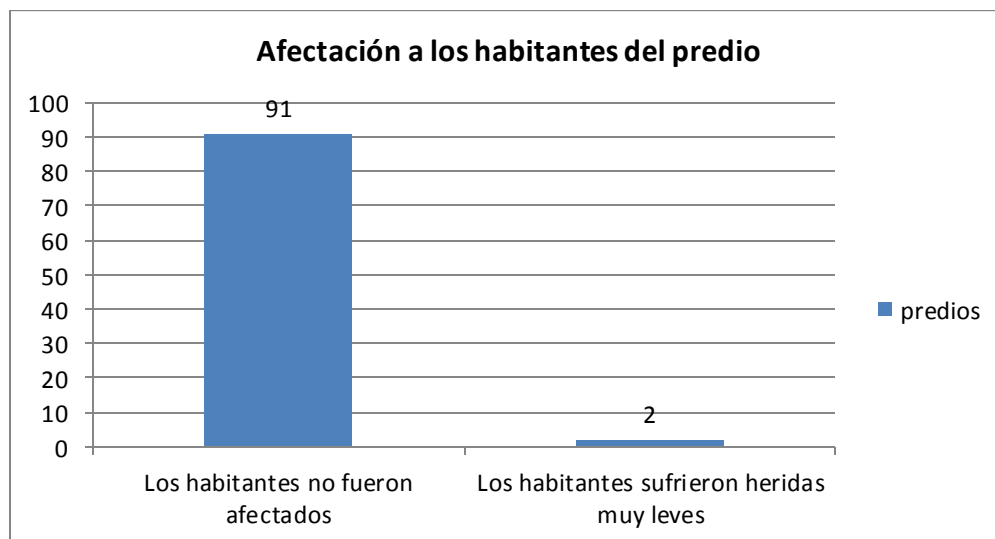


Figura 17. Resultado afectación a los habitantes

Observando la gráfica resultante del análisis estadístico, se concluye que 53 predios presentan una tipología B, lo cual indica que el predio se encuentra construido con mampostería reforzada. También se observa que los predios tipo A los cuales cuentan con reforzamientos estructurales que le dan una mayor estabilidad corresponden a 10 predios. Los predios restantes se encuentran categorizadas con tipología C (17 predios) los cuales presentan un confinamiento deficiente, tipo D (11 predios), que son aquellas con estructuras ligeras y construidas con materiales tradicionales o de baja calidad y tipo E (2 predios) que son construcciones simples, representan el menor número de los 93 predios encuestados (**Figura 18**).

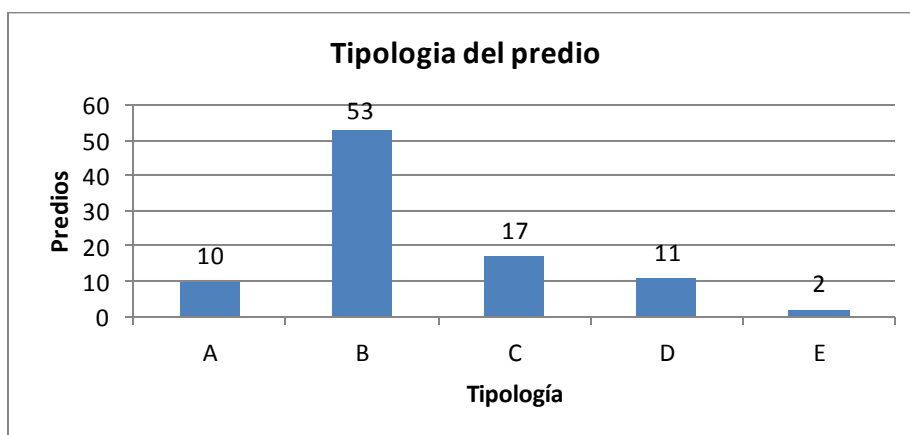


Figura 18. Resultado tipología del predio

El 47,31% de los predios encuestados cuentan en sus instalaciones con 1 piso, el 40,86% con 2 pisos el 6,45% con 3 pisos y el 5,38% con 4 pisos o más (**Figura 19**).

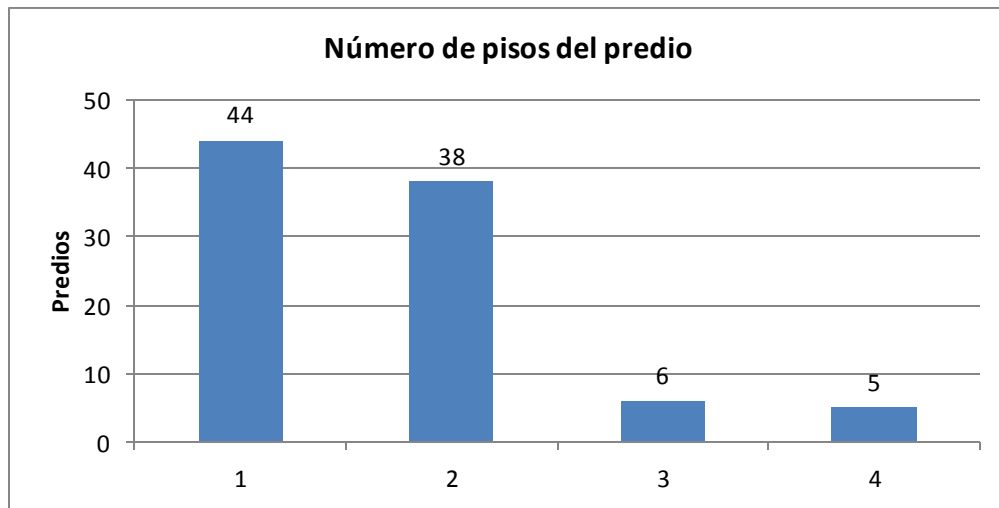


Figura 19. Resultado altura del predio

El 91,40% de los predios encuestados presentan construcciones con losa de cimentación, el 7,53% sin cimentación y el 1,33% presenta la construcción elevada en pilotes/columnas (**Figura 20**).

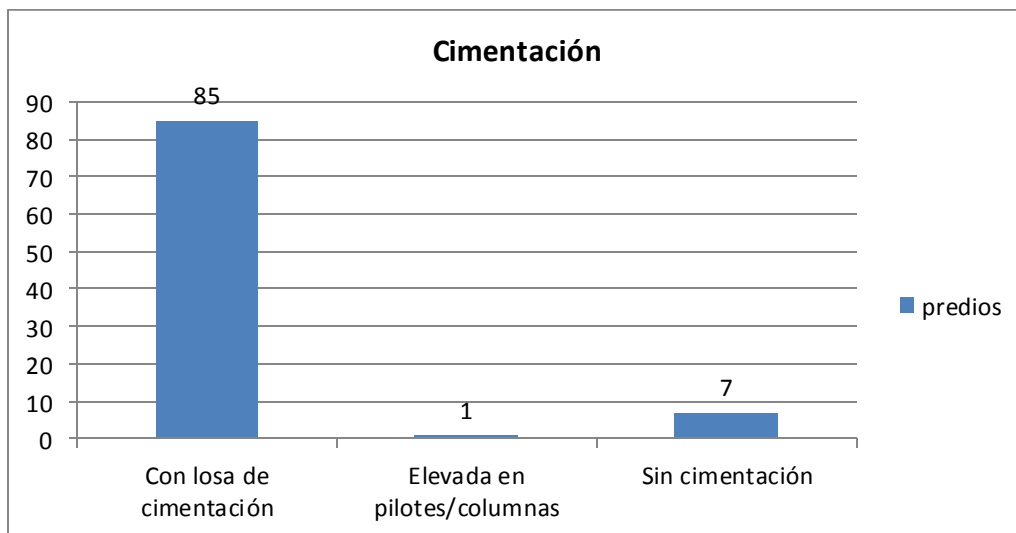


Figura 20. Resultado fundación estructural

El 68,82% de los predios observados no presentaron deformaciones (A), el 19,35% presentaron daños superficiales no estructurales leves (grietas de 0-0,5 mm) (B), el 9,68% presentaron fisuras leves en juntas horizontales (grietas de 0,5-1 mm) (C) sin afectación de la estabilidad y el 2,15%

deformaciones severas, mampostería y concreto con fallas por aplastamiento (grietas de $>10\text{mm}$) (Figura 21).

