

**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS DE LAS VIVIENDAS POR LA
INUNDACIÓN DEL RÍO TULUÁ EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO**

**STEVENS FERNANDO RODRIGUEZ PARRA
DIANA CAROLINA ZULUAGA RESTREPO**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS DE LAS VIVIENDAS POR LA
INUNDACIÓN DEL RÍO TULUÁ EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO**

**STEVENS FERNANDO RODRIGUEZ PARRA
DIANA CAROLINA ZULUAGA RESTREPO**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Gerson David Lozano Rolón, Ingeniero Civil y Especialista en Gestión Ambiental, el cual se desempeña actualmente como el Director del Departamento Administrativo de Planeación del municipio de Tuluá y quien aportó con su confianza en la elaboración de éste proyecto de grado y facilitó el suministro de información con fines académicos bajo las respectivas restricciones de uso y divulgación de la información.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	11
1. ÁREA PROBLEMÁTICA.....	13
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. JUSTIFICACIÓN.....	19
4. MARCO TEÓRICO.....	20
4.1 INUNDACIONES.....	20
4.2 GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES.....	23
4.3 TELEDETECCIÓN.....	25
4.4 HEC GEO RAS.....	26
4.5 SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES BENEFICIARIOS DE PROGRAMAS SOCIALES-SISBEN.....	27
4.6 ANTECEDENTES.....	27
5. METODOLOGÍA.....	42
5.1 TIPO DE TRABAJO.....	42
5.2 PROCEDIMIENTO.....	42
5.2.1 Fase 1. Modelación.....	42
5.2.2 Fase 2. Estandarización de las bases de datos.....	43
5.2.3 Fase 3. Estimación de pérdidas.....	44
5.2.4 Fase 4. Generación de cartografía temática.....	45
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	46
6.1 Fase 1. Modelación.....	46
6.2 Fase 2. Estandarización de la base de datos.....	55
6.3 Fase 3. Estimación de pérdidas.....	57
6.4 Fase 4. Generación de cartografía temática.....	61
7. CONCLUSIONES.....	69
8. RECOMENDACIONES.....	70

BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. División Política Municipal Urbana.	14
Figura 2. Estratificación socioeconómica del Municipio.....	15
Figura 3. Zonificación de la Amenaza por Inundación POT 2000.....	16
Figura 4. Inundación Ola Invernal 2010-2011 Río Tuluá.....	17
Figura 5. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 2,33 años Río Tuluá.	47
Figura 6. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 5 años Río Tuluá. ...	48
Figura 7. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 10 años Río Tuluá. ...	49
Figura 8. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 20 años Río Tuluá. ...	50
Figura 9. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 25 años Río Tuluá. ...	51
Figura 10. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 50 años Río Tuluá. ...	52
Figura 11. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 100 años Río Tuluá.	53
Figura 12. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 200 años Río Tuluá.	54
Figura 13. Representación gráfica de la base predial del Municipio	55
Figura 14. Visualización Base de Datos Alfanumérica del SISBEN	56
Figura 15. Resultado de la conexión entre las bases de datos.....	56
Figura 16. Área de influencia de la inundación (zoom 1)	59
Figura 17. Área de influencia de la inundación (zoom 2)	60
Figura 18. División Política Municipal Urbana.	62
Figura 19. Hidrografía urbana.	63
Figura 20. Ola invernal 2010-2011	64
Figura 21. Mapa de amenaza de inundación POT 2000 con inundación ola invernal 2010-2011.	65
Figura 22. Inundación periodo de retorno de 200 años con ola invernal años 2010- 2011	66
Figura 23. Pérdidas por inundación para un periodo de retorno de 200 años para predios con encuesta del SISBEN.	67
Figura 24. Perdidas por inundación para un periodo de retorno de 200 años intersectado por barrios.....	68

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Estudio de inundación en Tena-Ecuador.....	28
Cuadro 2. Estudio de inundación en Caquetá-Colombia.....	28
Cuadro 3. Estudio de inundación en Burriana-España.....	30
Cuadro 4. Estudio de inundación en Toledo-España.....	32
Cuadro 5. Estudio de pérdidas económicas en Puebla-México.....	34
Cuadro 6. Estudio de pérdidas económicas en Colombia.....	35
Cuadro 7. Estudio de pérdidas económicas en Valle del Chalco-México.....	38
Cuadro 8. Caudales para los periodos de retorno.....	43
Cuadro 9. Estandarización base de datos geográfica y SISBEN.....	43
Cuadro 10. Listado de precios en pesos de electrodomésticos.....	57
Cuadro 11. Caracterización de la tenencia de electrodomésticos por estrato en el municipio de Tuluá.....	57

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A Aplicación de la Metodología de Marco Lógico.....	72
ANEXO B Recursos y Presupuesto del Proyecto.....	93

RESUMEN

La cuantificación de pérdidas que pueden presentarse ante la materialización de un riesgo puede cambiar la perspectiva que se tiene frente al tema, sobre todo para un municipio, el conocer cuánto puede perder, lo puede llevar a hacer un estimativo de cuánto le costará la recuperación ante la materialización de un riesgo. Para el caso del presente trabajo, el cálculo de pérdidas en viviendas ante un evento de inundación para un periodo de retorno de 200 años asciende a los cinco mil millones de pesos aproximadamente, correspondiente a la tercera parte del presupuesto de operación del Municipio para el año 2014, lo que es un hecho diciente respecto a la importancia de la realización de este tipo de investigaciones.

Para esto, los Sistemas de Información Geográfica, se convierten una herramienta fundamental en el conocimiento del riesgo de desastres y por tanto en la toma de decisiones de la planificación territorial, y es lo que se busca lograr con el desarrollo de este proyecto, por medio de la utilización de las herramientas SIG, estimar las pérdidas económicas que pueden presentarse en las viviendas ante un posible evento de inundación del río Tuluá, dotando al Municipio de un insumo importante para que pueda ser incorporado dentro de sus instrumentos de planificación territorial.

Para llevarse a cabo, en el desarrollo metodológico se incluyó la modelación hidrológica para diferentes periodos de retorno propuestos, la estandarización y unión de la base de datos predial del área urbana del Municipio y la base de datos alfanumérica del SISBEN, la cuantificación de pérdidas aplicadas a un solo periodo de retorno y la generación de cartografía temática para la representación de las pérdidas.

PALABRAS CLAVES:

- Sistemas de Información Geográfica
- Bases de Datos
- Modelación Hidrológica
- Riesgo de Desastres

ABSTRACT

The quantification of losses that may occur to the materialization of a risk may change the perspective that must address the topic, especially for a municipality, knowing how much you can lose, it can lead to making an estimate of how much it will cost recovery the materialization of a risk. In the case of this study, the calculation of losses on homes in a flood event for a return period of 200 years amounts to five billion pesos approximately, corresponding to one third of the operating budget of the municipality for 2014, which is a telling fact about the importance of conducting this type of research.

For this, Geographic Information Systems, become an essential tool in knowledge disaster risk and therefore in the decision-making of spatial planning, and is sought to be achieved with the development of this project, through the use of GIS tools, to estimate the economic losses that may occur in the homes of a possible flood event of Tuluá River, giving the municipality an important input that can be incorporated into instruments of territorial planning input.

To take place, in the methodological development hydrologic modeling for different return periods proposed, standardization and joining the databases of farm data urban area and alphanumeric database included SISBEN, quantification of losses applied a single return period and the generation of thematic maps for representation of losses.

KEY WORDS:

- Geographic Information Systems
- Databases
- Hydrologic Modeling
- Disasters Risk

INTRODUCCIÓN

Si bien los asentamientos poblacionales se dieron alrededor de las fuentes hídricas para proveerse de la pesca, la caza y la agricultura principalmente, el desarrollo urbanístico de las ciudades se presentó sin tener en cuenta una planificación integral del territorio, respondiendo más a las necesidades inmediatas, las prácticas, los hábitos y las creencias de los habitantes.

Muestra de lo anterior, es el tiempo en que tardó en expedirse la Ley que ordena los municipios en Colombia, la cual se publicó hace un poco más de 10 años con una visión de atención y prevención a los desastres naturales. Sin embargo, dicha visión no fue suficiente, un ejemplo de ello, fue la crisis que sufrió el País a raíz de la ola invernal de los años 2010- 2011. Fue entonces hasta hace apenas dos años, que se adopta la Política Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres encaminada a la planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento, disminución y manejo del riesgo, por lo que se constituye como una política de desarrollo que asegura la sostenibilidad y la seguridad territorial, así como los derechos e intereses colectivos. De igual forma, la Política Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres cambia con respecto a visión de años anteriores, ya que define una corresponsabilidad de la población frente a los desastres, bajo el *principio de autoconservación*, donde señala que toda persona natural o jurídica tiene el deber de adoptar las medidas necesarias para una adecuada gestión del riesgo en su ámbito personal y funcional, con miras a salvaguardarse, es por esto que ya no se ve al Estado como único responsable frente a los desastres, sino que se reconoce que en cierta medida cuando se materializan los riesgos es debido a la presencia de elementos expuestos indicando una vulnerabilidad que para efectos del presente trabajo es por la presencia de viviendas cerca al río.

Por otra parte, el desarrollo tecnológico que se presenta a través de los Sistemas de Información Geográfica permite que sean utilizados como una herramienta fundamental en el área del conocimiento del riesgo, el cual es el pilar para una adecuada prevención de desastres a través del ordenamiento de los territorios. De este modo, la aparición y el avance de herramientas como los SIG, Sensores Remotos, Fotogrametría Digital, Programas de Modelación, entre otros, complementadas con las mediciones obtenidas en campo, permiten en la actualidad generar un estimado u obtener una proyección de los fenómenos naturales y su comportamiento en los asentamientos poblacionales.

El desarrollo de este trabajo, se concentra en el fenómeno de inundación y su comportamiento relacionado a los efectos potenciales por las pérdidas económicas que pueden darse en el área de influencia del río Tuluá en la zona urbana del municipio de Tuluá, utilizando como insumo la base de datos del Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales-

SISBEN del Departamento Nacional de Planeación, el reporte de inundación generado en la pasada ola invernal años 2010 y 2011, la modelación de la inundación para un determinado periodo de retorno, la topografía del área de estudio y la base de datos predial del Municipio.

Para la cuantificación de las pérdidas fue necesario compatibilizar las base de datos predial (geográfica) y la del SISBEN (base de datos alfanumérica), realizar la modelación de la inundación con diferentes periodos de retorno, construir un estimativo de costos de los electrodomésticos que puede perderse ante la inundación y generar las salidas gráficas de la cartografía, por medio del desarrollo de la metodología se logró obtener un valor aproximado de las pérdidas que se generan en las viviendas ante un posible evento de inundación.

Se espera que con el alcance que tiene el trabajo, se le otorgue de insumos útiles al municipio de Tuluá en referencia al componente del conocimiento del riesgo del fenómeno de inundación, para la aplicación integral de la Política de Gestión del Riesgo.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

El municipio de Tuluá se encuentra ubicado entre el valle geográfico del río Cauca y la cordillera Central, con una altura mínima de 960 msnm hasta alcanzar los 4400 msnm, distribución que permite una topografía variable, ubicando la cabecera municipal en la zona más plana del Municipio.

El área urbana tiene una extensión de 11,11 Km² con una cota máxima de 990 msnm y una mínima de 955 msnm, se caracteriza por el recorrido en su interior de dos ríos, de sur a norte: el río Tuluá con una distancia aproximada de 4,5 Km, y de oriente a norte: el río Morales con una distancia aproximada de 1,8 Km, (véase Figura 1) desembocando éstos dos en el río Cauca en la zona denominada Bocas de Tuluá.

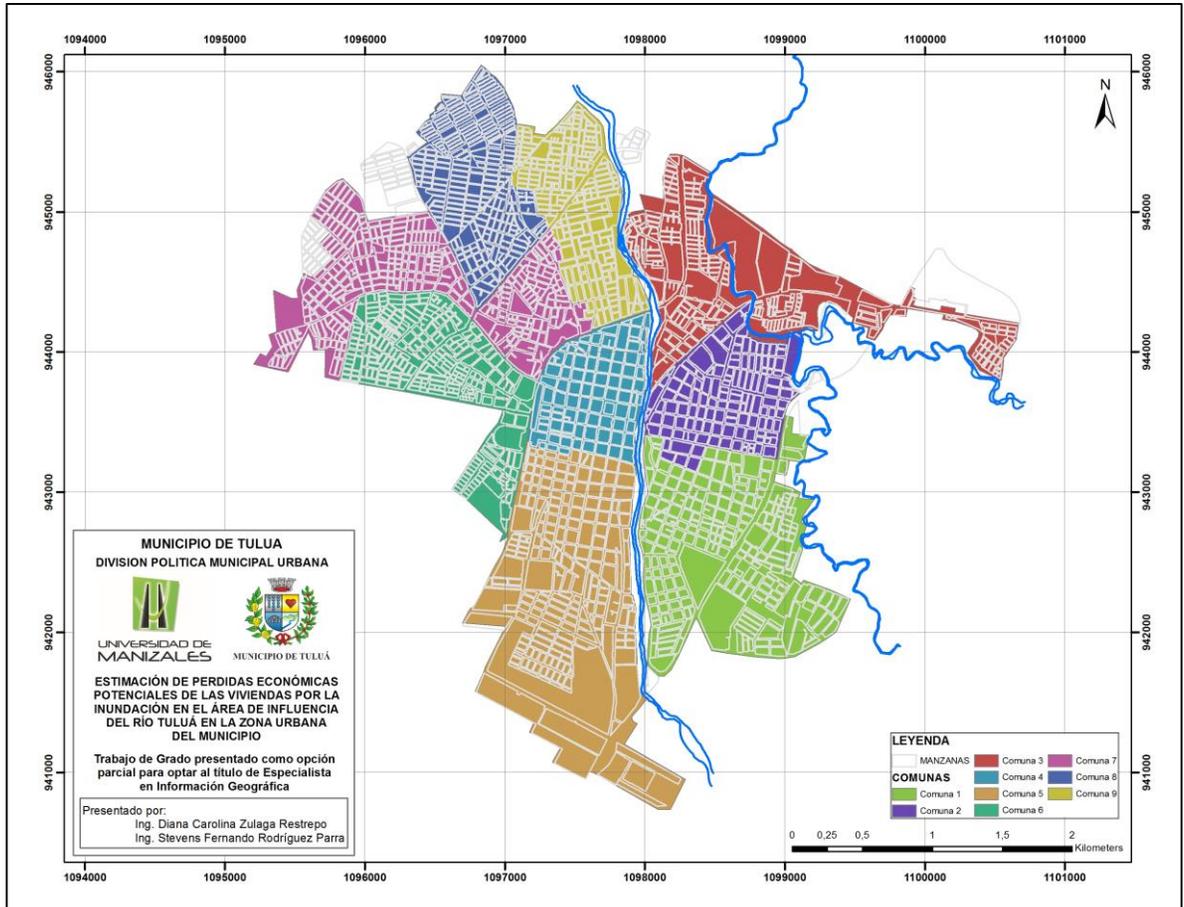
Para el desarrollo del presente trabajo, se utiliza el área de influencia del río Tuluá, por ser predominante frente a las demás fuentes hídricas presentes en el Municipio, por la disponibilidad, acceso y validez de información actualizada.

El río Tuluá atraviesa el área urbana del Municipio pasando por las comunas 1, 2, 3, 4, 5 y 9 lo cual equivale casi a la totalidad de las comunas que existen en él, teniendo injerencia en los diferentes estratos socioeconómicos (véase Figura 2) y las áreas de actividad donde se desarrollan usos dotacionales, comerciales, de servicios, residenciales, entre otros. La cercanía del cuerpo de agua al desarrollo urbanístico de la ciudad, ha ocasionado afectaciones a la población y al funcionamiento de la misma, principalmente por el desbordamiento del río de su cauce.

En la pasada ola invernal ocurrida durante los años 2010 y 2011, la inundación del río Tuluá alcanzó zonas que no se habían señalado en el mapa de zonificación de amenaza adoptado por el Plan de Ordenamiento Territorial- POT en el año 2000 (véase Figuras 3 y 4), registrando alturas del agua de hasta 1 m en las comunas 2 y 3. Éste es un argumento encontrado para rectificar las zonas de inundación por medio de la modelación del fenómeno, para identificar su comportamiento en el desarrollo de éste proyecto y alcanzar el cálculo de las pérdidas en el área urbana del Municipio.

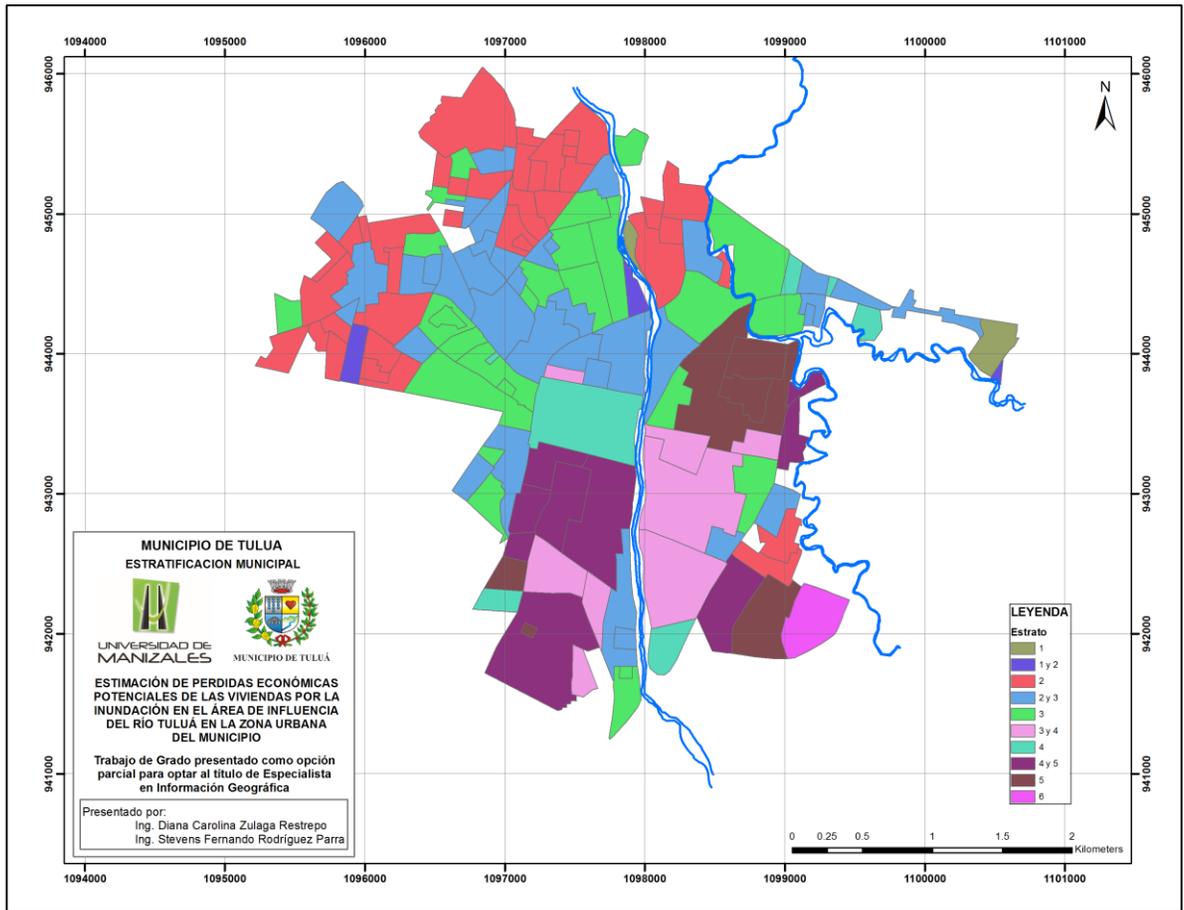
Por otro lado, y para obedecer a la aplicación de la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, se requiere conocer la cantidad de las posibles pérdidas económicas que se pueden presentar ante un evento de inundación, para diferentes periodos de retorno en el Municipio, utilizando para este fin la información suministrada por la encuesta del Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales-SISBEN. Así, se busca construir cartografía temática del municipio de Tuluá, para que sea utilizada como herramienta en la toma de decisiones administrativas y de ordenamiento territorial.

Figura 1. División Política Municipal Urbana.



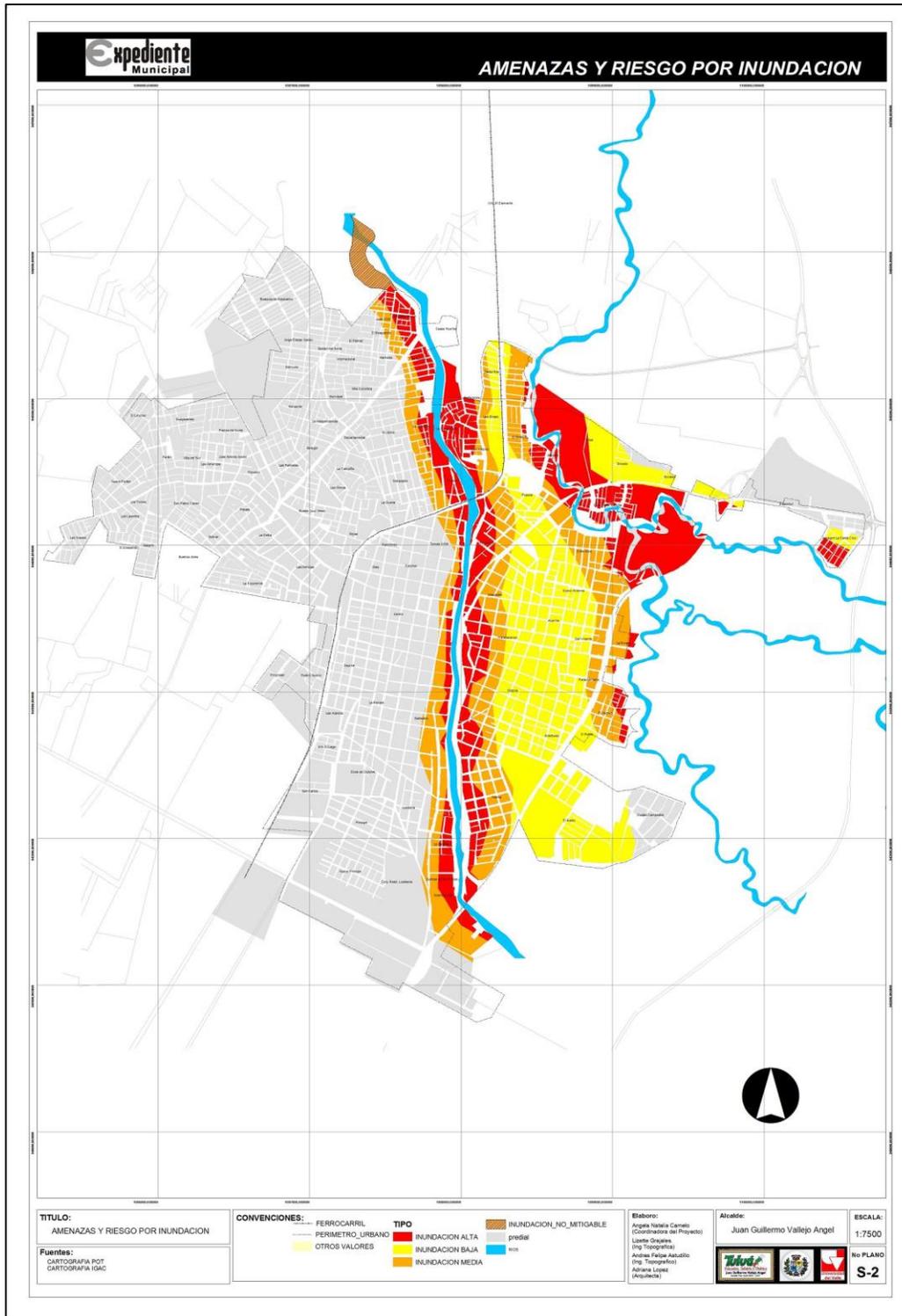
Fuente. Elaboración Propia con Información del DAPM Tulúa.

Figura 2. Estratificación socioeconómica del Municipio.



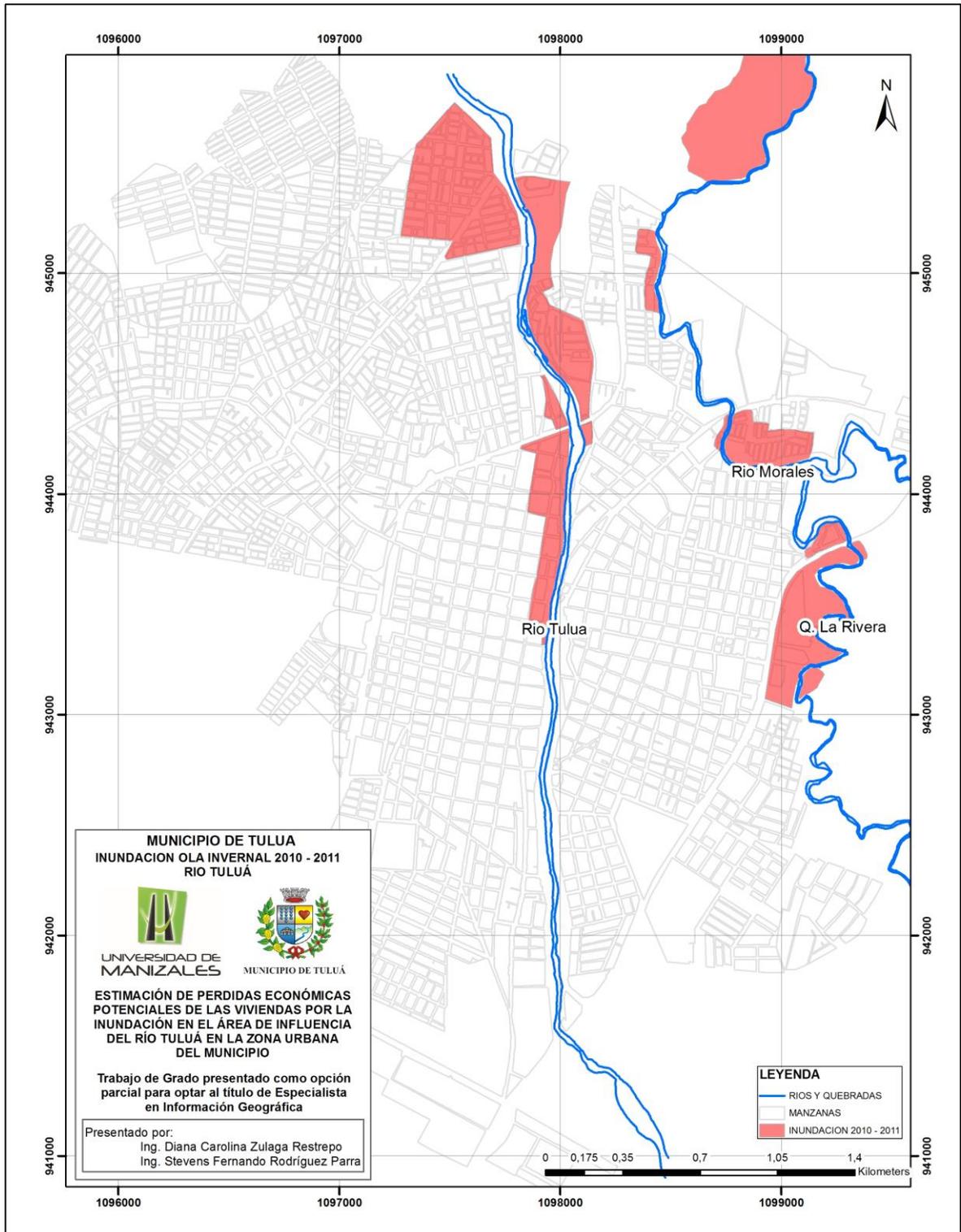
Fuente. Elaboración Propia con Información del DAPM Tulúa.

Figura 3. Zonificación de la Amenaza por Inundación POT 2000.



Fuente. DAPM Tuluá.

Figura 4. Inundación Ola Invernal 2010-2011 Río Tuluá.



Fuente. Elaboración Propia con Información del DAPM Tuluá.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar las pérdidas económicas potenciales de las viviendas por la inundación en el área de influencia del río Tuluá en la zona urbana del municipio de Tuluá.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y espacializar a través de la modelación hidrológica los niveles de inundación que se alcanzan en el área de influencia del río Tuluá, para distintos periodos de retorno.
- Estandarizar la base de datos geográfica urbana del municipio con la base de datos alfanumérica del Sistema de Información de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales-SISBEN pertenecientes al área de influencia.
- Estimar las pérdidas económicas potenciales por la inundación, a partir de la información obtenida del componente de Datos del Hogar de la encuesta del SISBEN y el estrato socioeconómico en el área de influencia
- Visualizar por medio de la generación de cartografía temática las pérdidas económicas que pueden producirse ante un evento de inundación en el área de influencia.

3. JUSTIFICACIÓN

La importancia del desarrollo del presente trabajo consiste básicamente en dotar al municipio de Tuluá de los insumos necesarios para la aplicación de la Política de Gestión del Riesgo de Desastres, encaminada a la planificación del desarrollo de un territorio seguro, que si bien su área urbana se consolida alrededor de una fuente hídrica, en su desarrollo se pueden constituir las medidas necesarias para disminuir la vulnerabilidad de la población y así mismo el riesgo.

Parte de lo anterior se sustenta en el reporte obtenido por el Municipio del alcance que tuvo la inundación en la pasada ola invernal de los años 2010 y 2011, la cual superó lo que se encontraba señalado en el mapa de zonificación de amenazas del Plan de Ordenamiento Territorial del año 2000. Por lo cual se decidió identificar las áreas de inundación a través de la modelación hidrológica con diferentes periodos de retorno, teniendo en cuenta estudios realizados por el IDEAM en el año 2013 y por la Consultoría que adelanta la actualización y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio.

Algo novedoso que tiene este trabajo es el cálculo de las pérdidas económicas potenciales, utilizando como insumo principal la base de datos del Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales-SISBEN, la cual especifica los bienes y servicios con los que cuenta un hogar, así como el material predominante de las paredes exteriores y de los pisos.

Lo anterior, es importante conocerlo debido a que los municipios tienden a no destinar los recursos necesarios para la Gestión del Riesgo, incluso porque está demostrado debido a la experiencia que las pérdidas económicas que se generan con la materialización de un riesgo, pueden superar incluso el presupuesto de operación de un municipio, por tanto, esto es necesario conocerlo, ya que termina siendo más económico y más beneficioso invertir en una adecuada prevención, que en la atención de un desastre, sin contar el retraso de desarrollo que puede alcanzar a tener un municipio en cuanto a infraestructura de las comunicaciones, vías, infraestructura de líneas vitales, viviendas, equipamientos, teniendo en cuenta además los impactos sociales y económicos en la industria, el comercio, entre otros servicios.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 INUNDACIONES¹

WHITTOW (1988) define el proceso de inundación como la sumersión bajo el agua de una zona terrestre que normalmente no está cubierta por la misma, debido a un cambio relativamente rápido del nivel de la masa de agua en cuestión.

No todas las crecidas producen inundaciones y no todas las inundaciones proceden de crecidas de sistemas fluviales. Mientras las crecidas siempre tienen lugar en sistemas fluviales, aunque su mecanismo y sus efectos no afectan sólo a los cauces, las inundaciones pueden producirse por desbordamiento de un cauce, pero también por elevación del nivel del mar o del nivel freático, dificultades de drenaje, represamientos, etc. En las crecidas fluviales las inundaciones reducen la punta de caudal, ya que expanden el flujo y ralentizan el paso del agua, retardan la descarga, constituyendo por tanto una laminación natural de la crecida.

Entre las principales causas de inundación se encuentran las siguientes:

- Desbordamiento de un cauce como consecuencia de una crecida. La inundación constituye un proceso natural consistente en la ampliación temporal del lecho fluvial: el río ocupa su llanura de inundación o cauce mayor. Es lo que podemos denominar inundación fluvial, que será diferente según nos encontremos en un cono de deyección, en un curso alto, en un curso bajo o en una llanura de inundación próxima a la costa en la que la zona inundable adquiere forma irregular afectando a marismas o albuferas (MATEU, 1990). El desbordamiento puede presentar dos tipologías: inflow (elevación progresiva del nivel de las aguas en valles y llanos de inundación de perfil transversal cóncavo) y outflow (desparramamiento desde el río hacia las cotas más bajas del área adyacente en valles de perfil transversal convexo).
- Insuficiencia o imposibilidad de drenaje del agua precipitada en determinadas superficies: terrenos impermeables, zonas urbanas, áreas endorreicas. El agua permanece varios días hasta que se evapora o se infiltra.
- Elevación del nivel freático hasta producirse el encharcamiento superficial.
- Inundación en el área de confluencia de dos sistemas fluviales. Un río crecido no puede recibir los caudales de sus afluentes y produce un cierre hidráulico,

¹ OLLERO OJEDA Alfredo (1997, Octubre). *Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico un planteamiento didáctico*. Recuperado el 2 de mayo de 2015, del sitio Web de Ingeba: <http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur20/200oller/ollero20.htm>

de manera que su propia crecida penetra en aquellos y provoca inundaciones al remansar sus descargas. También pueden coincidir las crecidas de los dos afluentes, produciendo efectos graves y complejos.

4.1.1 Consecuencias de los procesos de crecida e inundación²

- Efectos en el Medio Natural: Una crecida es mucho más que una punta de descarga fluvial. Unas horas de crecida pueden modificar más el paisaje que decenas de años de escorrentía normal (ROSSELLÓ, 1972). Estamos por tanto ante un proceso geomórfico decisivo en la dinámica de los sistemas fluviales, que afecta tanto a los cauces como a las áreas potencialmente inundables (terrazas fluviales holocenas o históricas, abanicos aluviales funcionales, llanos de inundación, deltas, bordes de albuferas, depresiones endorreicas, depresiones kársticas). Las repercusiones a veces se dejan notar tras varias crecidas sucesivas, con cierto tiempo a escala geológica (MATEU, 1990).

Entre las principales consecuencias en el medio abiótico de los procesos de crecida e inundación se encuentran:

- a. Hay una aceleración en los cauces de los procesos de erosión, transporte y sedimentación. Predominan los procesos de erosión, tanto en las orillas como en el fondo del lecho, durante el ascenso y punta de las aguas, conforme aumenta la profundidad de la corriente, pero con el descenso, cuando su velocidad y profundidad disminuyen, se depositan los materiales (sedimentación diferencial) con un balance final muy similar al inicial.
- b. La principal consecuencia geomórfica de las crecidas es la formación y procesos en los llanos de inundación. El desbordamiento genera allí corrientes anárquicas, redistribuciones de materiales y numerosas microformas de relieve. El resultado son acumulaciones de gravas, inicios de nuevos cauces, encharcamientos, profundos socavones, corrimientos de tierras, arranque de árboles, elevación de diques naturales de ramas y materiales arrastrados, etc.
- c. Hay efectos geológicos indirectos que se dan a posteriori y que se deben a los cambios bruscos en el nivel freático: movimientos en masa, efectos sumidero, hundimientos, etc. Las aguas que inundan la llanura de inundación terminan por infiltrarse recargando y renovando los acuíferos aluviales, o bien se evaporan con el tiempo.

² Ibíd.

- d. Por otro lado, las crecidas renuevan el ambiente fluvial y los hábitats, favoreciendo la regeneración de los ecosistemas. Muchas especies no podrían sobrevivir si no hubiera crecidas periódicas. Por este motivo es recomendable una política de gestión de sistemas fluviales que permita crecidas e inundaciones periódicas con objeto de restablecer el equilibrio de los ecosistemas alterados por la supresión total de oscilaciones de caudal que puede comportar la regulación.
- Efectos en el medio humano: Crecidas e inundaciones constituyen fenómenos físicos y socio-económicos que afectan las actividades humanas y a su vez son modificadas por ellas, de manera que protagonizan una de las relaciones más paradigmáticas del hombre y su entorno natural (MATEU, 1990).

Hay que destacar la existencia de varias consecuencias de estos procesos beneficiosas para el hombre: el incremento de la fertilidad del suelo, la limpieza de cauces, la renovación de aguas estancadas, la renovación de acuíferos aprovechables o el riego con aguas de avenida en zonas deficitarias.

Sin embargo, las consecuencias son, en su mayor parte, negativas, y pueden estructurarse en tres grandes bloques:

- a. Daños en infraestructuras: vías de comunicación, sistemas de telecomunicación, viviendas, instalaciones industriales, edificaciones agrícolas, puentes, defensas, presas, azudes, estaciones de aforo, redes de agua potable, conducciones enterradas, aterramiento de embalses, canales y acequias, etc.
- b. Repercusiones en actividades humanas: paralización de actividad por la inundación (corte de comunicaciones y energía), pérdidas económicas directas e indirectas en el sector privado y en el público, gastos económicos en reparaciones, limpieza general y ayudas de emergencia, incremento del paro y retroceso de la prosperidad general, conflictos de propiedad, efectos psicológicos y sociológicos (percepción individual y colectiva del riesgo), epidemias y problemas de salud pública por expansión de contaminantes, corte del agua potable, falta de abastecimiento, aguas estancadas, etc.
- c. Pérdida de vidas humanas, tanto directa como indirecta.

4.1.2 Medidas de gestión para el control de las afectaciones ocasionadas por la inundación. Para WARD (1978) las inundaciones no son desastres naturales sino fenómenos naturales que responden a las pautas habituales del flujo de los ríos. Los desastres son obra de los hombres en tanto que ha buscado el riesgo

ocupando los llanos de inundación con edificios, campos o industrias, carreteras, puentes, vías férreas, etc. por ignorancia o conveniencia económica³.

Si bien desde el año 1978 ya se había hablado que las inundaciones no son desastres naturales, debido a que los asentamientos humanos se desarrollan “buscando el riesgo” invadiendo los espacios ocupados por el comportamiento natural de los ríos, es apenas que 34 años después (año 2012) que para Colombia se adopta una Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, encaminada principalmente a ser una política de desarrollo enfocada en el ordenamiento sostenible del territorio.

4.2 GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES⁴

La gestión del riesgo de desastres, en adelante la gestión del riesgo, 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. Se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población.

Para todos los efectos legales, la gestión del riesgo incorpora lo que hasta ahora se ha denominado en normas anteriores prevención, atención y recuperación de desastres, manejo de emergencias y reducción de riesgos. La gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano.

En cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán los procesos de gestión del riesgo, entiéndase: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres, en el marco de sus competencias, su ámbito de actuación y su jurisdicción, como componentes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Por su parte, los habitantes del territorio nacional, corresponsables de la gestión del

³ *Ibíd.*

⁴ CONGRESO DE COLOMBIA (2012, Abril). *Ley 1523 de 2012*. Recuperado el 4 de abril de 2015, del sitio Web de la Alcaldía de Bogotá:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47141>

riesgo, actuarán con precaución, solidaridad, autoprotección, tanto en lo personal como en lo de sus bienes, y acatarán lo dispuesto por las autoridades.

4.2.1 Amenaza⁵. 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.

4.2.2 Vulnerabilidad⁶. Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos

4.2.3 Riesgo de desastres⁷. 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.

4.2.4 Herramientas que permiten el conocimiento del riesgo. Existen herramientas a través de las cuales se apoya el avance del conocimiento del riesgo, el cual es base fundamental para la adecuada aplicación de la Política Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres.

Estas herramientas se desarrollan principalmente con el estudio de la Geomática que permite un pensamiento y análisis espacial para la solución de problemas, a través del impulso por conocer el planeta y la necesidad de representarlo, aplicando tecnología que permita la generación de información georreferenciada, el procesamiento, manejo y actualización de ésta. Así, la Geomática permite el manejo científico de la información espacial (SIG, Fotointerpretación y Geoestadística), entre otros a través de los sensores remotos o teledetección.