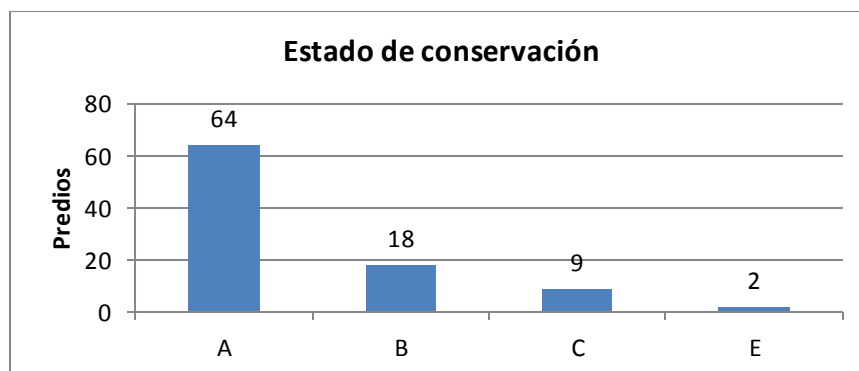


Figura 21. Resultado estado de conservación del predio

El 48,39% de los predios encuestados presentaron un área entre $51\text{-}100\text{ m}^2$, el 30,11% presentaron un área entre $10\text{-}50\text{ m}^2$ y el 21,51% presentaron áreas de más de 100 m^2 (Figura 22).

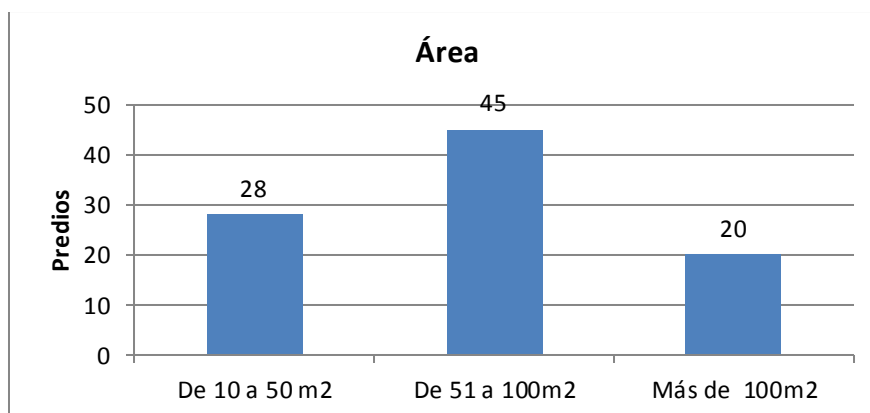


Figura 22. Resultado área del predio

Los resultados de la variable puertas expuestas arrojan que de los 93 predios evaluados 58 (62,37%) tienen de 1 a 2 puertas expuestas al cuerpo de agua, representando este el mayor porcentaje, 32 predios no tienen puertas expuestas, un predio tiene de tres a cuatro puertas y dos predios tienen más de 4 puertas expuestas. Así que se concluye que la mayoría de los predios tienen de una a dos puertas expuestas, mientras que casi todo el resto de los predios no tiene puertas expuestas (Figura 23).

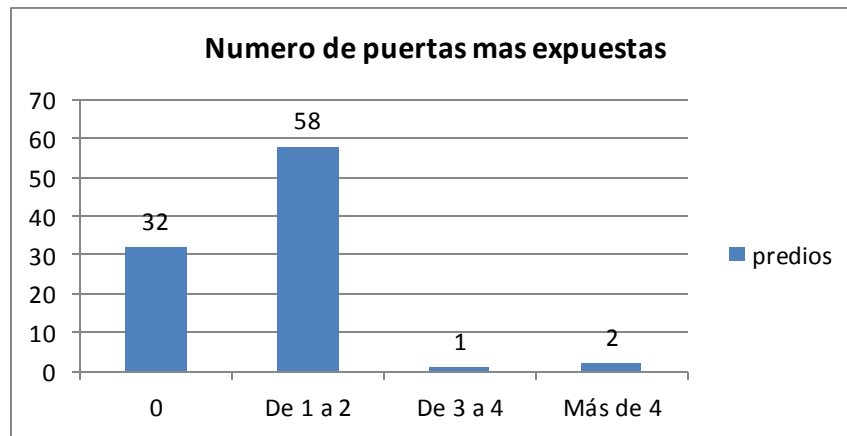


Figura 23. Resultado puertas expuestas

De los 93 predios encuestados, 48 tienen mínimo una ventana en su fachada más expuesta y no más de 2 ventanas expuestas, 37 no tiene ninguna ventana en su fachada más expuesta, tres predios poseen de 3 a 4 ventanas en su fachada más expuesta y cinco predios poseen más de 4 ventanas en su fachada más expuesta (**Figura 24**).

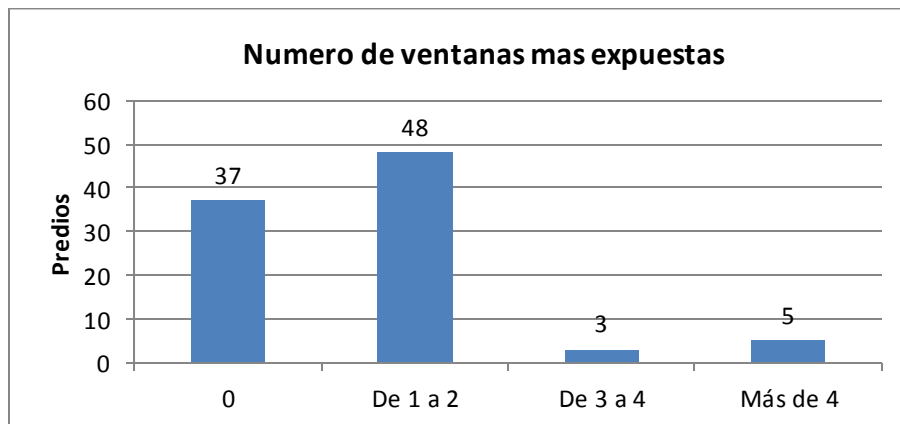


Figura 24. Resultado ventanas expuestas

De los 93 predios encuestados, 62 cuentan con elementos de protección, mientras los 31 restantes no cuentan con elementos de protección (**Figura 25**).

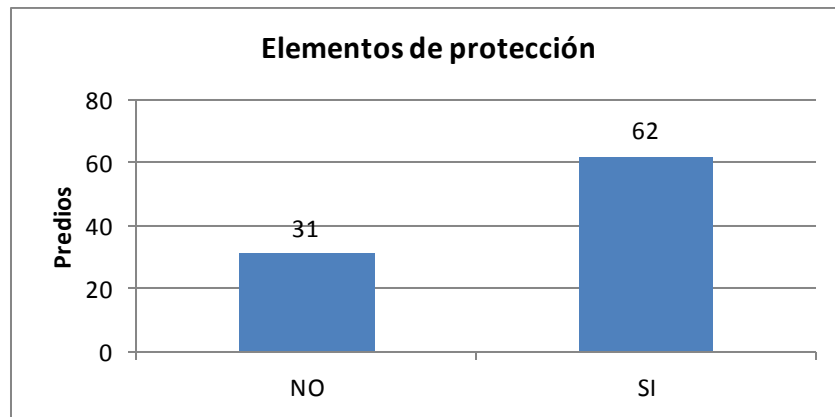


Figura 25. Resultado elementos de protección

De los 93 predios encuestados 40 están ubicados en la segunda terraza, 33 en la primera terraza, 19 están ubicados en la parte más baja, es decir, sobre el cauce y 1 predio está ubicado en la tercera terraza (**Figura 26**).

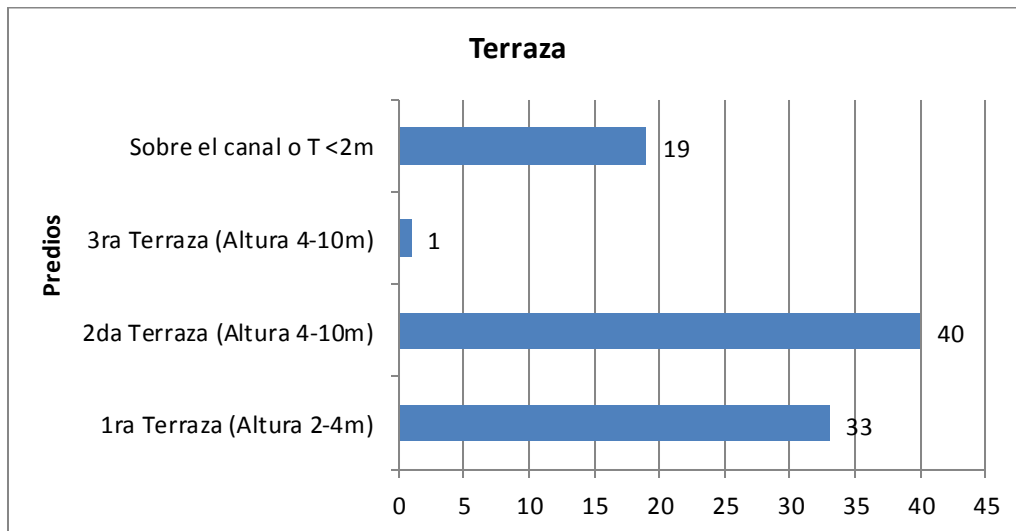


Figura 26. Resultado terraza

De los 93 predios encuestados, 56 se encuentran ubicados en la primera fila a lo largo del drenaje y 37 están distantes a este; también resultó que el ángulo de impacto más repetitivo es el ángulo paralelo al drenaje con 51 edificaciones posicionados en este, 34 en ángulo oblicuo y 8 en ángulo perpendicular (**Figura 27**).