⁵ Ibíd.

⁶ Ibíd.

⁷ Ibíd.

4.3 TELEDETECCIÓN⁸

Si hemos definido la teledetección espacial como aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, estamos suponiendo que entre la Tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, ya por emisión propia. A su vez, es preciso que ese haz energético recibido por el sensor se transmita a la superficie terrestre, donde la señal detectada pueda almacenarse y, en última instancia, ser interpretada para una determinada aplicación. Como antes comentamos, ese análisis de la información recibida se incluye también – en sentido amplio – dentro del estudio de la teledetección, aunque este más allá de los procesos de adquisición propiamente dichos.

4.3.1 Tipos de Sensores. Existen diferentes tipos de sensores y se caracterizan principalmente por su funcionamiento autónomo y dependiente.

- Los sensores dependientes, son aquellos que para su funcionamiento dependen de la energía solar, ya que ésta es la fuente por medio de la cual realizan su operación. Un ejemplo de éstos son: los satélites (LANDSAT, IKONOS, SPOT, entre otros)
- Los sensores autónomos, son aquellos que para su funcionamiento no dependen de la energía solar, ya que poseen una fuente de energía propia. Un ejemplo de éstos son: los radares (RADARSAT, LIDAR, entre otros)

4.3.2 LIDAR⁹. LIDAR significa *Light Detection and Ranging*, es un método de teledetección que utiliza la luz en forma de un láser pulsado para medir rangos (distancias variables) a la Tierra. Estos pulsos de luz-combinados con otros datos registrados por el sistema aerotransportado- generan información precisa, en tres dimensiones sobre la forma de la Tierra y sus características superficiales.

Un instrumento LIDAR se compone principalmente de un láser, un escáner y un receptor GPS especializado. Aviones y helicópteros son las plataformas más utilizadas para la adquisición de los datos LIDAR sobre grandes áreas. Los dos tipos de LIDAR son topográfico y batimétrico. LIDAR Topográfico normalmente utiliza un láser infrarrojo cercano para mapear la tierra, mientras que LIDAR

⁸ Chuvieco, E. (1995) *Fundamentos de Teledetección Espacial* (2da. Ed.). España: Ediciones RIALP S.A. Madrid.

⁹ What is LIDAR? (s.f.). Recuperado el 3 de mayo de 2015, de <http://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>

batimétrico utiliza la luz verde de penetración de agua para medir también del fondo marino y elevaciones del río.

4.4 HEC GEO RAS¹⁰

Se le denomina al conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades para el procesamiento de datos geoespaciales en Arc GIS. La cual permite importar la información generada en HEC RAS, para posteriormente generar salidas gráficas y demás visualizaciones por medio de Arc GIS.

4.4.1 HEC-RAS¹¹. Es un software diseñado para cálculos hidráulicos unidimensionales para canales naturales y construidos. La siguiente es una descripción de las principales capacidades de HEC-RAS.

- Interactúa con el usuario a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI), la cual permite la entrada de los datos y edición de los mismos, gestionar archivos, análisis, tabulaciones y representaciones gráficas, informes y ayudas.
- Análisis de componentes hidráulicos:
 - a. Cálculos de perfil de superficie de agua con flujos constantes
 - b. Simulación de flujo no constante
 - c. Transporte de sedimentos/ Calculo de limites móviles
 - d. Análisis de calidad de agua
- Almacenamiento y gestión de datos
- Gráficos y reportes. Donde se pueden observar secciones transversales, perfiles, curvas de gasto, hidrogramas, entre otras variables; al tiempo que se puede observar información tabular predefinida o personalizada.
- RAS Mapper. Permite especializar la información obtenida en la modelación.

¹⁰ US Army Corps of Engineers (s.f.) Recuperado el 3 de mayo de 2015, de <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

¹¹ Ibíd.

4.5 SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES BENEFICIARIOS DE PROGRAMAS SOCIALES-SISBEN¹²

El Sisbén es un instrumento de focalización individual que identifica los hogares, las familias o los individuos más pobres y vulnerables. Es el sistema de información colombiano que permite identificar a la población pobre potencial beneficiaria de programas sociales (etapa de identificación)

4.5.1 Su conformación¹³. El instrumento está conformado por tres elementos:

- El índice Sisbén.
- La ficha de clasificación socioeconómica.
- El Software con el que se estima los puntajes del índice.

4.5.2 Su importancia¹⁴. La utilización del Sisbén ha generado beneficios importantes en la medida que los diferentes programas no tienen que efectuar el proceso de recolección de información de sus potenciales beneficiarios de manera directa.

El DNP se encarga de implementar y administrar el instrumento Sisbén, y suministrar la información recolectada a los encargados de operar los programas sociales.

4.5.3 Su utilización¹⁵. Por lo menos 8 instituciones y 22 programas del orden nacional utilizan actualmente el Sisbén como criterio principal o complementario

4.5.4 Las versiones¹⁶. A la fecha, se han desarrollado dos versiones del instrumento, Sisbén I y Sisbén II. La última versión (Sisbén III) se encuentra en etapa de implementación.

4.6 ANTECEDENTES

Los estudios encontrados relacionados a la inundación en las ciudades y a las pérdidas económicas por el fenómeno de inundación, se encuentran ejecutados en países de Latinoamérica y del continente Europeo. Estudios a partir del año 2000 hasta el año 2010.

¹² Departamento Nacional de Planeación (s.f.) Recuperado el 3 de mayo de 2015, de https://www.sisben.gov.co/Portals/0/Documentos/Documentos%20Tecnicos/04.%20SisbenIII_B%C3%A1sica_200510.pdf

¹³ Ibíd.

¹⁴ Ibíd.

¹⁵ Ibíd.

¹⁶ Ibíd.

4.6.1 Estudios de inundación en las ciudades.

Cuadro 1. Estudio de inundación en Tena-Ecuador

PAÍS / AÑO	Ecuador
MUNICIPIO/LUGAR	Tena
NOMBRE DEL ESTUDIO	Recuperación paisajística y estudio de inundabilidad del sistema hídrico a su paso por Tena.
OBJETIVOS	No especificados.
METODOLOGÍA	Con la topografía realizada del río se utilizó el software HEC-Ras para calcular la inundabilidad. Teniendo en cuenta los caudales de las estaciones hidrológicas del río y los cálculos de la rugosidad de Manning-Strickler para el eje del río y los bordes del río.
RESULTADOS LOGRADOS / ESPERADOS	Obtención de la inundabilidad a través del software HEC-Ras para un periodo de retorno de 500 años. Obtención de la inundabilidad a través del software HEC-Ras para un periodo de retorno de 100 años.
CONCLUSIONES / DIFICULTADES ENCONTRADAS	Como ya se ha visto, proyectar una estructura para un periodo de retorno tan elevado como 500 años es imposible económicamente hablando para el municipio de Tena. De hecho lo que se debería hacer es minimizar los costes de la estructura. Estos se pueden definir como los costes de construcción más los costes por los daños causados en caso de avenida. En este caso, y a pesar de no haber hecho un estudio detallado de costes, se ha llegado a la conclusión de que Tena no puede asumir los costes de construcción para un periodo de 500 años, y por eso se proyectará la estructura para 100 años, que es lo que se hacía en España hasta los años noventa.

Fuente: Los Autores.

Cuadro 2. Estudio de inundación en Caquetá-Colombia

PAÍS / AÑO	Colombia- 2004
MUNICIPIO / LUGAR	Florencia Caquetá
NOMBRE DEL ESTUDIO	Geomorfología e hidrología, combinación estratégica para el estudio de las inundaciones en Florencia (Caquetá).
OBJETIVOS	(General) Determinar zonas de susceptibilidad y amenaza por inundación en el casco urbano de Florencia a partir de un análisis hidrometeorológico y geomorfológico. (Específico 1) Establecer la torrencialidad del río Hacha a partir del análisis de precipitación, litología, uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca. (Específico 2) Identificar geoformas en la ciudad de Florencia y áreas circundantes con el fin de determinar la susceptibilidad a las inundaciones.

	<p>(Específico 3) Pronosticar los caudales máximos para diferentes períodos de retorno a partir de los datos históricos de caudales máximos registrados en la estación hidrológica ubicada en el río Hacha, determinando la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de inundación en la ciudad de Florencia.</p>
METODOLOGÍA	<p>Análisis regional de la cuenca, para establecer la torrencialidad y evidenciar los procesos geodinámicos que pueden desencadenar las crecientes en los cauces y posteriormente las inundaciones súbitas.</p>
	<p>Análisis de información secundaria e interpretación de imágenes de satélite Landsat y Radar, apoyado observaciones de campo para el cálculo de parámetros morfométricos (área de la cuenca, perímetro y longitud del río).</p>
	<p>Caracterización hidrológica, utilizando la estación limigráfica para el diseño de hidrogramas en los eventos registrados de inundación, para caracterizar la duración del caudal pico.</p>
	<p>Utilización de la curva de Gumbell para el cálculo del periodo de retorno.</p>
	<p>La amenaza se determinó por la frecuencia en el periodo de retorno y no en el volumen del caudal. Con periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años.</p>
RESULTADOS LOGRADOS / ESPERADOS	<p>De acuerdo a la curva de Gumbell se determinó la amenaza alta para un periodo de retorno de 5 años, alta-media para un periodo de retorno de 25 años y media para un periodo de retorno de 50 años.</p>
	<p>Se realizaron perfiles transversales para espacializar el nivel de inundación que alcanzarían los caudales para cada periodo de retorno.</p>
	<p>Se calculó el coeficiente de rugosidad de Manning para encontrar la velocidad de la corriente.</p>
	<p>La geomorfología facilitó clasificar los niveles de terraza en susceptibilidades mediante la correlación de eventos hidrológicos extremos y la morfología del terreno. Por tanto, a partir del mapa geomorfológico se definió el grado de susceptibilidad a la ocurrencia del fenómeno de inundación.</p>
CONCLUSIONES / DIFICULTADES ENCONTRADAS	<p>Las características de la cuenca hidrográfica en donde se localiza la población urbana de Florencia, permite concluir que la carga de sedimentos producida no ha sido suficiente para la formación de conos o abanicos aluviales, como sí ha ocurrido en otras zonas de piedemonte del país (Ibagué, Villavicencio, Yopal,...) donde los flujos torrenciales llegan canalizados por una fuerte pendiente y con una alta carga de sedimentos.</p>

	<p>Aunque la deficiencia de información solo permitió cuantificar la amenaza para el sector de la ciudad comprendido desde el puente El Encanto hasta el barrio San Fernando cerca de la confluencia del río Hacha con las Quebradas El Dedo y La Yuca (cortes transversales, perfiles 1, 2 y 3), se considera que el mapa de susceptibilidad a la inundación es adecuado y puede resultar útil como insumo para los estudios de Ordenamiento Territorial y de Planificación en la ciudad de Florencia.</p>
	<p>La ciudad se halla inminentemente en peligro por la recurrencia del fenómeno, la forma repentina con que ocurren las inundaciones súbitas y la proximidad de las viviendas a las quebradas y al Río Hacha. Por tanto, es adecuado continuar con los planes de prevención y mitigación, pero se recomienda que progresivamente se considere la reubicación de la población amenazada.</p>

Fuente: Los Autores.

Cuadro 3. Estudio de inundación en Burriana-España

PAÍS / AÑO	España- 2013
MUNICIPIO / LUGAR	Burriana Castellón
NOMBRE DEL ESTUDIO	Estudio de inundabilidad en el tramo final del río VEO en el T.M. de Burriana (Castellón)
OBJETIVOS	<p>El objeto del presente estudio es concretar el riesgo de inundación existente y proponer las medidas oportunas que hagan compatible el desarrollo de la actividad solicitada, en el ámbito delimitado por la Av. Cañada Blanch, Av. Unión Europea, Camí Fondo y Camí del Grau, en el T.M. de Burriana, en condiciones de seguridad y sin producir incrementos significativos del riesgo a terceros tal y como establece el PATRICOVA.</p>
METODOLOGÍA	<p>Según se desprenden de los cálculos hidrológicos realizados, los caudales máximos esperables al final del encauzamiento del río Veo a su paso por Burriana son inferiores a la capacidad del encauzamiento del río en la zona urbana aguas arriba, por lo que no se esperan desbordamientos en este tramo, sino aguas abajo</p> <p>Se constata también en el hidrograma de salida, que el tiempo de llegada de caudal procedente de la cuenca superior al punto de cálculo es cercano a las 12 h. Una vez obtenidos los caudales de escorrentía para diferentes períodos de retorno (y por tanto probabilidades de ocurrencia) a partir de la cuenca de drenaje, se procede a modelizar tanto el cauce actual aguas abajo como la llanura de inundación del mismo, permitiéndonos conocer en base a las características geométricas e hidráulicas del terreno (pendiente, número de Manning, capacidad de infiltración, etc...) qué cota alcanzará la lámina de agua, y en consecuencia las zonas de inundación afectadas para distintos periodos de retorno.</p>

	<p>Para llevar a cabo la modelización, se han utilizado los datos del terreno, obtenidos mediante técnica LIDAR cuya resolución espacial es de 1 m. Los datos utilizados proceden de los estudios realizados por la C.H.J. para la realización de la cartografía del “Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables”. Estos datos se encuentran ya filtrados y tratados para su utilización en el estudio de inundabilidad.</p>
	<p>Una vez extraídas las cotas altimétricas del terreno del modelo LIDAR, e introducidas en el mallado del modelo de inundación bidimensional, se introducen los coeficientes de rugosidad de Manning tanto del cauce actual como de la zona de inundación según sean su características, teniendo por tanto unos coeficientes que varían desde 0.035 en cauce desnudo a 0.14 en zonas de llanura de inundación con vegetación arbórea densa.</p>
<p>RESULTADOS LOGRADOS / ESPERADOS</p>	<p>Los resultados de la simulación hidráulica bidimensional se exportan a un sistema de información geográfica (SIG) que importan los resultados y delimitar las zonas de inundación en base a las cotas de la lámina de agua de la zona inundada y las cotas de terreno existente, obteniendo por tanto los calados de inundación resultantes.</p>
	<p>Los resultados de inundación para la zona de estudio arrojan unos resultados satisfactorios hasta un periodo de retorno igual o inferior a 100 años, no afectando a la zona de acampada y con un margen suficiente de tiempo de reacción ante avenidas de mayor caudal.</p>
	<p>Para periodo de retorno de 500 años, parte de la zona de acampada quedaría afectada por la inundación, y correspondería a un riesgo 6 según la clasificación del PATRICOVA, con un calado inferior a 0.8 m.</p>
<p>CONCLUSIONES / DIFICULTADES ENCONTRADAS</p>	<p>La escorrentía producida en la red de drenaje natural de la zona de estudio, se recoge por varios cauces existentes y claramente identificables, no habiendo zonas donde desaparezca el cauce principal, tal como se muestran en las simulaciones hidrológicas realizadas con el modelo de HEC-HMS y comparando con la cartografía existente de la zona y la fotointerpretación de las ortofotos.</p>
	<p>Las lluvias estudiadas para los meses de julio y agosto, producen una escorrentía en la cuenca de captación que a pesar de considerar varios coeficientes correctores, se mantiene un coeficiente de seguridad considerando que no hay laminación de la presa de Onda.</p>
	<p>Como resultado de los estudios de inundabilidad mediante las simulaciones bidimensionales, se extrae como conclusión que para un periodo de retorno de 100 años no existe riesgo de inundación en la zona de acampada y en ninguna zona del ámbito del Plan Especial.</p>

	<p>Para un periodo de retorno de 500 años existe riesgo de inundación en parte de la zona de acampada, con unos calados entre 0.4 - 0.7 m. Atendiendo a la clasificación de riesgos de inundación del PATRICOVA se trataría de un riesgo de inundación 6 (P.R. entre 500 y 100 años y calado <0.8 m.). Como en el presente estudio no se ha considerado el efecto reductor del drenaje de los colectores de la Av. Vicente Cañada Blanch, se prevé que una vez se implementen dichas estructuras en el cálculo, se reduzca de forma significativa el calado y/o el área de inundación.</p>
	<p>Como ya se ha indicado sólo para el periodo de retorno de 500 años se produce inundación en la zona de acampada, no obstante se ha podido constatar en el estudio que el tiempo que debe transcurrir desde el comienzo de la lluvia para que se produzca inundación en dicha zona por el desbordamiento del río Veo es de como mínimo 15 horas, siendo necesario el transcurso de 17 horas para que se alcance un calado de inundación de 0.3 m.</p>

Fuente: Los Autores.

Cuadro 4. Estudio de inundación en Toledo-España

PAÍS / AÑO	España- 2009
MUNICIPIO / LUGAR	Toledo
NOMBRE DEL ESTUDIO	Estudio de inundabilidad del entorno de la Laguna Grande de Quero (Toledo), propuesta de actuación.
OBJETIVOS	Realizar un estudio pluviométrico a través del análisis de los datos pluviométricos, los cuales son base para la obtención de un modelo hidrometeorológico mediante la aplicación HEC-HMS de la zona de estudio.
	Realizar un estudio hidráulico, que permita determinar el comportamiento hidráulico de la vía de desagüe de la laguna, a través de la circulación de distintos caudales.
	Realizar un estudio de inundación definiendo las cotas que alcanzan la lámina de agua de la laguna para cada periodo de retorno.
METODOLOGÍA	Análisis de la calidad de los datos de precipitaciones diarias, detectando los valores máximos o mínimos anómalos, empleando el método de las dobles acumulaciones en el que se comparan los datos de dos estaciones de características homólogas (proximidad, ubicación...)
	Se realiza una modelación matemática del canal de desagüe creando un modelo de simulación hidráulica con HEC- RAS, utilizando el coeficiente de rugosidad de Manning, las condiciones de contorno y el caudal circulante.
	Con los datos obtenidos por el método de Puls para cada periodo de retorno, es posible hallar la altura que alcanzará la lámina de agua. El valor máximo que se alcance para cada periodo de retorno estudiado define la cota de inundación.

RESULTADOS LOGRADOS / ESPERADOS	Con la serie de PMDA observada se ajusta la función de distribución SQRT-ET max; a partir de esa ley se obtienen precipitaciones máximas diarias en cada estación para cada periodo de retorno.
	Así, siendo la descarga de los dispositivos de evacuación en función de la cota de la superficie libre se obtiene la curva lineal Cota- Caudal de desagüe.
	Situación Tipo 1) El caudal de salida es igual a cero. Toda el agua que llega va llenando la laguna, la máxima cota de llenado no supera la rasante del canal (≤ 646.5 m.s.n.m.): la cota de inundación la define el volumen de agua total entrante más el volumen inicial de la laguna (0.265 hm ³). Entrando en la curva de almacenamiento $S = f_1(z)$ obtenida por la cubicación de la laguna Situación Tipo 2) El caudal de salida es distinto de cero. El agua termina de llenar la laguna y supera la rasante del canal (>646.5 m.s.n.m), por lo que comienza a desaguar por el mismo, originándose caudal de salida. El máximo caudal del hidrograma de salida definirá la cota de inundación; entrando con este caudal en la curva cota-desagüe $O = f_2(z)$, se obtiene la cota en metros que define la punta del aguacero.
CONCLUSIONES / DIFICULTADES ENCONTRADAS	La laguna no evacua por el canal de la Sangría hasta que el agua ha alcanzado la cota de 646,60 msnm, la cual coincide con el valor de la solera de la obra de paso. La variación de la laguna para un periodo de retorno de 50 años, periodo estimado en el que comienza a evacuarse agua por el canal. El agua, después de superar la cota de la rasante del canal, se vierte por el mismo. En la gráfica se observa que se supera la cota 646.5, sigue creciendo porque entra más agua que la que está saliendo, cuando esta relación se invierte, la gráfica desciende indicando que la cota de la laguna disminuye. La variación se volverá a estabilizar una vez que el nivel del agua baja por debajo de la cota de la rasante.