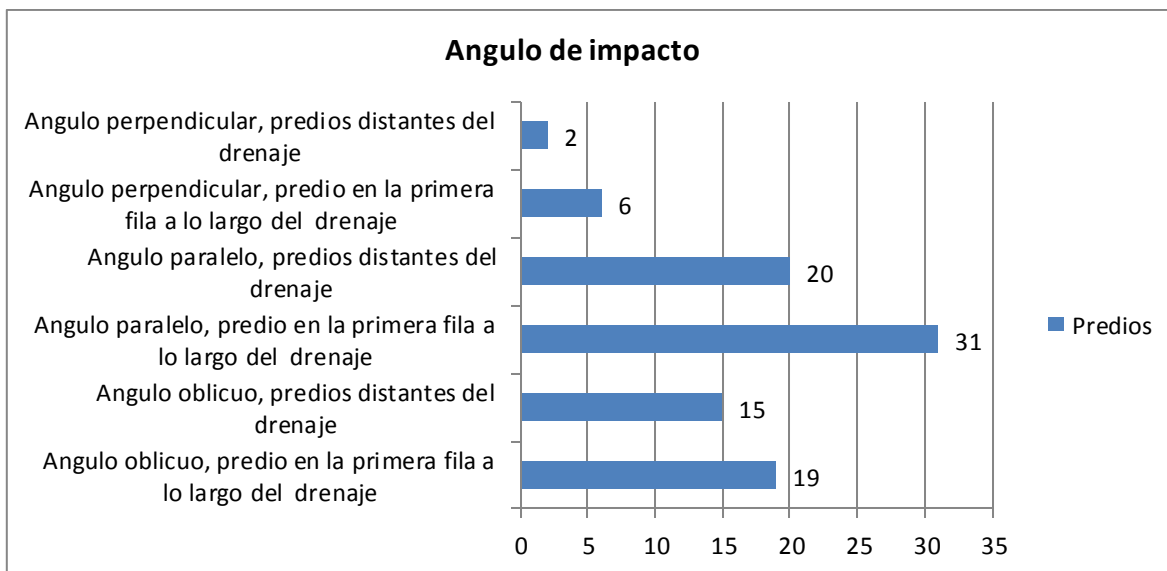


Figura 27. Resultado ángulo de impacto

De los 93 predios encuestados, 33 están ubicados a una distancia de 15 a 30 metros, 26 predios a una distancia de 0 a 15 metros, 21 predios están entre 30 y 50 metros del cauce, 12 predios están separados entre 50 y 100 metros del cauce y únicamente uno está a más de 100 metros (**Figura 28**).

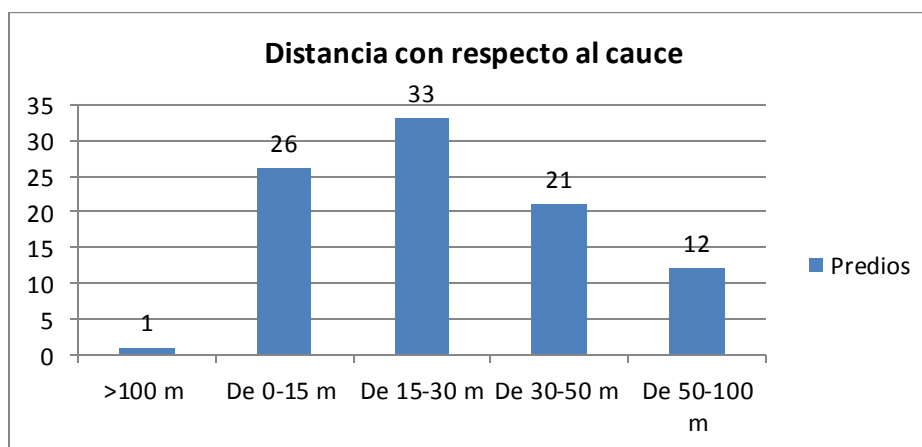


Figura 28. Resultado distancia al cauce

Los resultados por densidad de la construcción de la manzana arrojan que de los 93 predios evaluados 58 se encuentran en manzanas totalmente construidas, con algunos parqueaderos, patios y/o jardines, 24 predios están ubicados en manzanas parcialmente construidas, con algunos

espacios libres y el resto de los predios, siendo la menos cantidad, se encuentran ubicados en manzanas con pocas edificaciones esparcidas (**Figura 29**).

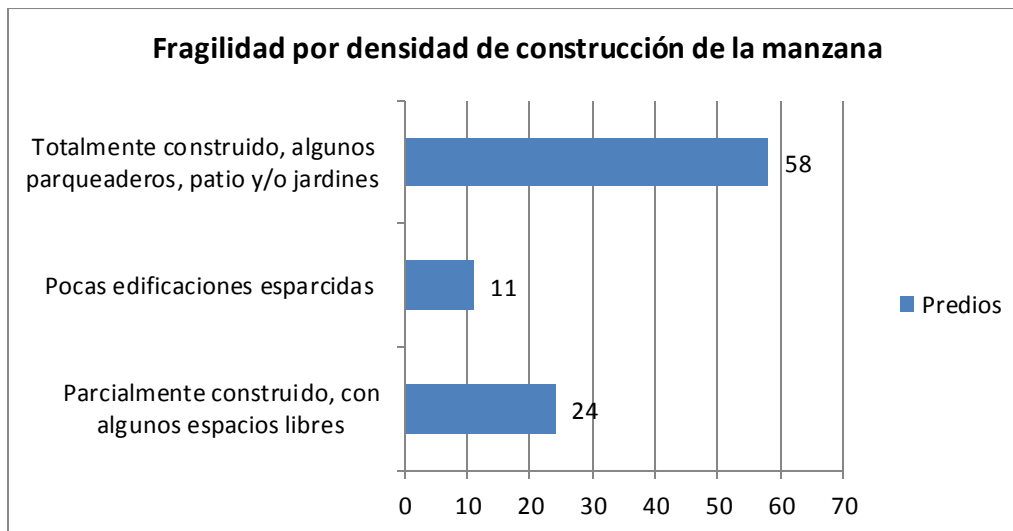


Figura 29. Resultado densidad de construcción de la manzana

Los resultados de la variable "forma, compactación y regularidad de los límites de la manzana" arrojaron que de los 93 predios evaluados 31 están ubicados en manzanas que presentan construcciones similares en un 75% con límite en forma irregular, 24 predios están ubicados en manzanas con forma de la manzana muy compleja, con varios edificios fuera de los límites de la manzana, 19 predios están ubicados en manzanas con forma compacta y con algunas irregularidades, 14 están ubicados en manzanas con forma irregular y con irregularidades en los límites de la manzana y 5 están ubicadas de forma rectangular o cuadrada en las manzanas (**Figura 30**).

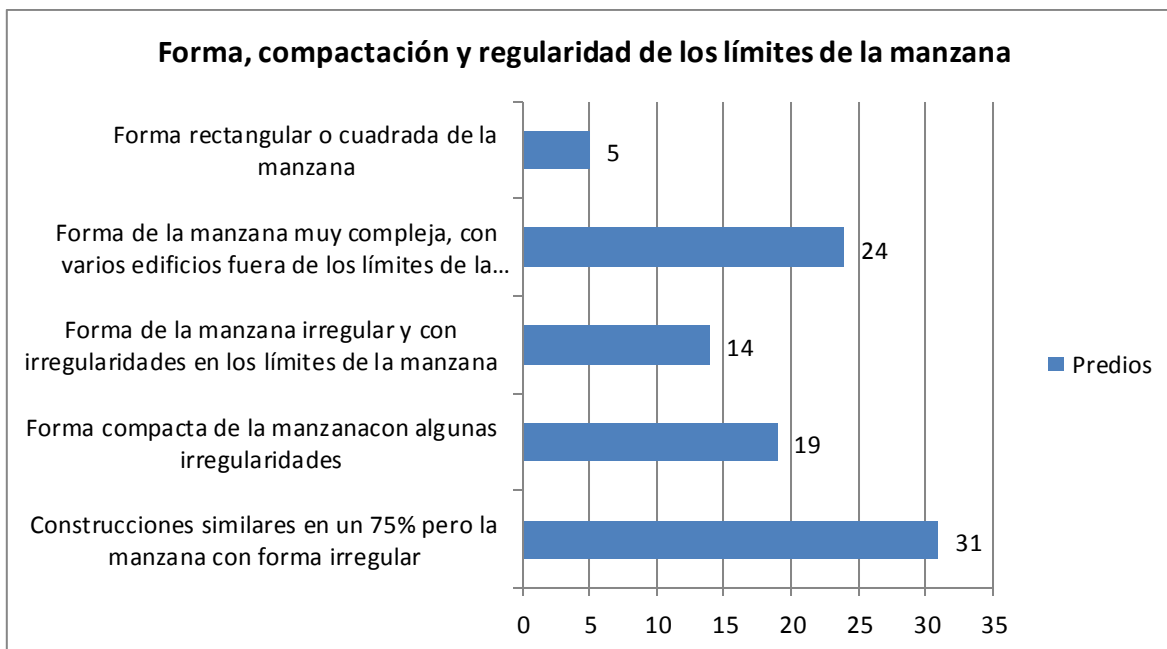


Figura 30. Resultado forma, compactación y regularidad de los límites de la manzana