Fuente: Los Autores.

4.6.2 Estudios de pérdidas económicas a causa de las inundaciones en las ciudades.

Cuadro 5. Estudio de pérdidas económicas en Puebla-México

PAÍS / AÑO	México- 2006
MUNICIPIO / LUGAR	Estado de Puebla
NOMBRE DEL ESTUDIO	No especificado
OBJETIVOS	No especificados
METODOLOGÍA	Simulación hidrológica e hidráulica para visualizar cuatro escenarios de vulnerabilidad por inundación y calificar la magnitud del peligro, relacionados al periodo de retorno.
	Cuantificación de daños donde se contempla la afectación de los bienes materiales de viviendas, habitantes y todo el movimiento de personal, maquinaria y equipo que hace el gobierno para atender la emergencia. Para los costos unitarios por daños a viviendas y habitantes, se calculó estimando el costo por el deterioro de los acabados interiores y exteriores, pérdida total de equipamiento mobiliario, electrodomésticos, documentación personal y los días que se dejó de percibir salario productivo a causa de la inundación, teniendo en cuenta que dichos costos varían de acuerdo al tipo de vivienda y al nivel de afectación.
RESULTADOS LOGRADOS / ESPERADOS	Los daños a equipamiento mobiliario y electrodomésticos se estiman con base a la información proporcionada por los habitantes afectados por inundaciones en la zona de estudio. Existen dos niveles de afectación, el nivel 1 son las viviendas que se inundan más de 0,75 m y pierden por completo salas, comedores, camas, muebles y cocinas; y el nivel 2 son las viviendas que se inundan menos de 0,75 m y no tienen pérdidas de éste tipo.
	Los daños en pertenencias personales se consideran sólo para el nivel 1 de afectación. En el nivel 2 de afectación no se tienen daños debido a que contaron con el tiempo suficiente para guardar sus cosas en un lugar seco y seguro.
	Los daños de inasistencia al trabajo porque faltó para limpiar y ordenar su casa, se estiman diariamente por vivienda considerando una persona económicamente activa y con diferente percepción salarial. De acuerdo a las entrevistas y para cada nivel de afectación se estiman 3 días para el nivel 1 y 1 día para el nivel 2.
	Los automóviles que no alcanzan a salir de la zona de inundación resultan dañados en el motor y vestiduras. Esto afecta a los habitantes de las viviendas residenciales media y no a vivienda popular porque se encuentran sus estacionamientos en la parte alta fuera de la zona de inundación.

	<p>El río Alseeca en condiciones normales está contaminado con aguas residuales de uso doméstico e industrial, cuando se presenta la inundación los damnificados están expuestos a enfermarse de hepatitis y esto implica gastos de medicamentos e incapacidades de trabajo por lo menos durante un mes.</p> <p>El apoyo económico que reciben los damnificados por inundación directamente del Municipio de Puebla, según información proporcionada por Protección Civil en referencia a los sucesos que se presentan hace 10 años en la zona de estudio.</p>
CONCLUSIONES / DIFICULTADES ENCONTRADAS	<p>Los costos totales de daños a viviendas y habitantes se determinan multiplicando el número de viviendas y damnificados por escenarios y nivel de afectación. Para el periodo de retorno de 2 años no se estimaron costos por afectación a viviendas y habitantes porque no hubo viviendas afectadas.</p> <p>Para el caso particular de los costos totales por daños de afectación a vehículos se consideran que el 10% de las viviendas residencial media afectadas a nivel 1 tienen por lo menos un vehículo dañado, para los periodos de retorno de 50 y 100 años.</p> <p>Para el periodo de retorno de 10 años no se estimó el costo por afectación a vehículos y enfermedad porque son pocas las viviendas afectadas y los niveles de agua no son profundos.</p> <p>La estimación de costos se hace por dependencia considerando el número de personal, maquinaria, equipo y días que intervienen a la atención a la emergencia por inundación. Esto se hace con base a los salarios mensuales obtenidos de diferentes páginas de internet que incluye un factor de salario real del 1,5 y con gastos diarios por vehículos de acuerdo a la experiencia del personal de rescate.</p>

Fuente: Los Autores.

Cuadro 6. Estudio de pérdidas económicas en Colombia

PAÍS / AÑO	Colombia- 2004
MUNICIPIO / LUGAR	Publicado en Bogotá
NOMBRE DEL ESTUDIO	Estudio sobre desastres ocurridos en Colombia: Estimación de pérdidas y cuantificación de costos.
OBJETIVOS	No especificados.
METODOLOGÍA	De un listado de 19 desastres ocurridos en el País, se seleccionaron 5: Terremoto de Popayán (Marzo 31 de 1983), Erupción del volcán Nevado del Ruiz y avalancha que destruyó a Armero (Noviembre 13 de 1985), Sismos del Atrato Medio o "Terremoto de Murindó"(Octubre 17 y 18 de 1992), Terremoto de Tierradentro (Junio 6 de 1994), Terremoto del Eje Cafetero (Enero 25 de 1999).

	<p>Se eligieron los 5 eventos por lo siguiente:</p> <p>_En los cinco casos existe información que permite obtener una cifra aproximada al valor real de las pérdidas sufridas por el sector público y el privado, al igual que sobre la inversión de distintas fuentes que se llevó a cabo en cada caso, no solo para responder a las pérdidas sufridas (valor de reposición), sino para intentar que la zona afectada aprovechara las oportunidades de desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida que teóricamente ofrecen los desastres.</p> <p>_En los cinco casos existe información sobre los "modelos de respuesta" (y sus costos) que adoptaron el Estado y las comunidades para conjurar la crisis y avanzar los pasos subsiguientes, lo cual permite reflexionar sobre las tendencias que sigue el país en materia de respuesta-recuperación-reconstrucción-desarrollo.</p> <p>_Cada uno de los casos ha representado un hito en el manejo de los desastres en Colombia.</p>
<p>RESULTADOS LOGRADOS / ESPERADOS</p>	<p>Terremoto de Popayán: Afectó al municipio de Popayán y 11 municipios más con un área aproximada de 2.550 km². Las pérdidas directas se calcularon en aproximadamente \$29.849 millones de pesos colombianos, el 58,2% de los cuales correspondieron a daños en vivienda, dentro de la cual se destacan cerca de \$17.380 millones correspondientes a la pérdida de viviendas en Popayán. Los daños a los servicios públicos se calcularon inicialmente en cerca de 1.070 millones de pesos (acueducto y alcantarillado, teléfonos y electricidad), lo cual equivaldría al costo de reposición de lo existente, pero los costos finales invertidos en "reconstrucción" de esos servicios fueron mucho mayores debido a la súbita expansión física de la ciudad. La cifra final invertida en estos tres servicios hasta 1986 fue de 1.933'377.195. De acuerdo con INGEOMINAS, el valor total de los daños materiales ocasionados por el terremoto representó algo más del 5% del presupuesto total del Estado colombiano en el año de 1983.</p>

Erupción volcán Nevado del Ruiz: El desastre afectó a 13 municipios del Tolima, la capital de uno de los cuales, Armero, quedó totalmente arrasada; y 4 municipios de Caldas, de los cuales el más afectado fue Chinchiná (en el periodo urbano de su capital). No se encontraron estimaciones del valor total de las pérdidas, aunque existen algunas estimaciones del valor de las pérdidas en líneas vitales (electricidad, acueductos y redes de distribución de agua), que ascienden a 210 millones de pesos. Existen cálculos de los efectos sobre la productividad de la zona en 12.000 millones de pesos. Los daños en las actividades primarias en los dos departamentos afectados (agricultura y ganadería) se calculan en 834,4 millones de pesos. De acuerdo con los datos que presenta Rosario Saavedra en su libro, los daños o pérdidas alcanzaron la cifra de Col\$ 1044.4 millones de pesos que representan el 0.02% del PIB de 1985. Sin embargo estas cifras son muy bajas comparadas con las que reportó el DNP, que indican que las pérdidas directas corresponden a \$ 34.940 millones de pesos colombianos.

Sismos de Octubre de 1992 en el Atrato Medio: El terremoto afectó a 30 municipios de Antioquia y 3 del Chocó, el área donde se registraron los efectos más severos es de aproximadamente 521,19 km², donde se destruyó de manera grave la cobertura selvática (por movimientos en masa), lo cual se tradujo, entre otros efectos, en "palizadas" que fueron a dar a los cursos de agua. Las pérdidas totales se calcularon en \$30.833 millones de pesos, lo cual representó el 0,92% del PIB para el año 1992.

Terremoto / Avalancha de Tierradentro: El terremoto afectó 9 municipios del Cauca y 6 del Huila, cuya extensión alcanza 10.000 km². Las pérdidas se calcularon en \$124.176 millones de pesos, lo cual representó un 0,184% del PIB para el año 1994.

Terremoto del Eje Cafetero: El terremoto afectó 28 municipios en 5 departamentos (Caldas, Quindío, Valle del Cauca, Risaralda y Tolima). El sismo fue de tales proporciones y características que, además de la destrucción de infraestructura física urbana y rural, el colapso de los servicios públicos y la parálisis en la actividad económica, tuvo efectos considerables en relación con la pérdida de vidas, el choque emocional, las lesiones físicas y psicológicas provocadas. Las pérdidas se calcularon en aproximadamente 2,79 billones de pesos, lo cual representó un 1,875% del PIB en el año 1999.

CONCLUSIONES / DIFICULTADES ENCONTRADAS	La gran conclusión es que mientras el desastre de Armero ha sido el más significativo en Colombia en términos de pérdidas de vidas humanas, y los terremotos de Tierradentro y del Atrato Medio los más significativos en términos de destrucción ecológica en un medio rural, el terremoto del Eje Cafetero es la situación más compleja de carácter urbano desencadenada por un fenómeno natural que ha tenido que enfrentar el país en toda su historia, tanto por la extensión el área involucrada, como por los altos niveles de destrucción y por el número de sobrevivientes gravemente afectados.
--	---

Fuente: Los Autores.

Cuadro 7. Estudio de pérdidas económicas en Valle del Chalco-México

PAÍS / AÑO	Estado de México- 2009
MUNICIPIO / LUGAR	Valle del Chalco Solidaridad
NOMBRE DEL ESTUDIO	Estimación de costos de daños directos por inundación en zonas habitacionales con empleo de curvas de costo versus altura de agua alcanzada: Caso de estudio Valle del Chalco Solidaridad, Estado de México.
OBJETIVOS	Con el objeto de contribuir al análisis de los métodos de evaluación directa con viabilidad para la República Mexicana, se presenta una metodología para la validación supervisada de las curvas propuestas que representan la integración de la función daño económico/profundidad de la inundación. Lo anterior centrándose en la valoración económica de daños tangibles directos en zonas habitacionales y utilizando, para ello, el desarrollo de procesos automatizados en el software ArcView 3.2 (ESRI, 1996) y la estimación del costo de inundación más probable con ayuda de una función de distribución beta como modelo probabilístico con aplicación al caso de estudio de Valle de Chalco Solidaridad en el Estado de México (México).

METODOLOGÍA	<p>Etapa 1. Construcción de la base de datos geoespacial: La construcción y desarrollo de una base de datos es necesaria para soportar el análisis de determinación de los tipos, severidad y localización de daños causados por una inundación. Así:</p> <p>a) Delimitación de zonas inundadas: Las características hidráulicas de la inundación en una cuenca se pueden obtener con el empleo de algún modelo de simulación hidrológico-hidráulico. Estas características incluyen la magnitud de los caudales del río para diferentes períodos de retorno y las alturas de lámina de agua alcanzadas. Con base en el tirante de agua, de un modelo de elevación digital del terreno y del software ArcView 3.2 es posible delimitar las zonas afectadas.</p> <p>b) Caracterización de zonas habitacionales inundadas: Se definen las características socioeconómicas de la población. Definición de la relación espacio-bienes: Con información obtenida sobre los bienes existentes en las viviendas del Sistema para la Consulta de Información Censal SCINCE-2000 (INEGI, 2002), se relaciona con el espacio geográfico al que pertenecen y la ubicación más probable al interior del inmueble.</p>
	<p>Etapa 2. Curvas daños / altura de lámina de agua: Para el cálculo de los daños tangibles directos (pérdidas producidas por el contacto con el agua) se utilizaron las curvas de daños potenciales máximos, mínimos y más probables, las cuales describen la relación de la profundidad de inundación con los daños económicos que puede provocar.</p>
	<p>Etapa 3. Costo de inundación máximo, mínimo y más probable: La metodología en evaluación estableció, para cada tipo de AGEB, una familia de curvas de daños por inundación, es decir, las curvas de costo máximo, mínimo y más probable</p>
	<p>Etapa 4. Diseño y aplicación de encuestas: La validación de la metodología propuesta se verifica con base en el diseño y aplicación de encuestas en la zona de estudio. Este último, ha sido diseñado para obtener información que permita validar los impactos reales ocasionados por el evento del mes de febrero en la zona de estudio. Para ello se determinó una estrategia de muestreo aleatorio simple cubriendo toda la zona afectada reportada por las autoridades correspondientes</p>
RESULTADOS LOGRADOS / ESPERADOS	<p>En primer lugar se identificaron las AGEB ubicadas en zonas inundables dentro del área de estudio. En total se identificaron 6 Áreas Geo-estadísticas Básicas (AGEB) clasificadas con un Índice de Marginación (IM) muy alto. Con base en la información anterior, se elaboró una base de datos en función del IM, donde se incluyó el número de identificación del AGEB y el número de viviendas habitadas.</p>

	<p>El monto de daños directos, máximos, mínimos y más probables para la altura máxima de lámina de agua alcanzada y para una vivienda ubicada en un AGEB con un IM dado, se estima con base en los modelos matemáticos propuestos. Se consideraron dos escenarios de evaluación. El primer escenario toma en cuenta un nivel homogéneo de altura máxima de inundación al interior de los inmuebles de todos los AGEBs anegados correspondiente a una altura de $h=1.50$ m; el segundo escenario ha tenido en cuenta una modelación de la inundación con un tirante de afectación gradualmente variado desde su afectación máxima de una altura $h=1.80$ m a cielo abierto hasta su nivel cero en los diferentes límites de la poligonal de afectación. Esta modelación del nivel de inundación ha sido implementada en el software ArcView 3.2.</p>
	<p>Los resultados obtenidos de los dos escenarios evaluados y las cifras proporcionadas por la CAEM, indican que el monto estimado más probable bajo el escenario de tirante homogéneo (37.72 millones de pesos) en la zona afectada fue 10% superior al del tirante gradualmente variado (33.95 millones de pesos) y que no existe una estimación oficial del monto de afectaciones. Con respecto a la estimación de la población directamente afectada, la metodología aquí propuesta indica una sobreestimación de las cifras oficiales en una proporción de 1.84. Desafortunadamente, hasta el momento no se conoce la metodología empleada en las estimaciones oficiales y ello será objeto de investigaciones futuras. Igualmente se subraya que la cuarta etapa, destinada a la aplicación de encuestas, se encuentra en proceso de ejecución y sus resultados validarán la estimación más adecuada entre las analizadas.</p>
<p>CONCLUSIONES / DIFICULTADES ENCONTRADAS</p>	<p>La producción de espacio especializado en las sociedades se caracteriza por su desarrollo desigual. Esto origina que la población tenga acceso a diferentes recursos generados por la misma sociedad; y esas determinaciones son las que gestan la vulnerabilidad de los miembros del socio-ecosistema. Sin duda alguna, la urbanización de áreas inundables ofrece una dinámica singular en los procesos de producción de riesgos de desastre en los ámbitos urbanos.</p> <p>A lo largo de la historia se ha puesto en evidencia que obras hidráulicas tales como diques, canalizaciones, entubamientos, por citar algunos ejemplos, han favorecido la asignación de usos productivos o residenciales a distintas zonas inundables incorporadas a los procesos de urbanización. Con base en la implementación de este tipo de infraestructura, las áreas inundables terminan siendo falsamente valorizadas y con ocupación permanente. El desarrollo de este tipo de infraestructura hidráulica construye, en la percepción de la sociedad, que quedan circunscritas en las áreas rellenadas o defendidas, un falso sentido de seguridad.</p>

El presente trabajo ha permitido la validación del procedimiento propuesto por Baró y colaboradores (Baró et al., 2011) sobre la evaluación de los daños tangibles directos ocasionados por una inundación mediante el uso de curvas, altura de inundación-daños, en la zona afectada el pasado mes de febrero 2010 en Valle de Chalco Solidaridad (México). Esta evaluación del impacto económico tangible directo causado por la inundación pretende constituirse en una herramienta práctica y orientadora para las instituciones públicas y privadas que intervienen en la gestión de eventos hidrometeorológicos extremos, particularmente en la toma de decisiones para las diferentes etapas de prevención, emergencia, rehabilitación y reconstrucción de Valle de Chalco Solidaridad.

Se destaca el empleo de software de manejo de bases de datos geoespaciales que enriquecen y favorecen la aplicabilidad de la metodología propuesta para estimación de daños directos tangibles por inundación. Finalmente, los resultados obtenidos resaltan diferencias importantes en las estimaciones de población total afectada con respecto a la información oficial (11250 hab.) y que el costo más probable de la inundación fue de 33.95 millones de pesos.

Fuente: Los Autores.

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE TRABAJO

Para el desarrollo del trabajo se utiliza la investigación aplicada en el área de los Sistemas de Información Geográfica, empleando los campos de bases de datos, bases de datos espaciales, análisis espacial, modelación y cartografía.

5.2 PROCEDIMIENTO

5.2.1 Fase 1. Modelación.

Para la realización de la modelación se utilizaron los siguientes insumos: TIN a partir de la topografía obtenida de la Revisión y Ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio, TIN obtenido de un DEM que cubre el recorrido del río Tuluá de sur a norte en el área urbana, este DEM fue construido por la Universidad Nacional en convenio con el IDEAM a partir de datos LIDAR. Información procesada por la Consultoría que adelanta la actualización y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio, de los caudales máximos de la cuenca del río Tuluá en los periodos de retorno de 2,33; 5; 10; 20; 25; 50; 100 y 200 años. Arc-GIS con la extensión HEC GEO RAS y HEC RAS.

- **Actividad 1. Generación del TIN.** A partir de los DEM (obtenido del levantamiento topográfico y del LIDAR), por medio de la función RASTER to TIN del Arc Toolbox de Arc GIS se procedió a construir el correspondiente TIN.
- **Actividad 2. Generación de insumos para HEC RAS desde HEC GEO RAS.** Por medio de la extensión HEC GEO RAS del Arc GIS, se crearon las capas RAS (Stream Centerline, Bank Lines, Flow Path Centerlines, XS Cut Lines, Stream Centerline 3D y XS Cut Lines3D) indicando eje del río, margen izquierda y derecha del río, zona por donde se prevee que circulará el flujo de agua, y, las secciones transversales, posteriormente se exportaron al HEC RAS.
- **Actividad 3. Modelación en HEC RAS.** Se creó un proyecto nuevo en el cual se cargó la geometría proveniente del HEC GEO RAS. Posterior a esto, se cargó el coeficiente de Manning para eje y las márgenes del río en cada una de las secciones transversales, utilizando coeficientes teóricos así: para eje 0,03 y para las márgenes 0,02. De igual forma se digitaron los caudales para los correspondientes periodos de retorno ya definidos (véase Cuadro 8). Por medio de la función Steady Flow Boundary Conditions se introdujo la

pendiente promedio del río, la cual fue calculada teniendo en cuenta la cota máxima, la cota mínima y la distancia longitudinal del río en el área urbana. Para la definición del régimen de flujo se utilizó la función Steady Flow Analysis seleccionando el régimen de flujo subcrítico. Finalmente se ejecuta la función calcular para que se genere la modelación.

Cuadro 8. Caudales para los periodos de retorno

Tr (Años)	$Q_{Tr}/Q_{2.33}$	CAUDAL RIO TULUA (m ³ /s)
2.33	1.000	153.28
5	1.307	200.27
10	1.558	238.87
20	1.859	284.91
25	1.967	301.55
50	2.346	359.67
100	2.799	429.00
200	3.338	511.69

Fuente: Consultoría POT Tuluá 2015.

5.2.2 Fase 2. Estandarización de las bases de datos.

A partir del análisis de la forma en que se encontraban la base geográfica urbana del municipio y la base de datos alfanumérica del SISBEN, se encontró que en la escritura de las direcciones la nomenclatura para señalar las calles y las carreras eran diferentes en las distintas bases de datos, por lo cual se definió y aplicó una estandarización de los datos para la compatibilización de los mismos, de la siguiente manera:

Cuadro 9. Estandarización base de datos geográfica y SISBEN

INCONSISTENCIA	ESTÁNDAR
Los campos con números y literales presentaban diferente estructura	Se determinó dejar en ambas bases de datos un espacio entre cada número y letra, como en la base de datos del SISBEN
Las abreviaturas de Calle, Carrera presentaban diferente escritura	Se determinó usar la K para carrera, la C para calle, la T para transversal y la D para diagonal
La palabra oeste presentaba diferentes estructuras como: OE, W, OESTE, O, entre otras	Se determinó usar la letra W, para hacer referencia al oeste
La palabra pasaje se encontraba como: PJ, PS y pasaje	Se determinó usar la PJ, para denotar los pasajes

La palabra diagonal y transversal se encontraba respectivamente como: DIAG, DIG, DG, D, TRV, TR, TV	Se determinó usar la letra D y T, para hacer referencia a la diagonal y transversal
Para denotar el número de piso se encontraban expresiones como: PI, PISO, PS	Se determinó usar la letra P, para denotar los PISOS

Fuente: Los Autores.

Posteriormente se realizó la unión de las dos bases de datos modificadas, utilizando la función Join de Arc GIS.

5.2.3 Fase 3. Estimación de pérdidas.

Para la estimación de las pérdidas se utilizó Arc GIS y como insumo los datos conectados en la fase anterior, las áreas inundadas que se identificaron con la modelación hidrológica de la Fase 1, la lista de precios de los electrodomésticos, la cual fue tomada de Almacenes Éxito que se encuentra presente en el Municipio.

- **Actividad 1. Intersección de información geográfica.** A partir de los datos conectados en la fase 2, se generó una capa que contiene los predios en los cuales existe un registro de encuesta del SISBEN, y usando la función Intersect del Arc GIS se intersectó con las capas del área de inundación (para el periodo de retorno de 200 años).
- **Actividad 2. Estimación costos de bienes.** Con el listado de precios de Almacenes Éxito, se estimó según el estrato socioeconómico los valores de cada uno de los siguientes electrodomésticos: Nevera, Lavadora, Televisor, Calentador de Agua o Ducha Eléctrica, Horno Microondas, Aire Acondicionado, Computador y Equipo de Sonido.
- **Actividad 3. Estimación de pérdidas para predios con encuesta del SISBEN.** Con la base de datos construida en la fase 2 y la estimación de los costos de bienes según el estrato socioeconómico se realizó un cuadro donde se relaciona el costo de los electrodomésticos que se encuentran en cada predio donde fue posible la conexión con la base de datos del SISBEN.
- **Actividad 4. Estimación total de pérdidas.** Como es de esperarse que en algunos predios no exista un registro de encuesta del SISBEN, por medio del cual se pueda sustentar la existencia de los electrodomésticos en las diferentes viviendas, se utilizó la base de datos urbana del SISBEN para caracterizar la tenencia de electrodomésticos de acuerdo al estrato socioeconómico y al barrio, teniendo en cuenta el número de predios residenciales afectados en el área de inundación para un periodo de retorno de 200 años.

5.2.4 Fase 4. Generación de cartografía temática.

Para la generación de la cartografía temática se utilizó Arc GIS y los siguientes insumos: cartografía base del área urbana del Municipio, la capa correspondiente a la zona de inundación para el periodo de retorno de 200 años obtenida en la fase 1, la capa que contiene la estimación de las pérdidas que se presentan en cada predio según su estrato socioeconómico obtenida de la fase 3.

- **Actividad. Generación de cartografía.** Con la base de datos predial del Municipio, las zonas de inundación calculadas con el modelo hidrológico (para periodo de retorno de 200 años) y las capas de predios con encuesta del SISBEN y barrios con las estimaciones de pérdidas se generó la siguiente cartografía:
 - ✓ Mapa general zona urbana.
 - ✓ Mapa de hidrografía zona urbana.
 - ✓ Mapa de ola invernal años 2010-2011.
 - ✓ Mapa de zona de inundación periodo de retorno de 200 años con ola invernal años 2010-2011.
 - ✓ Mapa de pérdidas por inundación para un periodo de retorno de 200 años intersectado con predios con encuesta del SISBEN.
 - ✓ Mapa de pérdidas por inundación para un periodo de retorno de 200 años intersectado con barrios.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

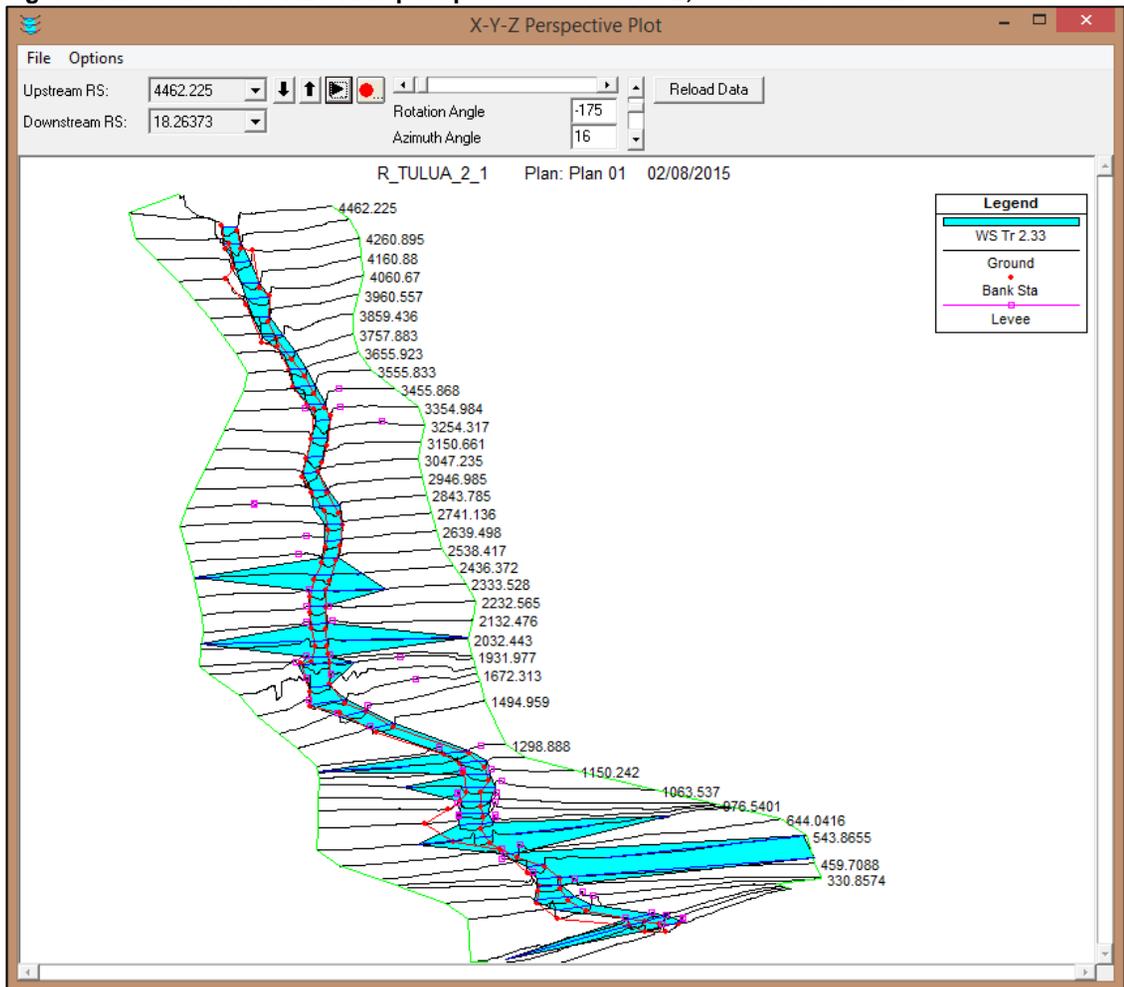
6.1 Fase 1. Modelación

La modelación se obtuvo para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 25, 50, 100 y 200 años (véase Figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12). Se realizó con los periodos de retorno anteriormente mencionados con el fin de determinar cuál de todos esos obedecían al comportamiento del que ya se tenía evidencia, el de la inundación presentada en la ola invernal de los años 2010-2011. De igual forma, se determinó cuál de las modelaciones era la más óptima para realizar el cálculo de las pérdidas, teniendo en cuenta el peor panorama.

De esa forma y para hacer un análisis de las modelaciones en las figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 se visualiza la cota más alta del cauce del río en la parte superior de la figura y la cota más baja en la parte inferior, en ellas se puede observar como el comportamiento de la inundación cambia con respecto a cada periodo de retorno, logrando tener un comportamiento de la inundación proporcional al periodo de retorno, a mayor tiempo, mayor inundación.

Para el periodo de retorno de 2,33 años, el primer desbordamiento del río se presenta a la altura del barrio Centro siendo mayor en la margen izquierda aguas abajo del río, y se espera que después de que el río pasa el perímetro urbano se siga extendiendo más la inundación. Si se compara la figura 5 con la figura 1, se puede determinar que el desbordamiento es mayor en las comunas 4 y 9 respectivamente. De igual forma si se compara la figura 5 con la figura 2, se puede evidenciar que la mayor afectación se presenta para los habitantes de los estratos socioeconómicos 1 y 2, tendiendo a tener una tendencia de recaer en la población más vulnerable por su poca capacidad de recuperación debido a la carencia de recursos económicos.

Figura 5. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 2,33 años Río Tuluá.

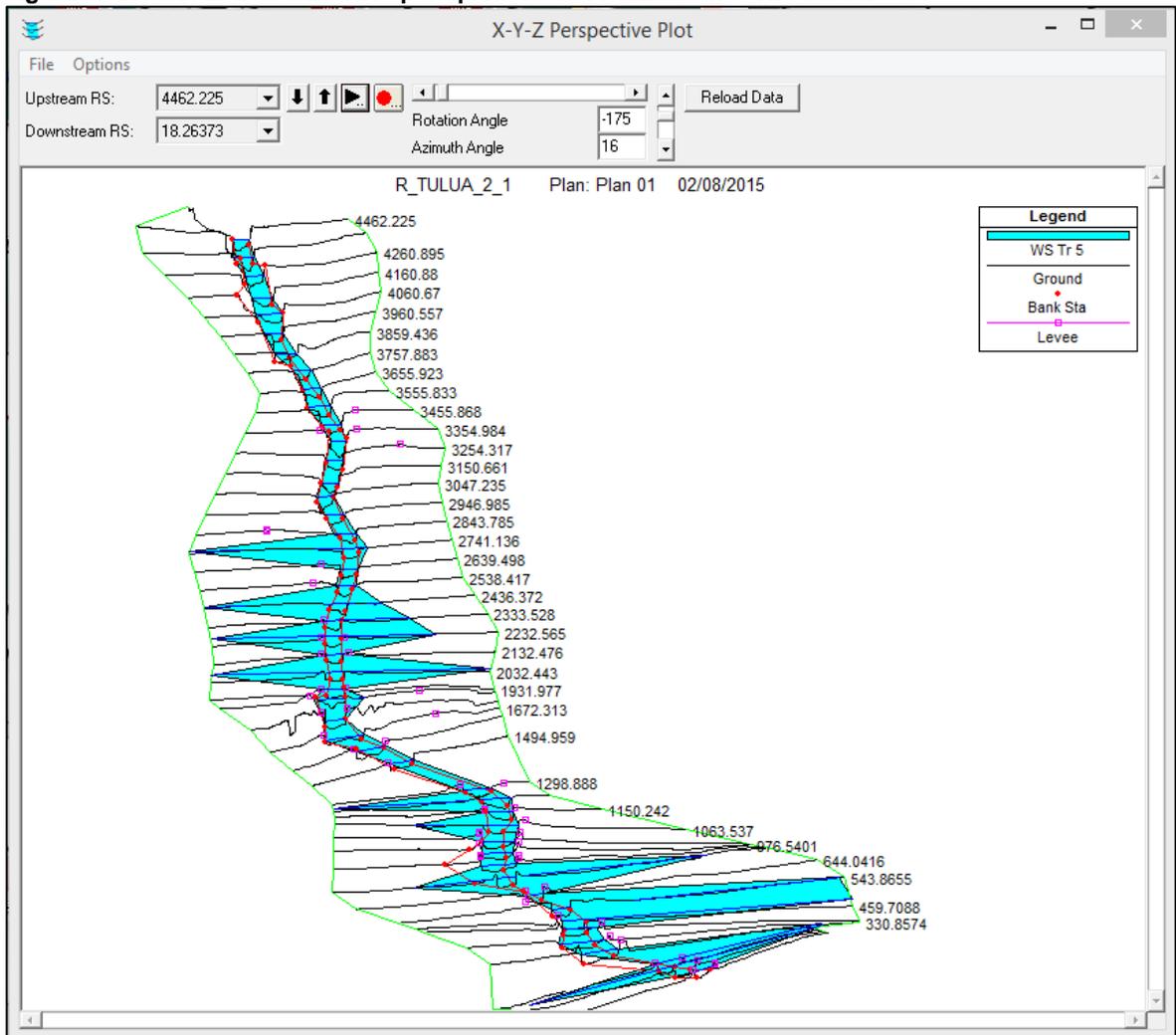


Fuente: Los Autores.

Para el periodo de retorno de 5 años, el primer desbordamiento del río se presenta a la altura del barrio Centro. En la parte más plana, en los límites del perímetro urbano se evidencia un comportamiento de inundación igual al periodo de 2,33 años.

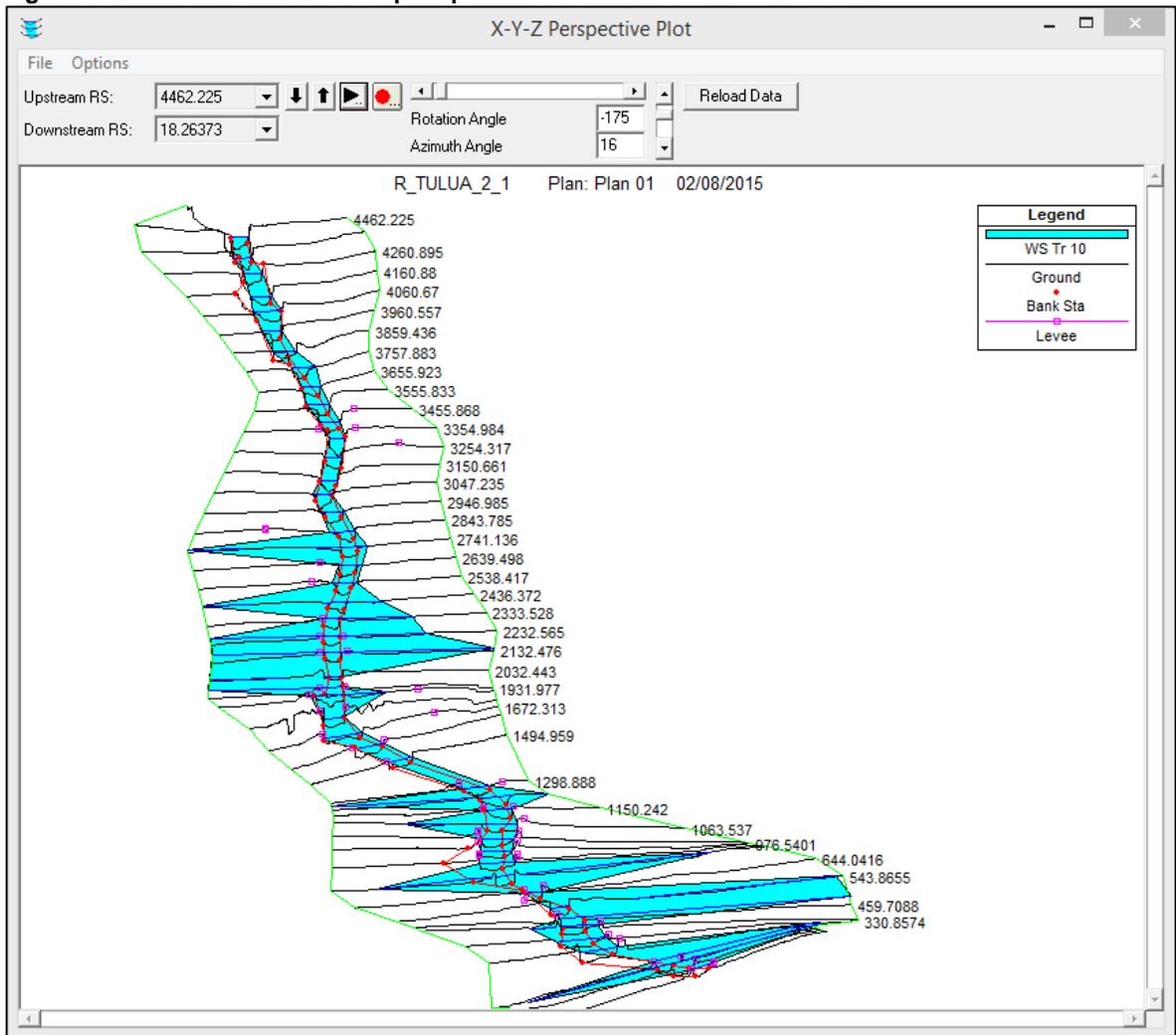
Para el periodo de retorno de 10 años (véase Figura 7) se muestra un cambio con respecto a los periodos de retorno anteriores, se evidencia una mayor concentración de la inundación en la zona centro (comuna 4).

Figura 6. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 5 años Río Tuluá.



Fuente: Los Autores.

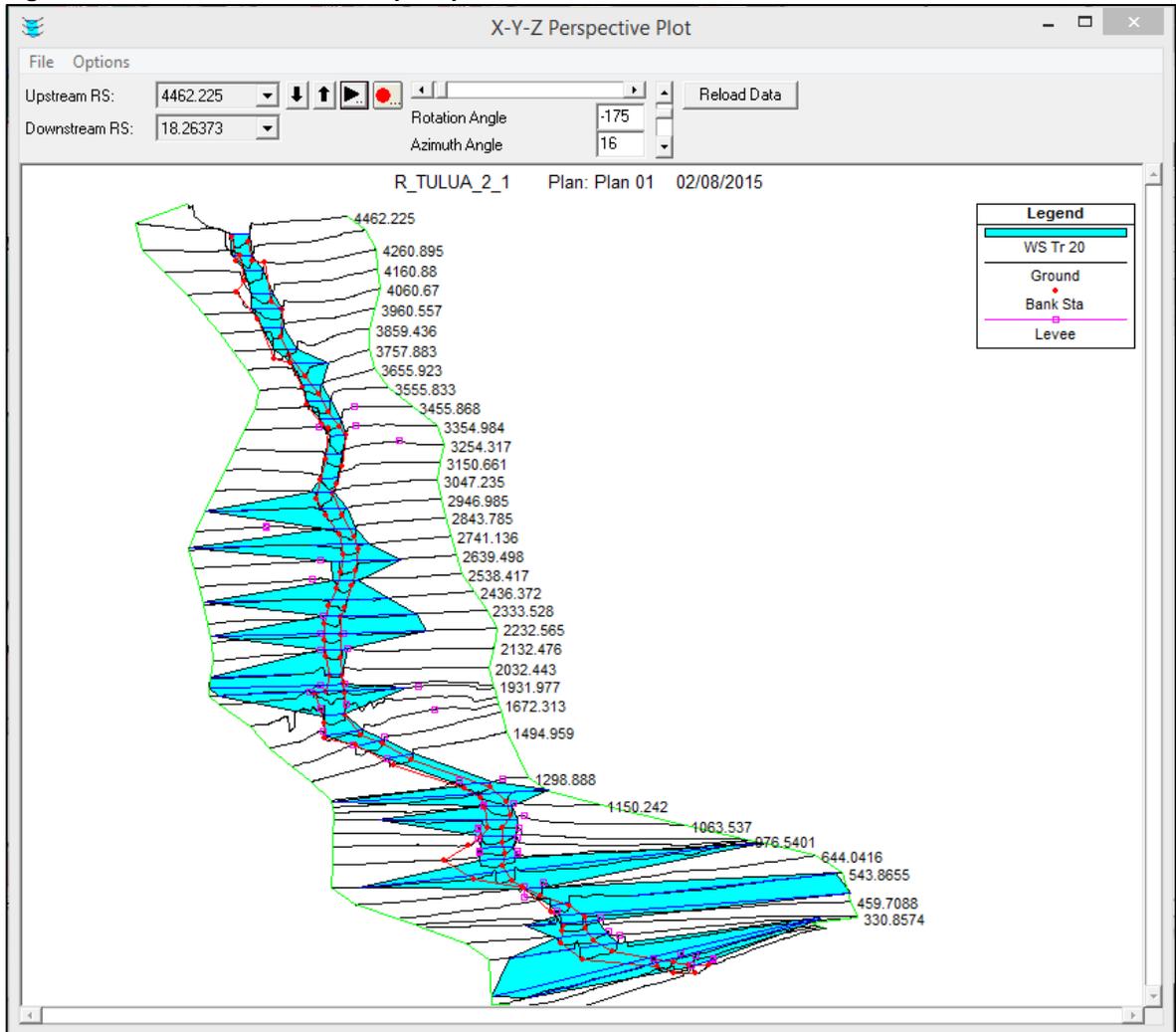
Figura 7. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 10 años Río Tuluá.