Los resultados de la variable densidad vial de la manzana, arrojaron que de los 93 predios evaluados 47 se encuentran ubicados en manzanas sin calles internas, pero rodeadas por calles anchas, 43 predios están ubicados en manzanas con pocas calles dentro y rodeadas por calles estrechas, 2 predios se encuentran ubicados en manzanas densamente construidas sin calles dentro o edificios dispersos como en áreas rurales, mientras que solo 1 predio se encuentra totalmente construido, algunos parqueaderos, patio y/o jardines (**Figura 31**).

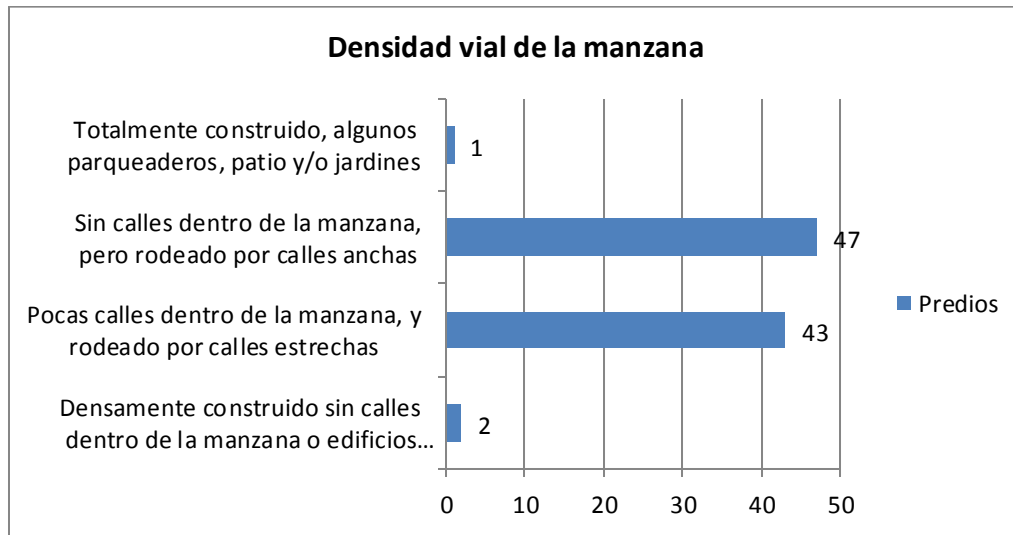


Figura 31. Resultado densidad vial

Los resultados de la variable densidad de población por manzana arrojaron que, de los 93 predios encuestados, 46 están ubicados en manzanas con más de 100 habitantes, mientras que 37 predios están ubicados en manzanas que tienen de 1 a 50 habitantes y los 10 predios faltantes tienen de 51 a 100 habitantes (**Figura 32**).

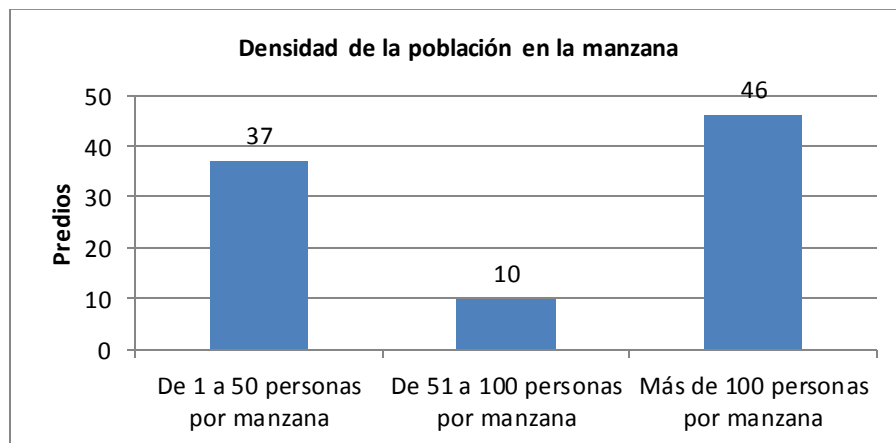


Figura 32. Resultado densidad poblacional de la manzana

Los resultados para los elementos de protección encontrados muestran que la mayoría de los predios, 31 de los 93, no presentan elementos de protección. El segundo resultado con mayor

puntaje fueron los predios que están protegidos por otra vivienda (27 de 93), 14 de los 93 predios tienen un elemento de protección calificado como “otro” como por ejemplo una arenera que sirvió como protección en la avenida torrencial del 2015, 8 de los 93 predios están protegidos por árboles, 5 de los 93 predios se encuentran protegidos por un muro de protección y los demás predios presentan elementos de protección resultantes del cruce de los anteriores (**Figura 33**).

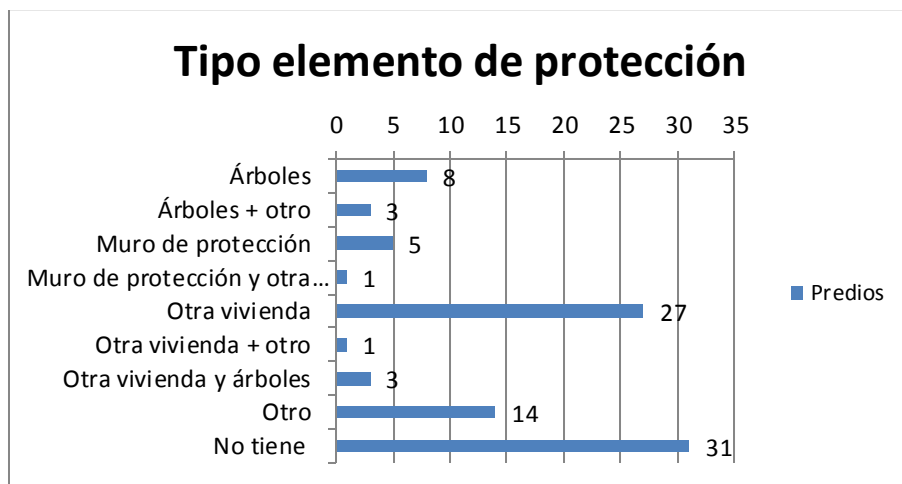


Figura 33. Resultado tipo de elemento de protección

De los 93 predios encuestados, 49 cuentan con elementos de protección en buen estado, 13 predios cuentan con elementos de protección que se están en mal estado o con deficiencias técnicas y los 31 faltantes no cuentan con elementos de protección (**Figura 34**).

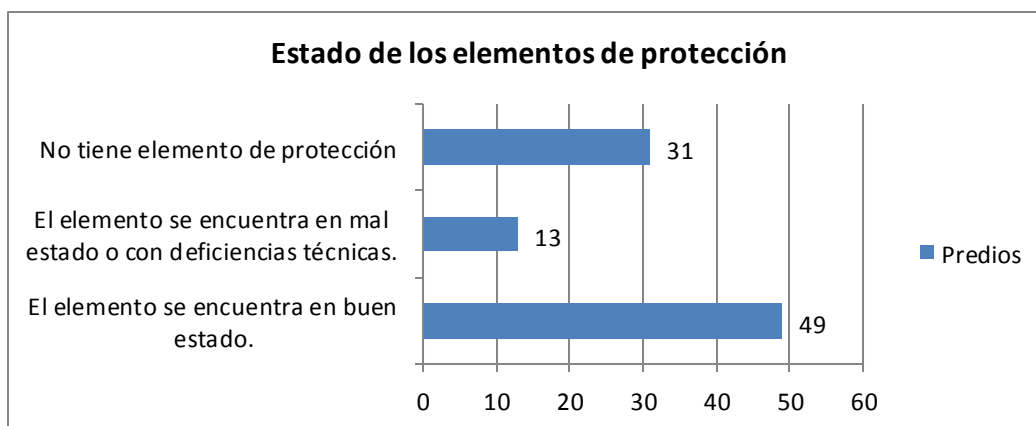


Figura 34. Resultado estado de los elementos de protección

Además, se obtuvo el siguiente resultado dentro del análisis de correspondencia múltiple, frente a las dimensiones analizadas y su aporte a la variabilidad de los resultados:

La **Figura 35** muestra los porcentajes que aportan a la varianza de los datos, en el proyecto, como se expuso en la metodología se utilizaron las primeras tres dimensiones, donde la primera dimensión aporta el 11,6%, la segunda dimensión el 9,9% y la tercera dimensión aporta un 9,3% a la variabilidad de los datos, teniéndose con estas tres dimensiones una representación del 30,8% de la varianza total.