Fuente: Los Autores.

Para el periodo de retorno de 20 años (véase Figura 8), se evidencia un ligero cambio con respecto a los periodos de retorno anteriores en la zona donde se termina el perímetro urbano, la inundación se extiende abarcando una mayor área en la margen derecha aguas abajo del río, afectando también a la comuna 3 (estrato 2).

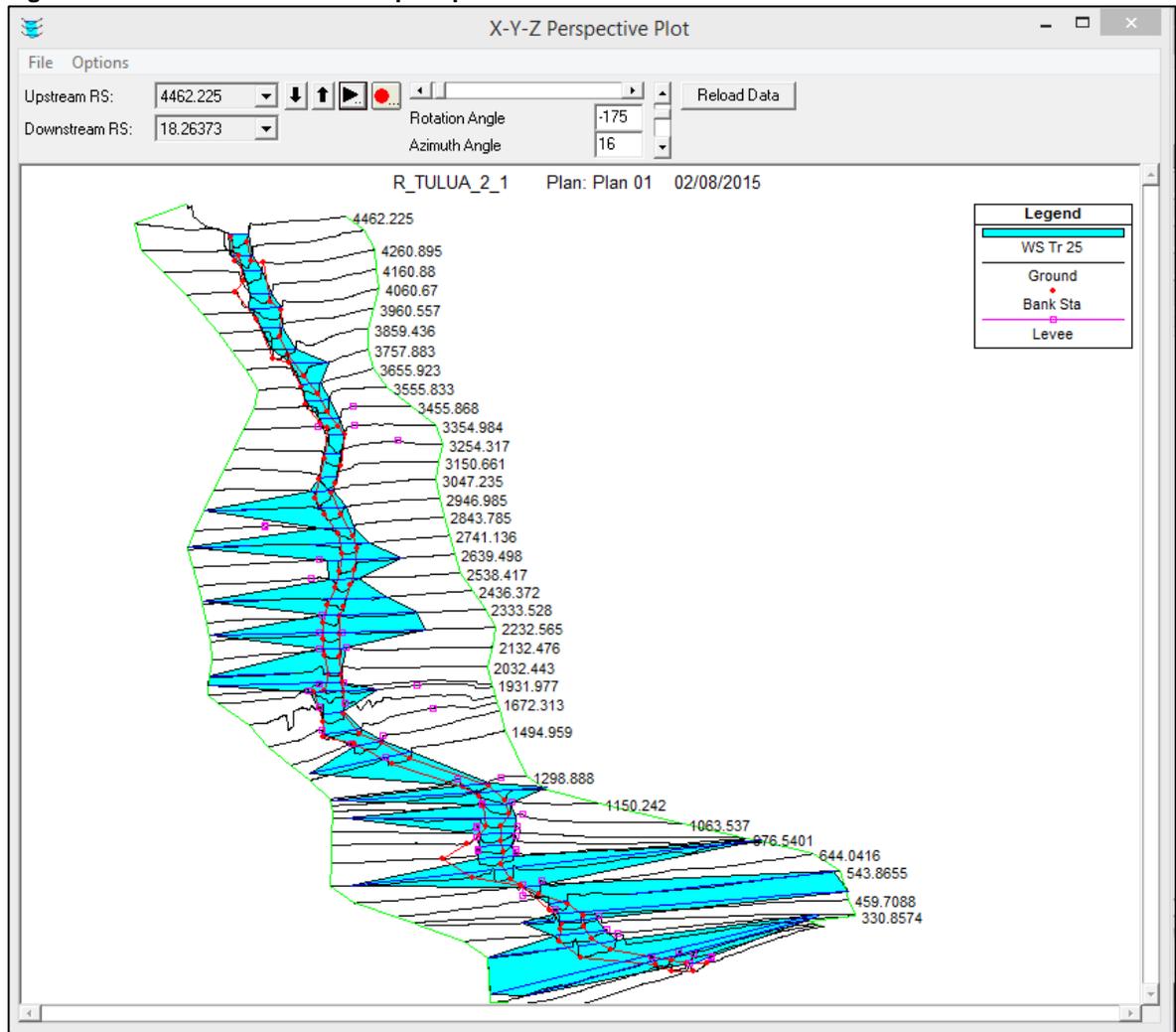
Figura 8. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 20 años Río Tuluá.



Fuente: Los Autores.

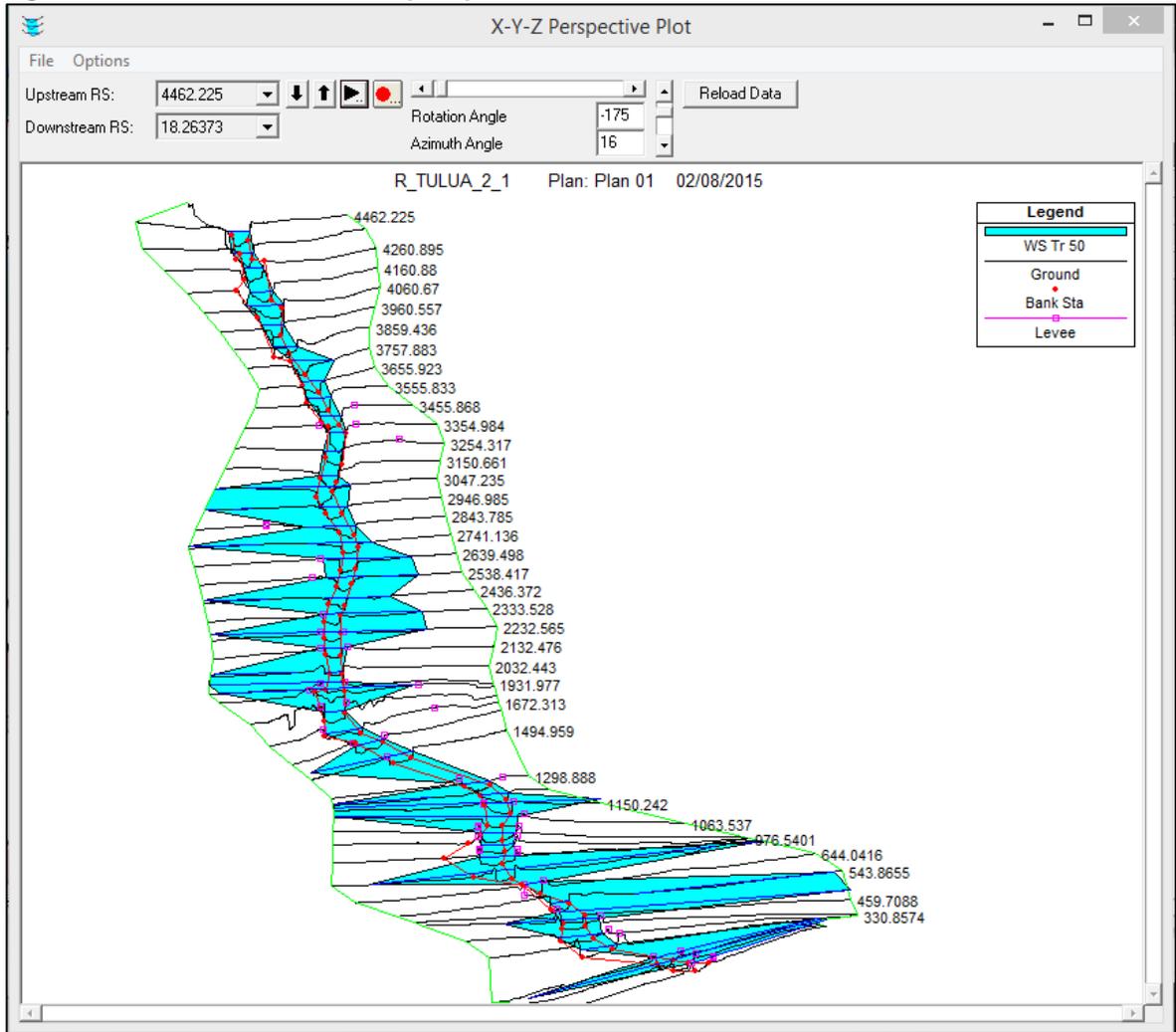
Los periodos de 25 y 50 años, son similares entre sí (véase Figuras 9 y 10) y como ya se mencionó anteriormente, varían con respecto a los anteriores en las áreas que abarca la inundación en las diferentes alturas.

Figura 9. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 25 años Río Tuluá.



Fuente: Los Autores.

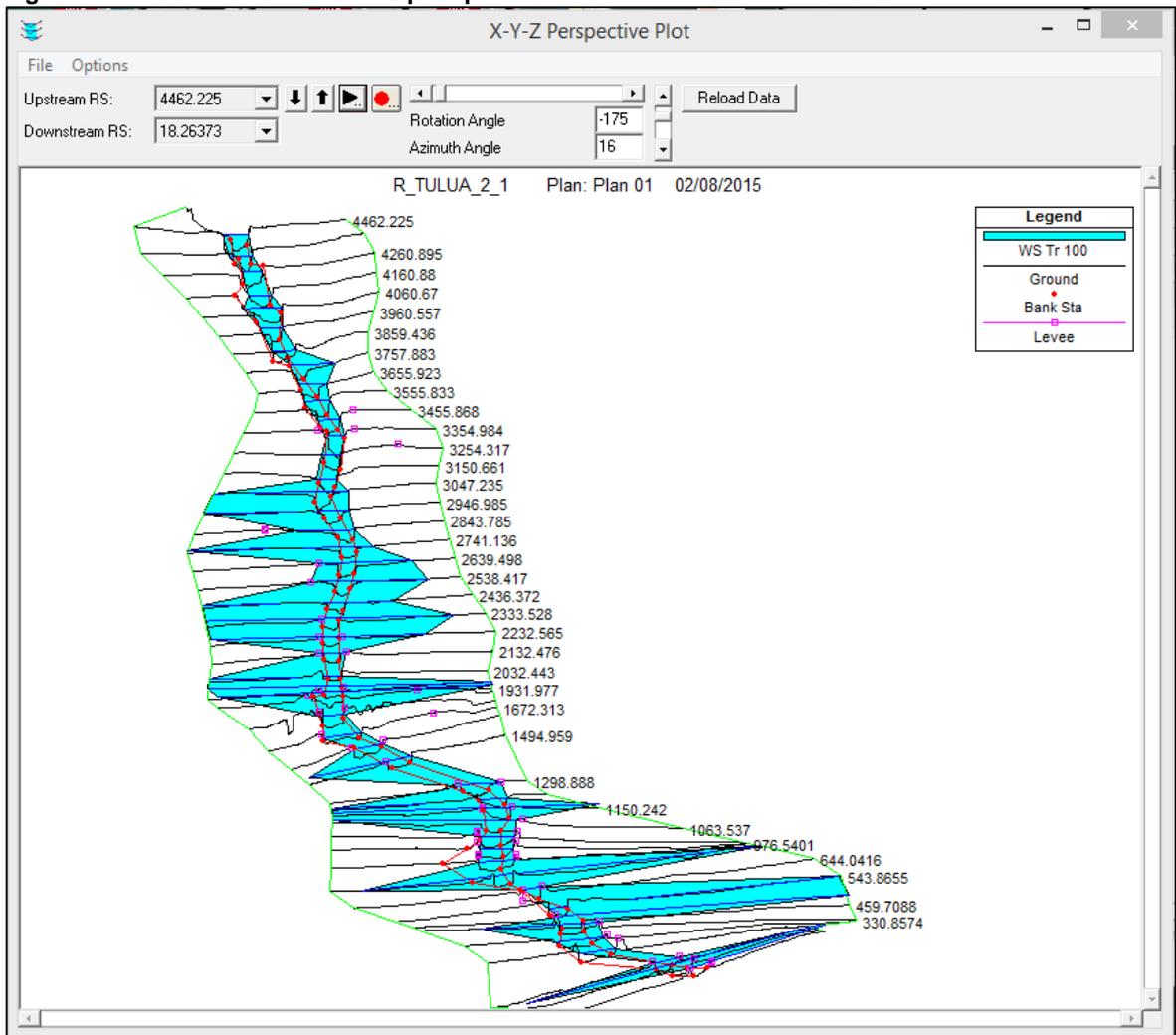
Figura 10. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 50 años Río Tuluá.



Fuente: Los Autores.

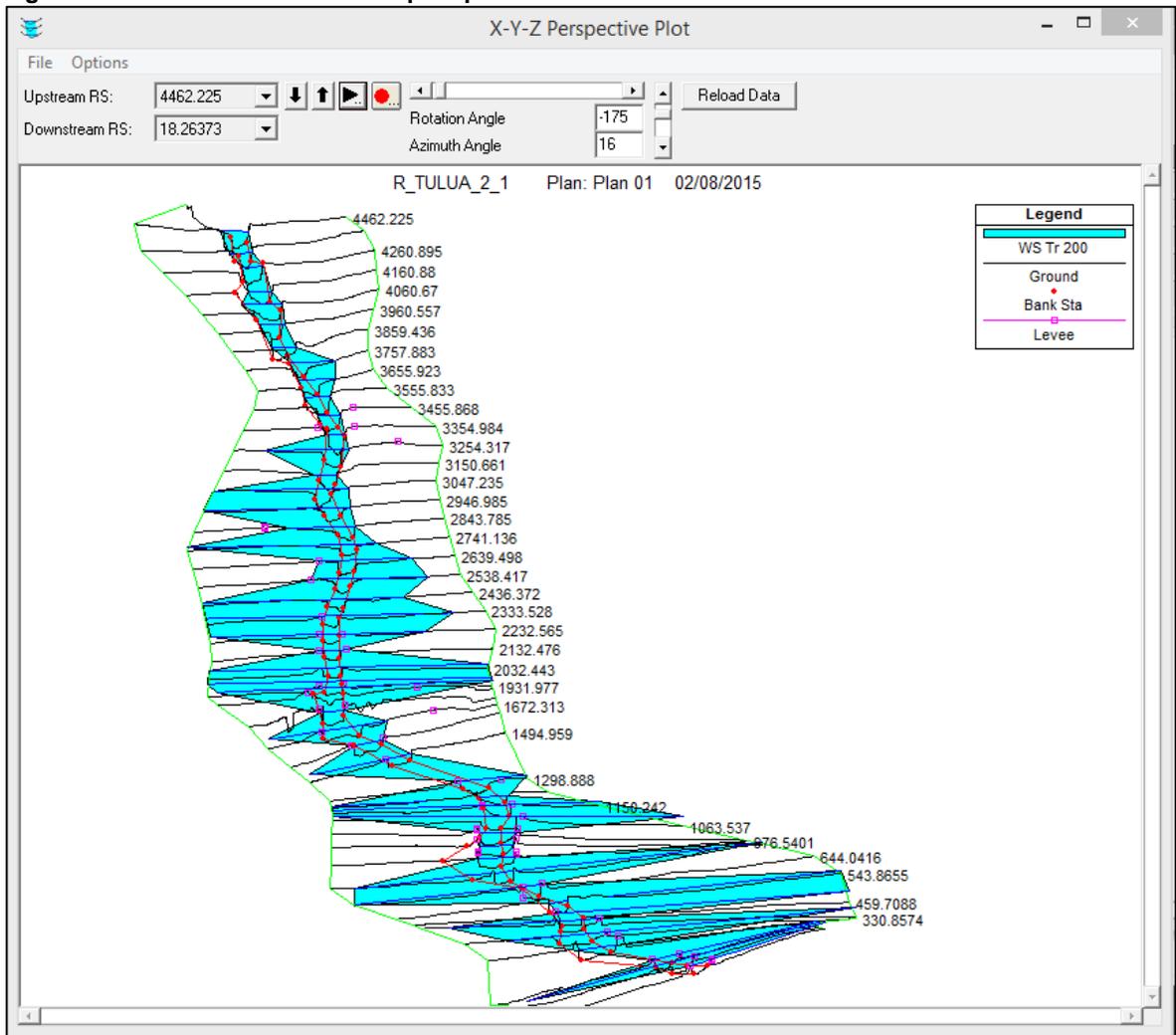
Los periodos de retorno de 100 y 200 años (véase Figuras 11 y 12) difieren de los anteriores periodos de retorno, en el área que ocupa la inundación en las diferentes cotas (alturas). Sin embargo, se evidencia que para el periodo de retorno de 200 años, la inundación se muestra más severa, abarcando mayor cantidad de área en los barrios Portales del Río, Juan XXIII, El Bosquesito, Alameda, Siete de Agosto, entre otros.

Figura 11. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 100 años Río Tuluá.



Fuente: Los Autores.

Figura 12. Modelación en HEC RAS para periodo de retorno 200 años Río Tuluá.



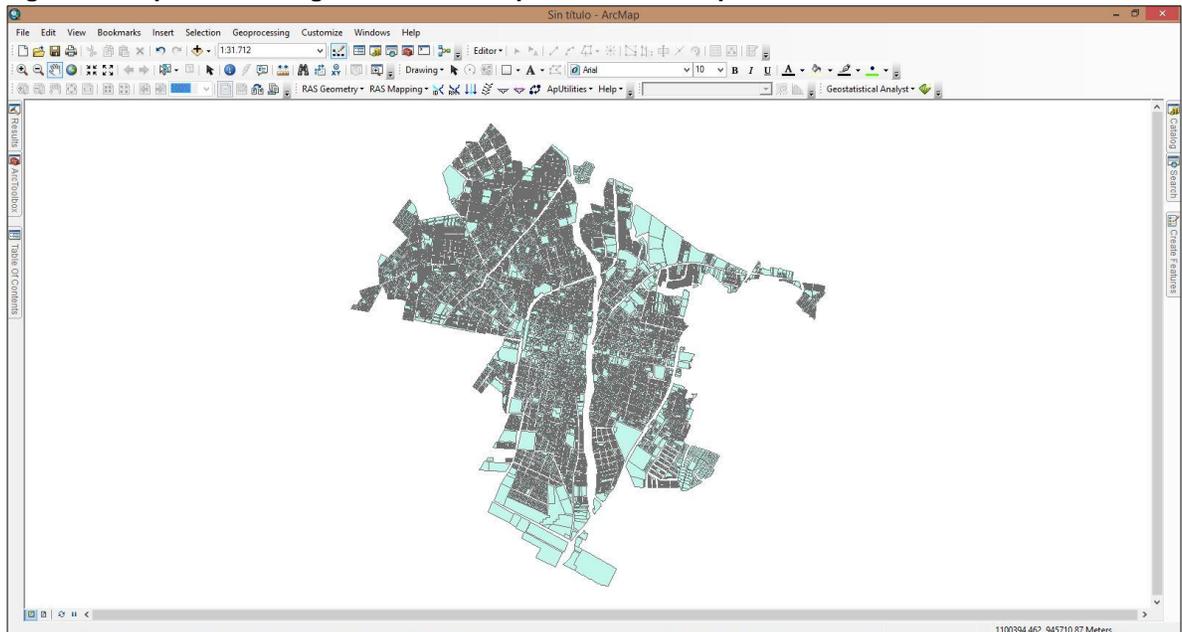
Fuente: Los Autores.