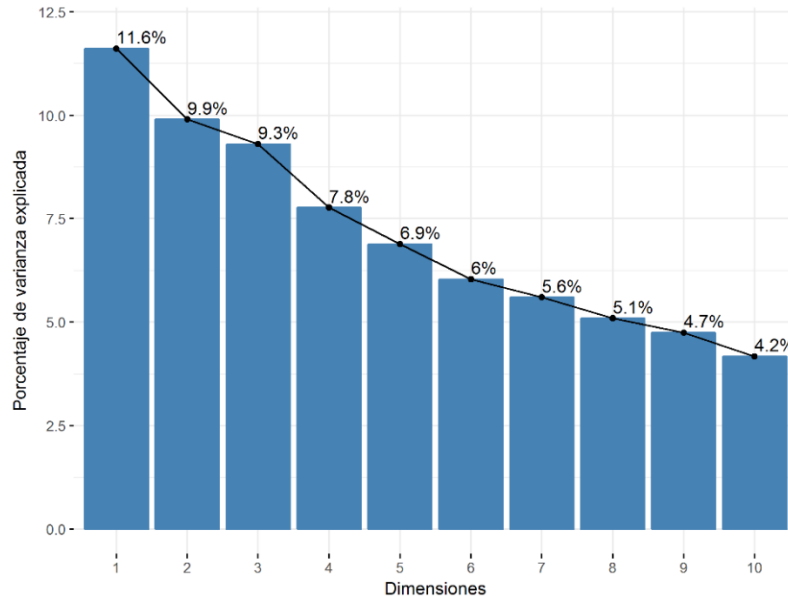


Figura 35. Porcentaje de varianza por dimensión

Fuente: propia del proyecto

En la **Figura 36** se muestra cuáles son las variables más representativas dentro de la variabilidad que aporta la dimensión 1, teniendo como las tres principales: conservación de la vivienda (V11), afectación de la vivienda (V5) y estado de la vivienda (V6).

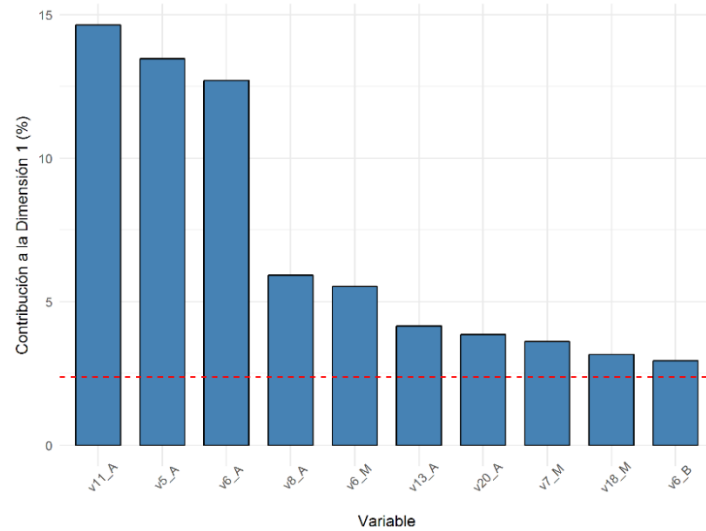


Figura 36. Contribución de las variables a la dimensión 1

Fuente: propia del proyecto

En la **Figura 37** se muestra cuáles son las variables más representativas dentro de la variabilidad que aporta la dimensión 2, teniendo como las tres principales: Ángulo de impacto (V16), número de pisos (V9) y ángulo de impacto bajo la condición de vulnerabilidad media (V16).

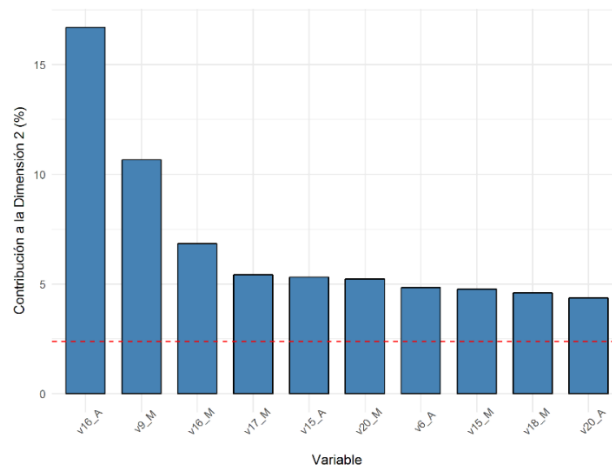


Figura 37. Contribución de las variables a la dimensión 2

Fuente: propia del proyecto

En la **Figura 38** se muestra cuáles son las variables más representativas dentro de la variabilidad que aporta la dimensión 3, teniendo como las tres principales: Número de ventanas expuestas (V14), distancia al cauce (V18) y número de puertas expuestas (V13).

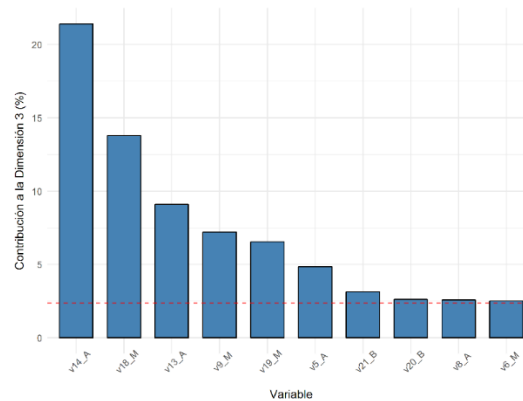


Figura 38. Contribución de las variables a la dimensión 3

Fuente: propia del proyecto

3.2. Evaluación de la vulnerabilidad

Tras realizar el análisis anterior se logra identificar cuales variables, cuando se analizan la totalidad de las variables por correspondencia múltiple, aportan mayor porcentaje a la varianza de los datos para la zona urbana de Salgar, pero debido a las condiciones del municipio y la importancia ya expuesta de cada variable se decidió realizar el indicador de vulnerabilidad física teniendo en cuenta todas las variables dentro de las tres primeras dimensiones. Clasificando las variables, así como se observa en la **Tabla 2:**

Tabla 2. Clasificación de variables

COMPONENTE DE EXPOSICIÓN			
VARIABLE	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD
Ángulo de impacto	Ángulo paralelo, edificación en segunda fila o más distante al drenaje	0,5	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	Ángulo oblicuo, edificación en segunda fila o más distante al drenaje	0,6	
	Ángulo perpendicular, edificación en segunda fila o más distante al drenaje	0,7	
	Ángulo paralelo, edificación en primera fila de casas a lo largo del drenaje	0,6	
	Ángulo oblicuo, edificación en primera fila de casas a lo largo del drenaje	0,8	
	Perpendicular, edificación en primera fila de casas a lo largo del drenaje	0,9	
Altura con respecto al nivel base del drenaje	Elevación entre 15 y 30 m (Terraza 4)	0,4	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	Elevación entre 10 y 15 m (Terraza 3)	0,4	
	Elevación entre 4 y 10 m (Terraza 2)	0,6	
	Elevación entre 2 y 4 m (Terraza 1)	0,7	
	Sin elevación (a nivel) o menor a 1m (Terraza 0)	0,8	
Protección por estructuras artificiales o naturales	Con presencia de elementos de protección para la vivienda en buen estado	0,4	Bajo: 0,0 Medio: 0,1 – 0,4 Alto: 0,5 – 1,0
	Con presencia de elementos de protección para la vivienda en mal estado o con deficiencias técnicas	0,7	
	Sin presencia de elementos de protección para la vivienda	0,9	

Continuación Tabla 3. Clasificación de variables

COMPONENTE DE EXPOSICIÓN			
VARIABLE	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD
Densidad poblacional por manzana	De 1 a 50 personas por manzana	0,6	Bajo: 0,0 Medio: 0,1 – 0,4 Alto: 0,5 – 1,0
	De 51 a 100 personas por manzana	0,7	