Del análisis anterior se determinó que el modelo óptimo para realizar el cálculo de las pérdidas es la modelación correspondiente al periodo de retorno de 200 años. Se elige este modelo por ser el peor panorama y porque al compararlo con el comportamiento de la inundación en la ola invernal años 2010-2011, el cual es un referente, se evidencia cierta similitud en las áreas donde aparece la inundación y su alcance (véase Figura 21).

6.2 Fase 2. Estandarización de la base de datos

La estandarización se logró aplicando lo mencionado en el numeral 5.2.2 de la metodología obteniendo una base de datos consolidada de 9.271 conexiones provenientes de cruzar 102.657 registros del SISBEN y 38.585 predios en la zona urbana del Municipio. Existen más registros del SISBEN que predios, ya que la se diligencia por persona y no por hogar o predios, lo que indica que en un mismo predio pueden existir varios registros del SISBEN, sin embargo, para consolidar y organizar la información, se cruzaron los registros y predios obteniendo el número de conexiones anteriormente mencionadas. Como se expresó en la metodología el origen de los datos difieren entre sí, principalmente porque en el SISBEN se encuentra la información disponible por persona (véase Figura 14) y en la base de datos predial del municipio (véase Figura 13), se incluye la información por predios. Por otro lado, la aplicación de la estandarización fue otro factor que influyó en la obtención de los resultados, así como el tener en cuenta que la encuesta del SISBEN no se refleja en todos los predios de la zona urbana del Municipio, ya que no toda la población está cubierta por la misma. Por lo anterior se obtuvo una compatibilización entre las bases de datos del 26% de la totalidad de los predios, lo cual se considera como representativa para el objetivo del trabajo (véase Figura 15).

Figura 13. Representación gráfica de la base predial del Municipio



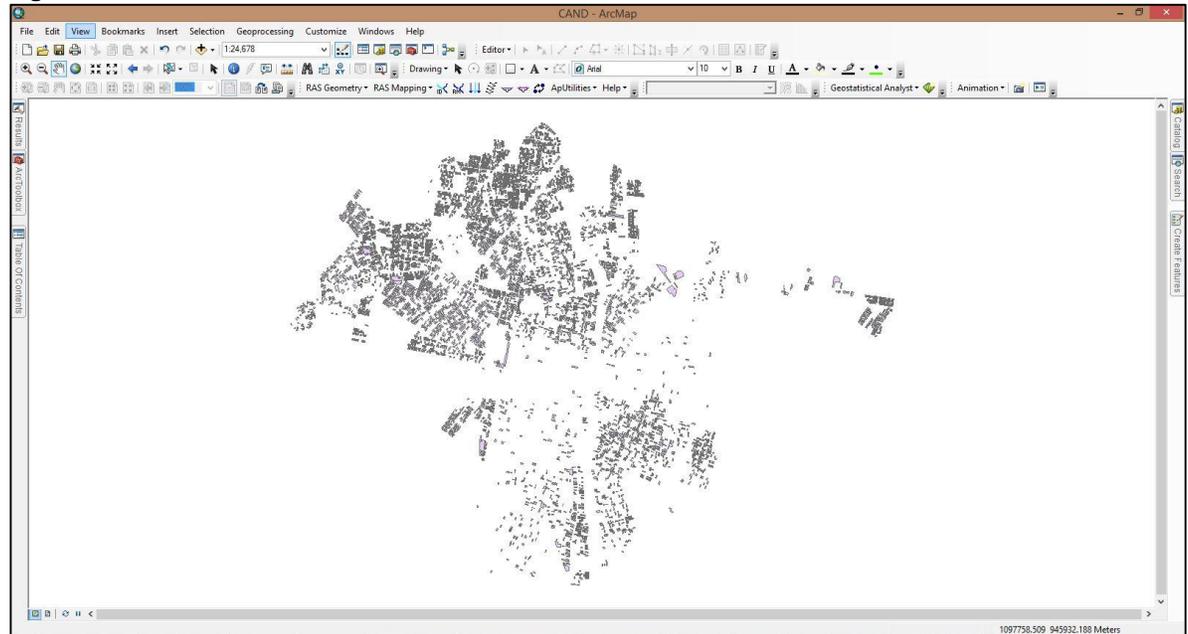
Fuente: Los Autores.

Figura 14. Visualización Base de Datos Alfanumérica del SISBEN

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U		
1	NUMERO_REGISTRO	FICHA	DEPTO	MUNIC	ZONA	SECTOR	SECCION	MANZANA	COMUNA	BARRIO	VEREDA	DIRECC	TELEFONO	VIVIENDA	PARED	PISO	ENERGIA	ALCANTA	GAS	TELES	BASURA		
2	19313580	31307	76	834	1	1	12	61	0	53	0	KR 24 3 57	2	2	1	2	1	1	1	0	1		
3	19287943	78078	76	834	1	1	11	20	7	36	0	CL 16 A 21 356	2	2	3	3	1	1	1	0	1		
4	19274505	77856	76	834	1	1	8	10	7	23	0	CL 22 2 OESTE 14	2	2	1	2	1	1	1	0	1		
5	19278953	65393	76	834	1	2	7	4	3	25	0	CL 14 28 BIS 3 15	2	2	1	3	1	1	1	0	1		
6	19256391	84514	76	834	1	1	13	29	9	8	0	CL 5 A 22 8 48 PI 2	2	2	1	2	1	1	1	0	1		
7	19265661	20787	76	834	1	1	7	24	0	18	0	KR 8 25A 14	2	1	1	2	1	1	1	0	1		
8	19265949	21078	76	834	1	1	7	1	0	18	0	CL 25 A 5 31	1	2	1	1	1	1	1	2308819	0	1	
9	19379696	92726	76	834	1	1	14	20	8	213	0	CL 7 17 27 PI 2	2	2	1	2	1	1	2	0	1		
10	19331498	36203	76	834	1	1	5	27	0	74	0	CL 26 13 30 PI 1 AP 2	2	1	1	2	1	1	1	0	1		
11	19310837	63163	76	834	1	1	18	1	8	52	0	MZ 1 CS 12	2	2	1	2	1	1	1	1	0	1	
12	19293172	59749	76	834	1	1	11	82	9	44	0	KR 26 15 A 50	2	2	1	3	1	1	1	0	1		
13	19308914	23372	76	834	1	1	15	59	0	52	0	MZ 13 CA 13	2	2	1	2	1	1	1	0	1		
14	19251102	15757	76	834	1	2	7	8	0	1	0	KR 27 A 12 B 06	2	2	1	3	1	1	1	2	0	1	
15	19353614	29639	76	834	1	1	10	63	0	119	0	CL 19 12 A 13	1	1	1	2	1	1	1	1	2324804	0	1
16	19347938	81447	76	834	1	1	4	25	4	104	0	CL 25 21 52	2	2	1	2	1	1	1	2	0	1	
17	19338050	33613	76	834	1	1	10	78	0	83	0	KR 15 22 19 PI 2	1	1	1	2	1	1	1	1	2314533	0	1
18	19308528	22779	76	834	1	1	15	18	0	52	0	MZ 36 CA PI 2	2	1	1	2	1	1	1	1	0	1	
19	19272881	42942	76	834	1	1	8	39	0	23	0	CL 24 A 5 A OESTE 22 AP 2	2	1	1	3	1	1	1	0	1		
20	19279955	90070	76	834	1	2	7	16	3	25	0	CL 12 B 27 C 02	2	2	1	2	1	1	1	1	0	1	
21	19264450	31634	76	834	1	2	4	9	0	4	0	LA CAZONA	2	2	1	2	1	1	1	0	1		
22	19269642	16179	76	834	1	1	8	9	0	22	0	KR 2A 23 33 AP 4	2	1	1	3	1	1	1	2	0	1	
23	19261673	75807	76	834	1	1	9	58	7	16	0	TR 8 DG 23 30	2	2	3	3	1	1	2	0	1		
24	19356004	31519	76	834	1	1	13	62	0	127	0	KR 9 10 80	2	2	1	2	1	1	1	1	0	1	
25	19324213	33691	76	834	1	1	10	2	0	64	0	KR 19 20 15	2	2	1	2	1	1	1	1	0	1	
26	19293869	24615	76	834	1	1	6	24	0	45	0	CL 26 C 4 2 W 45 AP 1	1	2	1	2	1	1	1	1	2305598	0	1
27	19272078	16669	76	834	1	1	8	28	0	23	0	KR 4 OESTE 20 25	2	1	1	2	1	1	1	1	0	1	
28	19274650	80561	76	834	1	1	8	2	7	23	0	KR 1 OESTE 24 09	2	2	3	3	1	1	1	2	0	1	
29	19320793	23096	76	834	1	1	14	29	0	30	0	KR 21 3 03	1	2	1	2	1	1	1	1	2311936	0	1
30	19266255	43821	76	834	1	1	7	44	6	18	0	CL 26B 4 62	2	2	1	2	1	1	2	0	1		

Fuente: Los Autores.

Figura 15. Resultado de la conexión entre las bases de datos.



Fuente: Los Autores.

6.3 Fase 3. Estimación de pérdidas

En la estimación de pérdidas se tomó como referencia los precios de los electrodomésticos del Almacén Éxito por estar éste presente en el Municipio, estimando un valor aproximado de la tenencia de cada electrodoméstico según el estrato socioeconómico, obteniendo el siguiente cuadro de costos:

Cuadro 10. Listado de precios en pesos de electrodomésticos.

ELECTRODOMÉSTICO	ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3	ESTRATO 4	ESTRATO 5	ESTRATO 6
Nevera	530.000	834.950	1.364.950	2.199.900	3.590.988	4.982.075
Lavadora	699.900	712.508	1.412.408	2.036.266	2.660.125	3.161.150
Televisor	439.900	919.900	1.399.900	2.699.900	3.999.900	5.999.900
Calentador	50.000	100.000	460.000	460.000	750.000	1.040.000
Horno	169.900	169.900	259.900	259.900	349.900	349.900
Aire		419.900	419.900	779.900	1.964.900	3.149.900
PC	599.000	599.000	1.299.000	2.299.000	3.999.000	3.999.000
Equipo Sonido	499.900	699.900	999.000	1.499.900	1.899.900	2.399.900

Fuente. Los Autores

Debido a que la encuesta del SISBEN no se encuentra aplicada o relacionada con el total de los predios que se afectan con el área de inundación, se realizó un cálculo de pérdidas por predio, para los predios con encuesta del SISBEN (Figura 15 con Cuadro 10) obteniendo pérdidas de hasta 1.700.000.000 millones de pesos aproximadamente.

Por otra parte, para realizar el cálculo total de pérdidas, se caracterizó la tenencia de electrodomésticos usando la base de datos del SISBEN (zona urbana), obteniendo un estimado de número de electrodomésticos por estrato socioeconómico, teniendo en cuenta el comportamiento de la tenencia de electrodomésticos en cada uno de los estratos socioeconómicos relacionado en el siguiente cuadro:

Cuadro 11. Caracterización de la tenencia de electrodomésticos por estrato en el municipio de Tuluá.

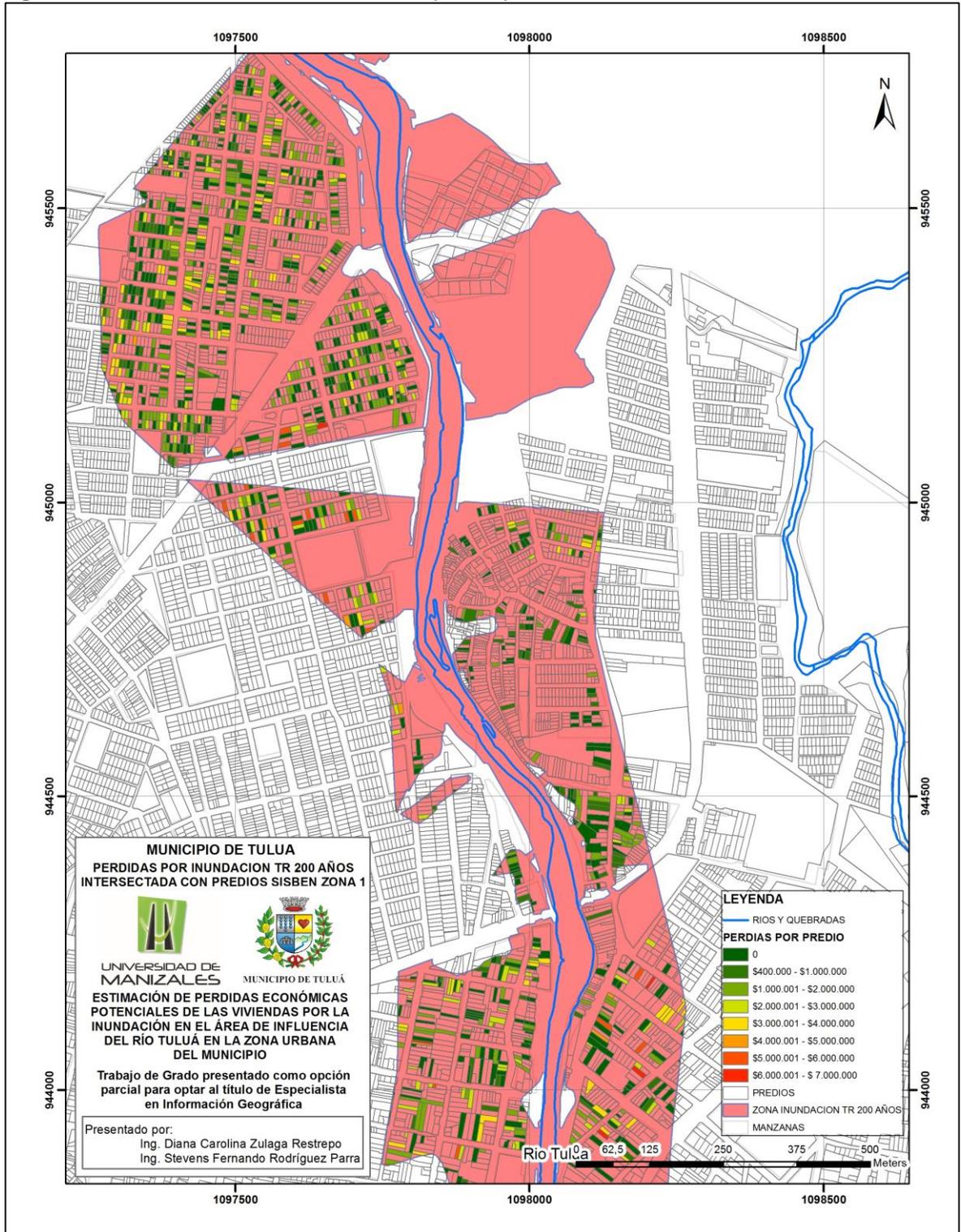
INFORMACIÓN ELECTRODOMÉSTICO/PREDIOS		ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3	ESTRATO 4	ESTRATO 5
NEVERA	Número de electrodoméstico	5529	30374	6237	283	46
	Número de predios	16464	70888	14491	629	126
	% Tenencia de electrodoméstico	33,58	42,85	43,04	44,99	36,51
LAVADORA	Número de electrodoméstico	831	8047	2320	120	30

	Número de predios	16464	70888	14491	629	126
	% Tenencia de electrodoméstico	5,05	11,35	16,01	19,08	23,81
TV COLOR	Número de electrodoméstico	9308	43686	8909	369	72
	Número de predios	16464	70888	14491	629	126
	% Tenencia de electrodoméstico	56,54	61,63	61,48	58,66	57,14
CALENTADO R	Número de electrodoméstico	21	274	139	12	0
	Número de predios	16464	70888	14491	629	126
	% Tenencia de electrodoméstico	0,13	0,39	0,96	1,91	0,00
HORNO	Número de electrodoméstico	50	424	238	21	4
	Número de predios	16464	70888	14491	629	126
	% Tenencia de electrodoméstico	0,30	0,60	1,64	3,34	3,17
AIRE	Número de electrodoméstico	2	86	31	3	3
	Número de predios	16464	70888	14491	629	126
	% Tenencia de electrodoméstico	0,01	0,12	0,21	0,48	2,38
COMPUTADOR	Número de electrodoméstico	178	2555	1060	78	8
	Número de predios	16464	70888	14491	629	126
	% Tenencia de electrodoméstico	1,08	3,60	7,31	12,40	6,35
EQUIPO	Número de electrodoméstico	1211	8295	2052	82	1
	Número de predios	16464	70888	14491	629	126
	% Tenencia de electrodoméstico	7,36	11,70	14,16	13,04	0,79

Fuente. Los Autores

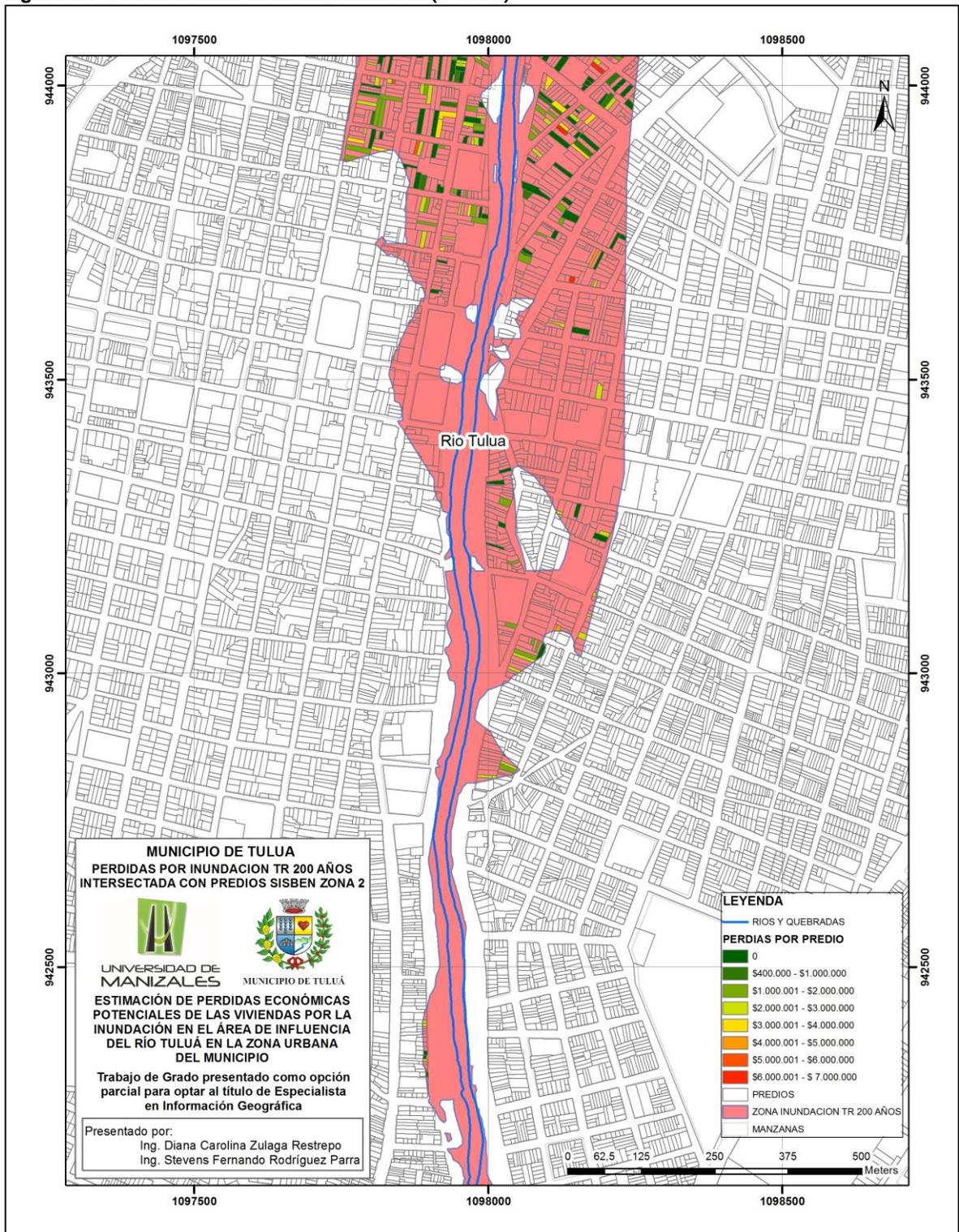
Posteriormente se aplica el cuadro anterior a la base de datos geográfica predial del Municipio (Figura 13), para el área de influencia de la inundación (véase Figura 16 y 17), obteniendo un total de pérdidas de más de 5.000.000.000 millones de pesos aproximadamente.