	Más de 100 personas por manzana	0,8	
Densidad poblacional por predio	Menor o igual a 2 personas	0,5	Bajo: 0,0 Medio: 0,1 – 0,4 Alto: 0,5 – 1,0
	Entre 3 y 4 personas	0,6	
	Entre 5 y 6 personas	0,8	
	Más de 7 personas	0,9	
Área del predio	Área del predio entre 10 y 50 m ²	0,8	Bajo: 0,0 Medio: 0,1 – 0,4 Alto: 0,5 – 1,0
	Área del predio entre 50 y 100 m ²	0,8	
	Área del predio mayor a 100 m ²	0,7	
Número de aperturas (ventanas) en la fachada más expuesta	De 1 a 2 ventanas expuestas en fachada	0,6	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	De 3 a 4 ventanas expuestas en fachada	0,7	
	De 4 a 5 ventanas expuestas en fachada	0,8	
	Más de 5 ventanas expuestas en fachada	0,9	
	Sin ventanas	0,0	

Continuación Tabla 4. Clasificación de variables

COMPONENTE DE EXPOSICIÓN			
VARIABLE	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD
Número de aperturas (puertas) en la fachada más expuesta	De 1 a 2 puertas expuestas en fachada	0,5	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	Más de 2 puertas expuestas en fachada	0,9	
	Sin puertas	0,0	
Distancia al drenaje	Distancia de 0 – 15m	0,9	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	Distancia de 15 – 30m	0,8	
	Distancia 30 – 50m	0,7	
	Distancia 50 – 100m	0,6	
	Distancia mayor a 100m	0,5	

Continuación Tabla 5. Clasificación de variables

COMPONENTE DE TIPOLOGÍA			
VARIABLE	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD
Tipología de la construcción	(A – B) Edificaciones con reforzamiento como edificaciones de concreto y acero reforzado	0,4	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	(C) Edificaciones con sistema estructural de mampostería con elementos de refuerzo como barras, láminas, pernos y platinas. También incluyen edificaciones en mampostería confinada	0,6	
	(D) Estructuras con confinamiento deficiente o con mampostería no reforzada (adobe, bahareque, madera, tapia pisada)	0,8	
	(E) Estructuras ligeras construidas con materiales tradicionales o de baja calidad (adobe, bahareque, madera bruta, tapia pisada y las prefabricadas)	0,9	
	(F) Construcciones simples: edificaciones sin estructura definida, de carácter improvisado, generalmente construidas utilizando materiales precarios o de recuperación. Incluyen edificaciones en proceso de construcción y las construidas en materiales de recuperación como tugurios, ranchos, campamentos, carpas.	1,0	

Continuación Tabla 6. Clasificación de variables

COMPONENTE DE FRAGILIDAD			
VARIABLE	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD
Número de pisos o altura del predio	4 pisos o más (> 8 m)	0,5	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	3 pisos (5 – 8m)	0,5	
	2 pisos (3 – 5m)	0,7	
	1 piso (0 – 3m)	0,8	
Estado de conservación o deterioro de la estructura	No se observan deformaciones, grietas o envejecimiento (Separación grietas 0 mm)	0,5	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	Daños superficiales no estructurales leves (grietas de 0 – 0,5mm)	0,6	
	Fisuras leves en juntas horizontales (grietas de 0,5 – 1mm) sin afectación de la estabilidad	0,7	
	Deformaciones severas. Mampostería y concreto con fallas por aplastamiento (grietas de >10mm)	0,9	
Tipo de fundación estructural	Sin cimentación	0,9	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	Con losa de cimentación	0,7	
	Elevada en pilotes/columnas	0,5	

Continuación Tabla 7. Clasificación de variables

COMPONENTE DE FRAGILIDAD			
VARIABLE	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD
Año de construcción o edad de la estructura	Antes de 1989 (Más de 28 años)	0,9	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	Entre 1989 y 1998 (Entre 9 y 28 años)	0,8	
	Entre 1998 y 2009 (Entre 8 y 19 años)	0,8	
	Entre 2010 y presente (Menos de 7 años)	0,7	
	NS/NR	0,5	
Densidad de construcción de la manzana	Totalmente construido, algunos parqueaderos, patio y/o jardines	1,0	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	Parcialmente construido, con algunos espacios libres	0,7	
	Pocas edificaciones esparcidas	0,5	
	Sin construcciones	0,0	

Continuación Tabla 8. Clasificación de variables

COMPONENTE DE FRAGILIDAD			
VARIABLE	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD
Forma, compactación y regularidad de los límites de la manzana	Forma de la cuadra muy compleja, con varios edificios fuera de los límites de la manzana	0,0	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	Forma de la manzana irregular y con irregularidades en los límites de la manzana	0,3	
	Construcciones similares en un 75% pero cuadra con forma irregular	0,5	
	Forma compacta de la manzana con algunas irregularidades	0,7	
	Forma rectangular o cuadrada	1,0	
Densidad vial de la manzana	Densamente construido sin calles dentro de la manzana o edificios dispersos como en áreas rurales	0,0	Bajo: 0,0 – 0,3 Medio: 0,4 – 0,6 Alto: 0,7 – 1,0
	Sin calles dentro de la manzana, pero rodeado por calles anchas	0,5	
	Pocas calles dentro de la manzana, y rodeado por calles estrechas	0,6	
	Edificios distanciados entre ellos, y cuadra entrecruzada por varias calles	0,8	
	Edificios dispersos, cuadra entrecruzada por varias calles	1,0	

Aplicando la Fórmula 1. como se explicó en el numeral 2.7, se obtuvo el siguiente resultado de vulnerabilidad física para los 93 predios evaluados (**Figura 39**):

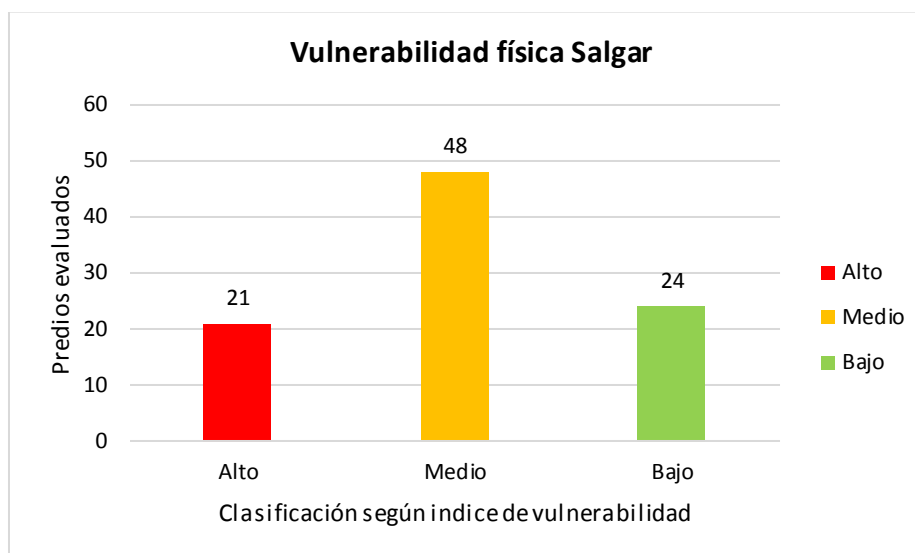


Figura 39. Análisis de frecuencia vulnerabilidad física

Fuente: propia del proyecto

Se encontró que el 51,6% de los predios evaluados se encuentra en condiciones de vulnerabilidad media, el 25,8% de los predios se encuentran en condiciones de vulnerabilidad física baja y el 22,6% de los predios se encuentran en condiciones de vulnerabilidad física alto.

3.3. Elaboración de mapas

Los resultados específicos por predio se entregan en dos mapas bajo la siguiente denominación:

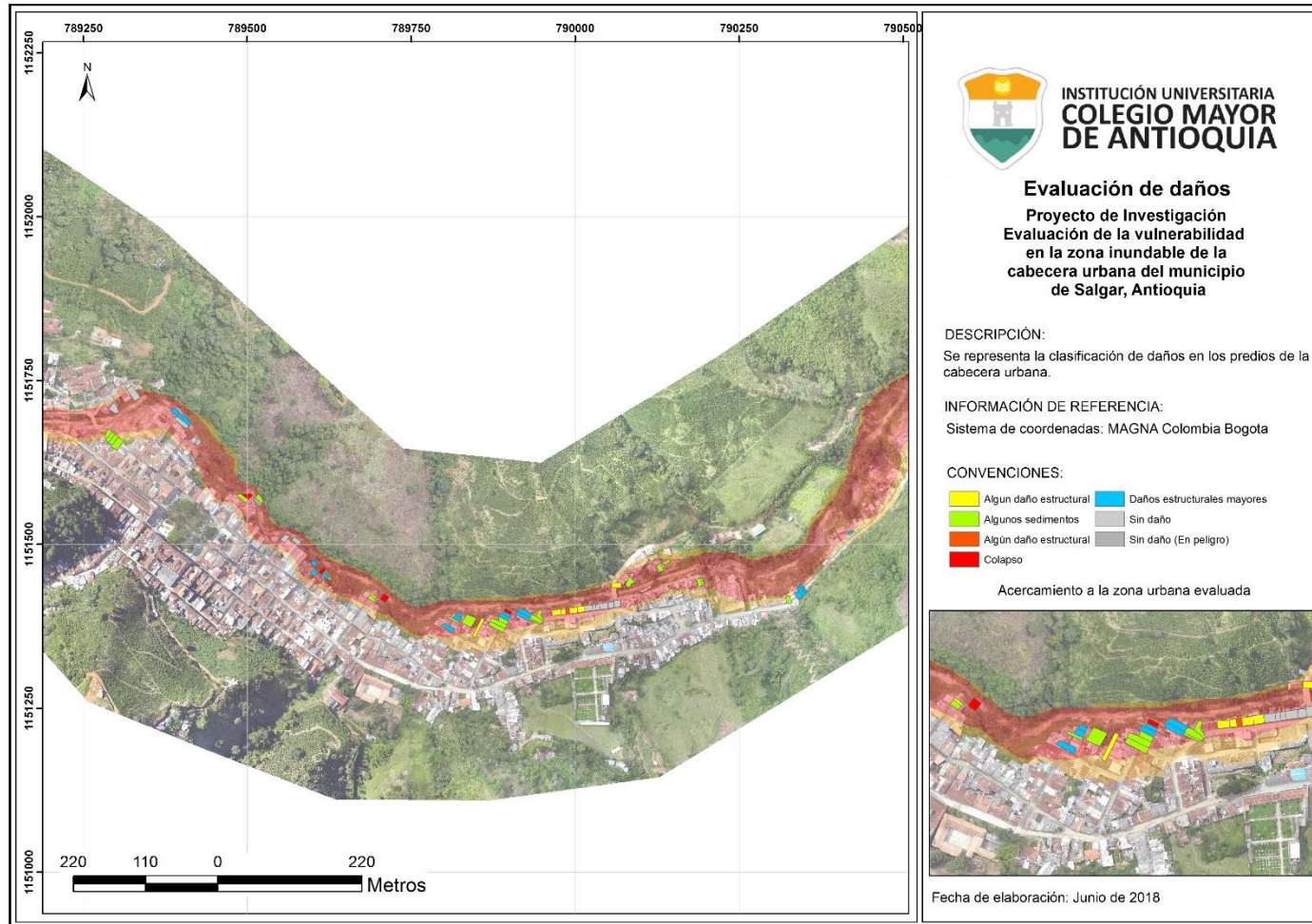
Mapa de daños

Después de adquirir la información necesaria en campo para continuar con el proceso de evaluación de los daños en los diferentes predios faltantes, se digitalizó por medio del Software ArcGis y se obtuvo el Mapa 4. Evaluación de daños, que permite identificar bajo qué condiciones

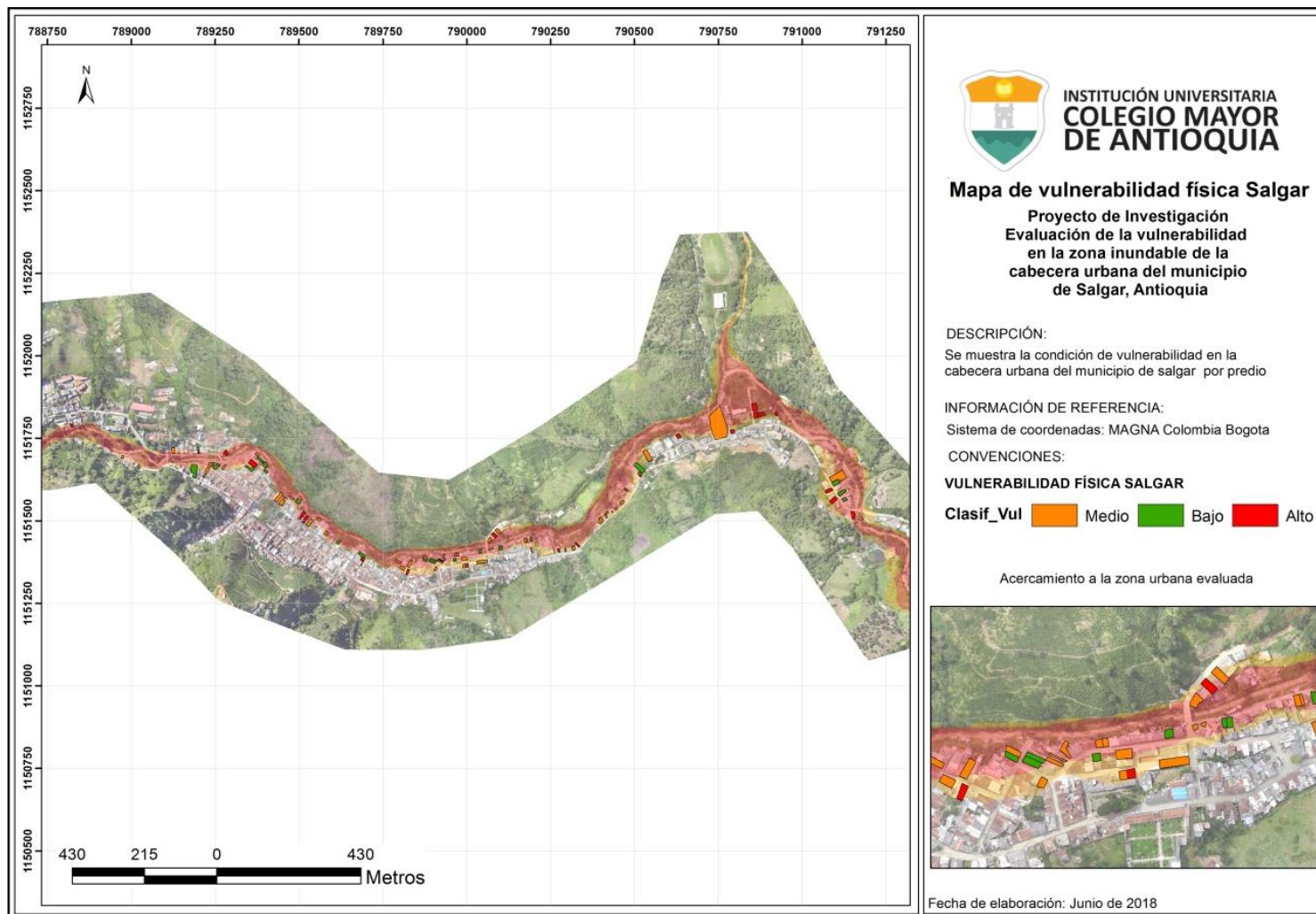
se encuentra cada predio evaluado en el informe del DAPARD, (2015) y si continúan habitados o no.

Mapas de vulnerabilidad física

Posterior a la clasificación según los resultados del indicador de vulnerabilidad se generó información georreferenciada de cada predio evaluado, obteniendo el Mapa 5 de vulnerabilidad física de la zona urbana de Salgar. A continuación, se presenta el mapa en el que se puede identificar por colores la calificación de vulnerabilidad por predio.



Mapa 4. Mapa evaluación de daños
Fuente: Propia del proyecto



Mapa 5. Vulnerabilidad física zona urbana
Fuente: Propia del proyecto

3.4. Elaboración de maqueta

Se elaboró y entregó maqueta de relieve de la zona evaluada, con el fin de aumentar la integración del conocimiento local a los procesos de gestión del riesgo municipales por medio de ejercicios de participación y conocimiento del territorio, en los que la comunidad pueda ubicarse espacialmente, identificar las condiciones de la zona en la que habitan y reconocer la legitimidad de dichos procesos; con esto se entrega una herramienta llamativa que facilitará el empoderamiento y la participación de la comunidad en la construcción de los escenarios de riesgo, mientras se nutren los procesos de la alcaldía con el conocimiento local, que es realmente donde se recoge la memoria de desastres históricos y que acompañado con el conocimiento técnico, puede construir comunidades más resilientes y sostenibles. La maqueta y parte del proceso de elaboración se observa en la Ilustración 1.



Ilustración 1. Maqueta cabecera urbana Salgar (Antioquia)

Fuente: Propia del proyecto

4. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar la aplicación de la metodología al resto de predios ubicados en la zona de amenaza alta y media por avenida torrencial de la zona urbana de Salgar, dado que por las condiciones específicas del municipio no se encontró suficiente homogeneidad en los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad física que permitiesen representarla a escala de manzana.
- Es necesario actualizar el plano urbano catastral (predios y manzanas), ya que se encontraron predios construidos que no se observan en dicho plano.
- Cuando dicha actualización catastral sea realizada se recomienda replantear la forma y extensión de algunas manzanas actuales como la 0057, 0009, 0087, 0002 para facilitar el desarrollo de posteriores estudios y análisis.
- Es importante formular, gestionar y ejecutar proyectos encaminados a la recuperación de los predios demolidos y a la recuperación paisajística y de rondas hídricas de la zona, con el fin de que no vuelvan a ser habitados por la comunidad generando nuevas condiciones de riesgo.

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

- Comprender que la gestión del riesgo de desastres no se reduce a la atención de emergencias. Por el contrario, es un tema transversal en la planeación del desarrollo y el ordenamiento territorial del municipio. En tanto tema transversal, el municipio debe generar proyectos para el mejoramiento de las condiciones físicas de la vulnerabilidad de los predios localizados en la zonificación definida en alta.
- Capacitar a los funcionarios públicos para el fortalecimiento institucional en gestión del riesgo, gestión pública, gestión ambiental, planificación del desarrollo y ordenamiento territorial.
- Capacitar a los grupos de manejo de la emergencia (Cuerpo de Bomberos) establecidos en el área urbana para el manejo del desastre.
- Consolidar procesos de participación ciudadana y control social, sobre todo capacitar en participación ciudadana en la gestión pública. Al respecto, se debe crear comités barriales en los que se incluya el trabajo en torno a la gestión del riesgo o fortalecer las Juntas de Acción

Comunal en estos temas. Para ello, se pueden programar cursos, capacitaciones y talleres para la promoción, divulgación y formación en educación ambiental y de gestión del riesgo.

- Impulsar medidas de aseguramiento de bienes, especialmente públicos.
- Fortalecer el conocimiento acerca del sistema de monitoreo y alerta frente a la ocurrencia de avenidas torrenciales e inundaciones para mejorar la reacción y capacidad de respuesta por parte de la comunidad.
- También es importante resaltar que la información aportada por las comunidades sirve para generar conocimiento y es de gran utilidad en la toma de decisiones, más si son incluidos en un Sistema de Información Geográfica, el cual permite almacenar, manipular e integrar la información. Adicional a esto se recomienda articular toda la información espacial existente en el Plan de Ordenamiento Territorial, en estudios técnicos como el de la Universidad Javeriana y la generada en esta investigación, o producir nueva información que permita la toma de decisiones con más certidumbre.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Abdi, H., & Valentin, D. (2007). Multiple correspondence analysis. *Encyclopedia of Measurement and Statistics*, 95(2), 116–28. <http://doi.org/10.1016/j.cmpb.2009.02.003>
- Apel, A., Thieken, A. H., Merz, B., & Blösch, G. (2004). Flood risk assessment and associated uncertainties. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 4, 295–308.
- Ayele, D., Zewotir, T., & Mwambi, H. (2014). Multiple correspondence analysis as a tool for analysis of large health surveys in African settings. *African Health Sciences*, 14(4), 1036–1045. <http://doi.org/10.4314/ahs.v14i4.35>
- Barredo, J. I., & Engelen, G. (2010). Land use scenario modeling for flood risk mitigation. *Sustainability*.
- Bartlett, J. E., Kotrlik, J. W., & Higgins, C. C. (2001). Organizational Research : Determining Appropriate Sample Size in Survey Research. *Information Technology, Learning and Performance Journal*.
- Bendimerad, F. (2001). Loss estimation: a powerful tool for risk assessment and mitigation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*.
- Bohórquez, J. E. T. (2013). Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales en Manzanillo (Colima). Un aporte de método. *Investigaciones Geograficas*, 81(81), 79–93. <http://doi.org/10.14350/rig.36333>
- Caballero Acosta, J. H. (2011). Las Avenidas Torrenciales: Una Amenaza Potencial En El Valle De Aburrá. *Revista Gestión y Ambiente*, 14(3), 45–50.
- Chardon, A.-C. (2006). Un desafío para el desarrollo urbano: Amenazas naturales y vulnerabilidad global asociada. El caso de la ciudad de Manizales (Andes de Colombia). *Taller Internacional Sobre Gestión Del Riesgo a Nivel Local. El Caso de Manizales, Colombia*, (57), 1–25.
- Ciurean, R. L., Schröter, D., & Glade, T. (2013). Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction. *Approaches to Disaster Management - Examining the Implications of Hazards, Emergencies and Disasters*. <http://doi.org/10.5772/55538>
- Congreso de la República. (2012). Ley 1523 de 2012. Bogotá D.C.

- Corporación OSSO & La Red. (2015). Sistema de inventario de efectos de desastres- DESINVENTAR. Cali, Colombia.
- DAPARD. (2015). Informe asesoría o asistencia técnica, de la catástrofe del 18 de mayo del 2015 de Salgar- Antioquia.
- Defeyer, A. (2011). Modelos de Vulnerabilidad de las Edificaciones y de las Personas y Medida del Riesgo Ante el Fenómeno de Inundación: El caso del pueblo de Cantagallo (Bolívar, Colombia).
- El Colombiano. (2018). Cronología Salgar.
- Fekete, A. (2010). *Assessment of social vulnerability to river floods in Germany*. United Nations University.
- Hernandez Atencia, Y., & Ramírez Arcila, H. (2016). Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia, 26(2), 111–128.
- INGENIAR LTDA. (2013). Diagnóstico y Componente General del Plan Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD). Bogotá D.C.
- Jakob, M., Stein, D., & Ulmi, M. (2011). Vulnerability of buildings to debris flow impact. *Natural Hazards*, 60(2), 241–261. <http://doi.org/10.1007/s11069-011-0007-2>
- Jakob, M., Stein, D., & Ulmi, M. (2012). Vulnerability of buildings to debris flow impact. *Natural Hazards*, 60, 241–261. <http://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11069-011-0007-2>
- Karagiorgos, K., Thaler, T., Hubl, J., Maris, F., & Fuchs, S. (2016). Multi-vulnerability analysis for flash flood risk management. *Natural Hazards*, 82, 63–87. <http://doi.org/10.1007/s11069-016-2296-y>
- Martínez, L., Ysuiza, A., & Altamirano, O. (2007). Guía metodológica de análisis participativo del riesgo de desastres para áreas rurales.
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. Decreto 1807 de 2014 (2014). Colombia.
- MOVE. (2011). Generic conceptual framework for vulnerability measurement EUROPEAN COMMISSION, (211590).
- Organización de las Naciones Unidas (ONU), & Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD). (2004). *Vivir con el Riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres*. Ginebra, Suiza.
- PNUD. (2012). Propuesta metodológica. Análisis de vulnerabilidad a nivel municipal. Quito.

- Rodríguez-Gaviria, E. M. (2016). Diseño metodológico para la evaluación del riesgo por inundación a nivel local con información escasa. Medellín, COLOMBIA.
- Rodriguez-Sabate, C., Morales, I., Sanchez, A., & Rodriguez, M. (2017). The multiple correspondence analysis method and brain functional connectivity: Its application to the study of the non-linear relationships of motor cortex and basal ganglia. *Frontiers in Neuroscience*, 11(JUN). <http://doi.org/10.3389/fnins.2017.00345>
- Rosales, C., & Velásquez, A. (1999). Escudriñando en los desastres a todas las escalas. *Red de Estudios Sociales En Prevención de Desastres En América Latina - LA RED*.
- Safina, S. (2003). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*.
- Sepúlveda, A., Patiño, J., & Rodriguez, C. E. (2016). Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia : caso Útica, Cundinamarca, Colombia, 31–43.
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa*. Bogotá D.C.
- Sourial, N., Wolfan, C., Zhu, B., Quail, J., Fletcher, J., Karunanathan, S., ... Bergman, H. (2010). Correspondence analysis is a useful tool to uncover the relationships among categorical variables. *Journal of Clinical Epidemiology*, 63(6), 638–646. <http://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.08.008>.Correspondence
- Thouret, J.-C., Ettinger, S., Guitton, M., Santoni, O., Magill, C., Martelli, K., ... Arguedas, A. (2014). Assessing physical vulnerability in large cities exposed to flash floods and debris flows: the case of Arequipa (Peru). *Natural Hazards*, 73(3), 1771–1815.
- UNGRD, & Universidad Javeriana. (2016). Consultoría de estudios y diseño para la implementación del sistema de alerta temprana por avenidas torrenciales en la microcuenca de la quebrada la Liboriana, quebrada la Clara y río Barroso del municipio de Salgar (Antioquia).
- Universidad Católica de Oriente. (2014). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa e inundaciones en zona urbana, 156.
- Universidad de Washington. (2015). Department of Computer Science and Engineering. Open Data Kit- ODK.
- Uzielli, M., Nadim, F., Lacasse, S., & Kaynia, A. M. (2008). A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. *Engineering Geology*, 102(3–4), 251–256. <http://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.011>

Vega, L., & Díaz, F. (2013). Evaluación integral del riesgo volcánico del Cerro Machín.
Investigaciones Geográficas, (81), 66–78.
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.14350/rig.31131>

Yépez, F. (1996). *Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de
estructuras aplicando técnicas de simulación*. Universidad Politécnica de Cataluña.