Figura 16. Área de influencia de la inundación (zoom 1)



Fuente. Los Autores

Figura 17. Área de influencia de la inundación (zoom 2)



Fuente. Los Autores

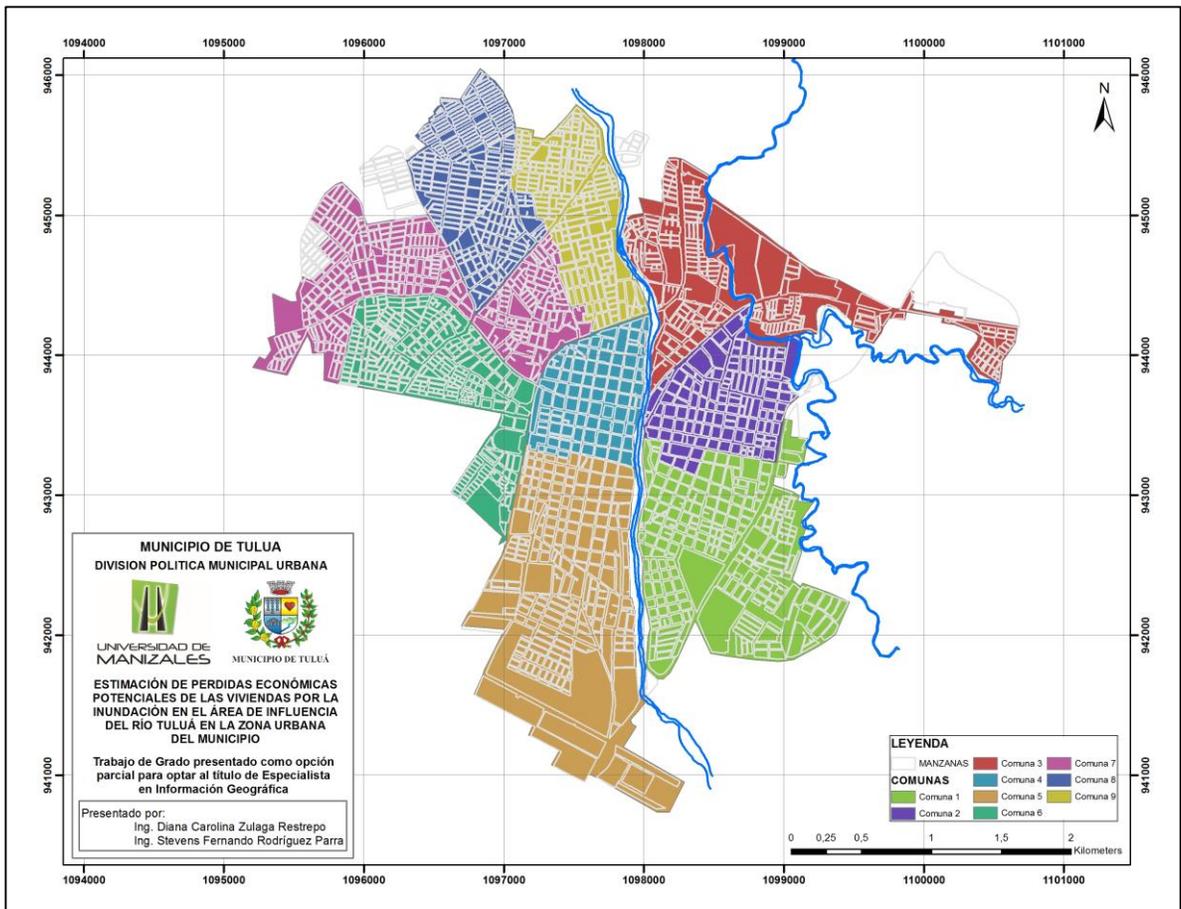
6.4 Fase 4. Generación de cartografía temática

Se generaron 6 mapas en los cuales se identifica el contexto del desarrollo del proyecto y se muestran los resultados obtenidos, tal como se plantea en los objetivos. En esta fase se muestran las salidas gráficas de lo desarrollado en el trabajo, por los análisis de algunos de los mapas que se muestran a continuación ya han sido planteados en las fases anteriores.

- *Mapa general de zona urbana.* En él se muestra la división política administrativa, el perímetro urbano, las comunas que lo componen y los tres cuerpos de agua que lo cruzan (véase Figura 18). El mapa se construyó con la información predial del Municipio, información que fue facilitada con fines académicos sin autorización para su reproducción.
- *Mapa de hidrografía urbana.* En éste mapa se destaca la presencia de los cuerpos de agua en el área urbana del Municipio, el río Tuluá, el río Morales y la Quebrada La Rivera. También se muestra como el río Tuluá pasa por el área urbana del Municipio de sur a norte sin embargo el presente trabajo se basa solamente en el río Tuluá (véase Figura 19).
- *Mapa ola invernal años 2010-2011* (véase Figura 20). Este mapa muestra el alcance que tuvo la inundación en la temporada de ola invernal de los años 2010 y 2011 en el Municipio, de ésta información se destaca que las áreas afectadas supera lo señalado en los mapas de inundación del POT 2000 (véase Figura 21), lo cual fue un argumento que llevó a que en el presente proyecto se trabajara con modelación propia.
- *Mapa de zona de inundación periodo de retorno de 200 años con ola invernal años 2010-2011.* En éste mapa se muestra como el modelo de inundación para un periodo de retorno de 200 años se asemeja al comportamiento de la inundación en la pasada ola invernal 2010-2011. (véase Figura 22).
- *Mapa de pérdidas por inundación para un periodo de retorno de 200 años intersectado con predios con encuesta del SISBEN.* Este mapa muestra un detallado de las pérdidas predio a predio teniendo en cuenta que puede faltar una cantidad de predios por espacializar debido a la incompatibilidad de la base de datos del SISBEN y la base geográfica del Municipio. (véase Figura 23). Como se muestra en el mapa la concentración de encuestas del SISBEN se encuentran en la zona norte en el margen izquierdo aguas abajo del río, en el área a la que corresponde los estratos socioeconómicos más bajos (1 y 2) y es justo en esa parte donde se evidencia inundación en la mayoría de periodos de retorno, como ya se había mencionado anteriormente, las afectaciones recaen sobre la población más vulnerable por su capacidad de recuperación por carencia de recursos económicos.

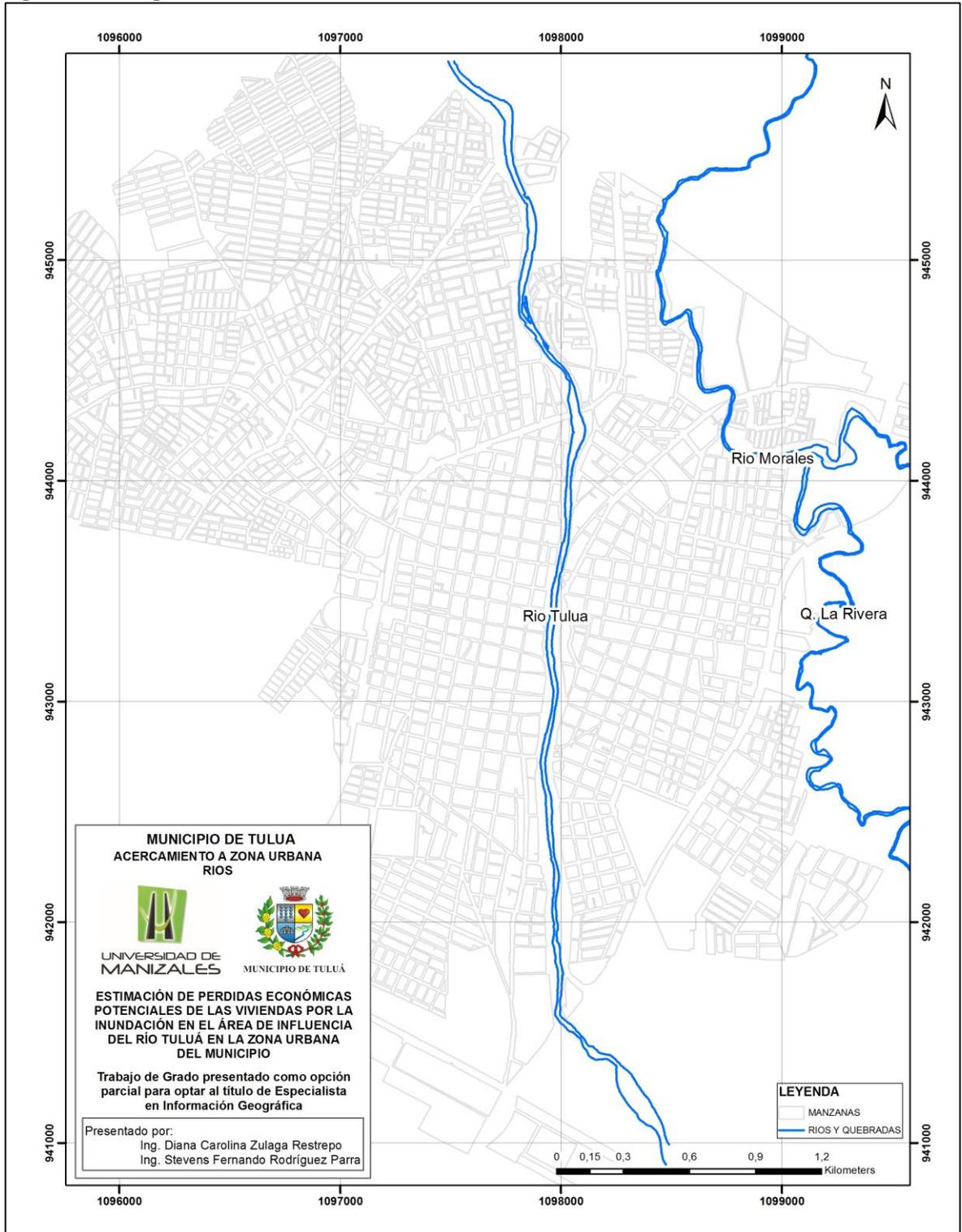
- Mapa de pérdidas por inundación para un periodo de retorno de 200 años intersectado con barrios.* Este mapa se construye con la información obtenida en la Fase 3 con el cuadro 11. En este mapa se muestra una aproximación de las pérdidas totales en las viviendas por la inundación, las pérdidas se muestran por barrios, evidenciando que los barrios Portales del Río y Tomás Uribe son los más afectados en cuanto a pérdidas por la inundación, seguidos por los barrios La Inmaculada, El Palmar, Alameda y parte de La Graciela. Entre los barrios en los que hay menores pérdidas se encuentran barrio Alvernia, Centro y Las Brisas. Sin embargo, se plantea una inconsistencia con referencia al barrio Centro, y es que debido su cercanía geográficamente hablando del río sea uno de los barrios que menos reporte de pérdidas, esto se debe a que el barrio Centro es en su mayoría de uso comercial, y la parte comercial no se tuvo en cuenta en este cálculo por ser exclusivamente de pérdidas en viviendas. (véase Figura 24).

Figura 18. División Política Municipal Urbana.



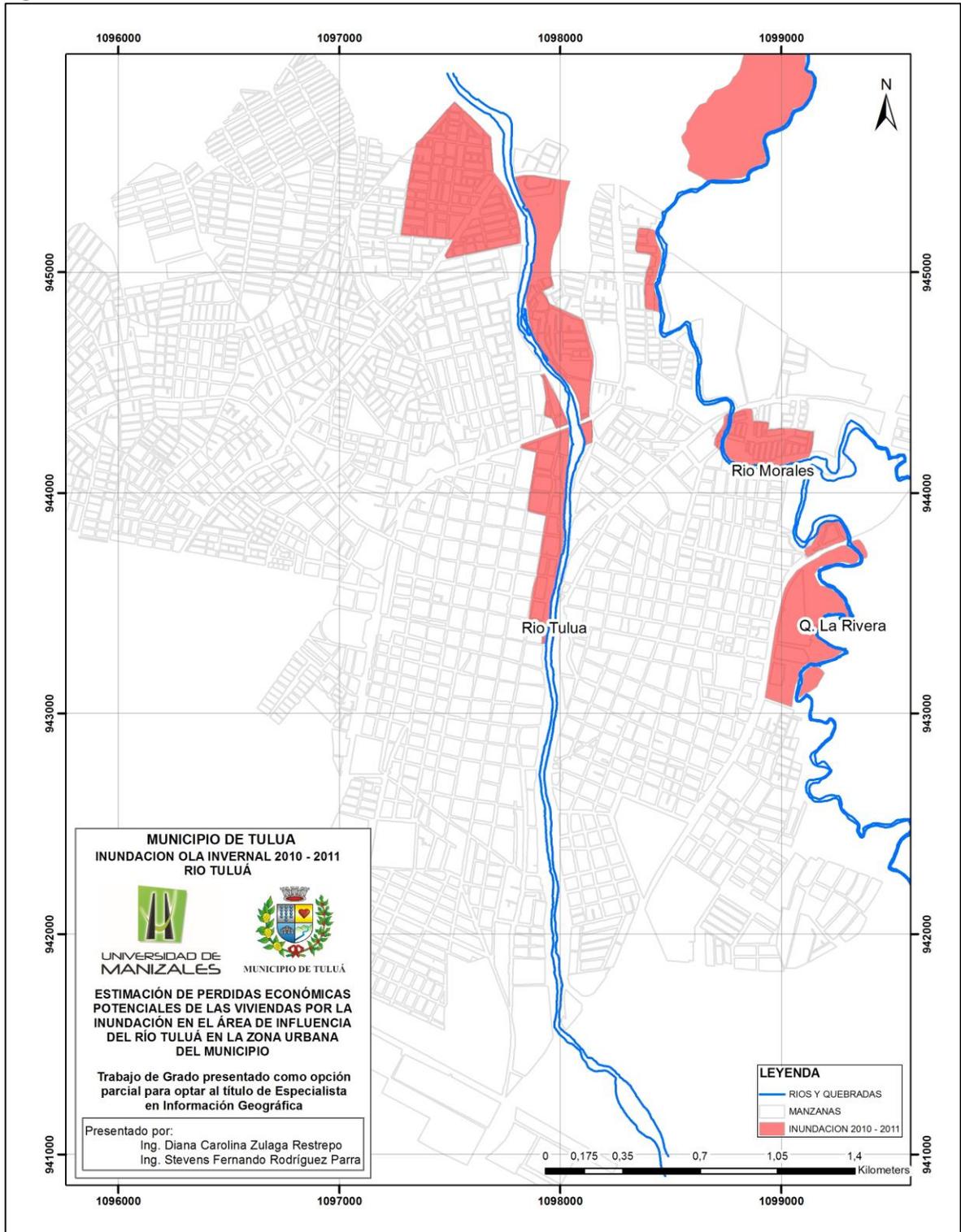
Fuente. Los Autores

Figura 19. Hidrografía urbana.



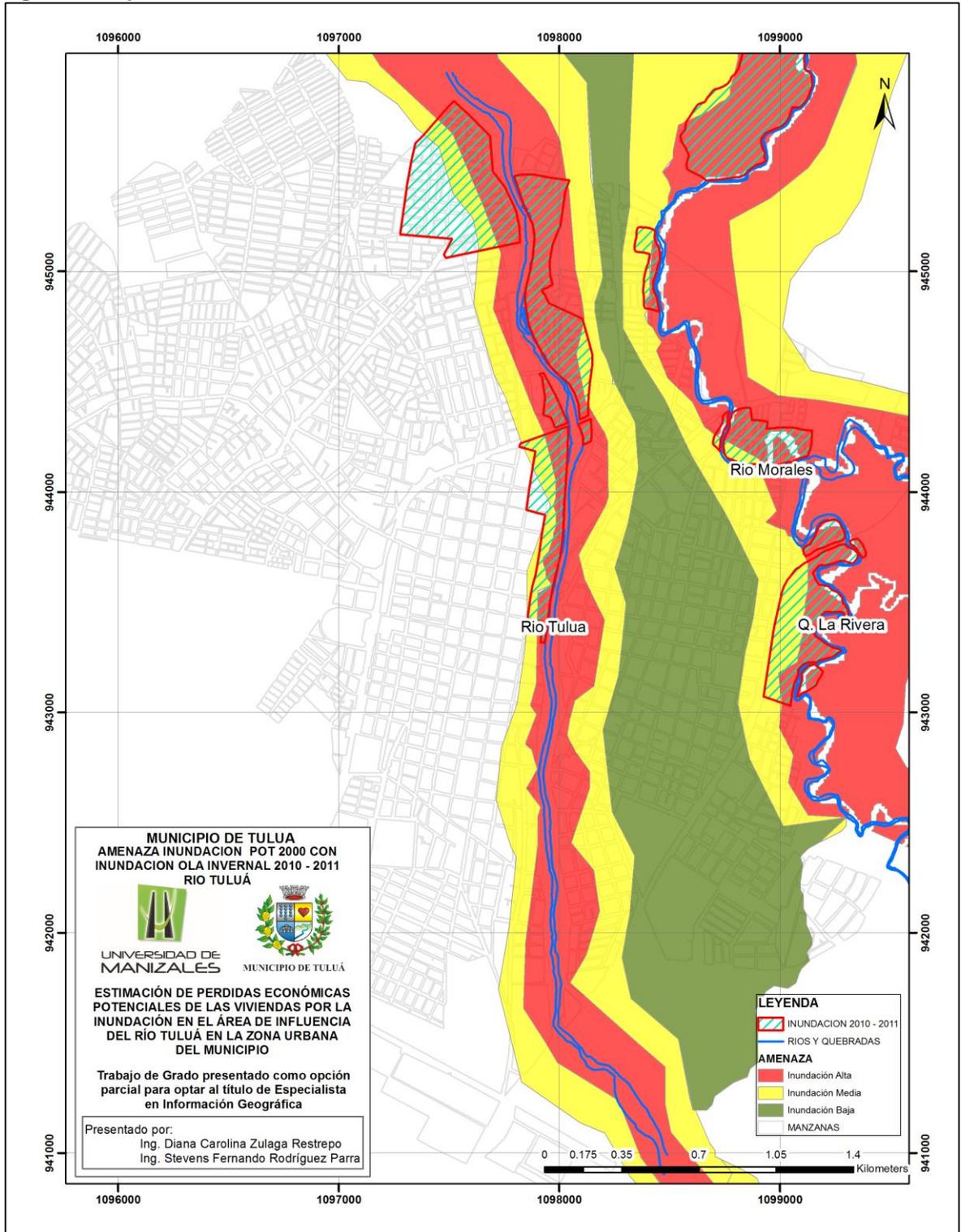
Fuente. Los Autores

Figura 20. Ola invernal 2010-2011



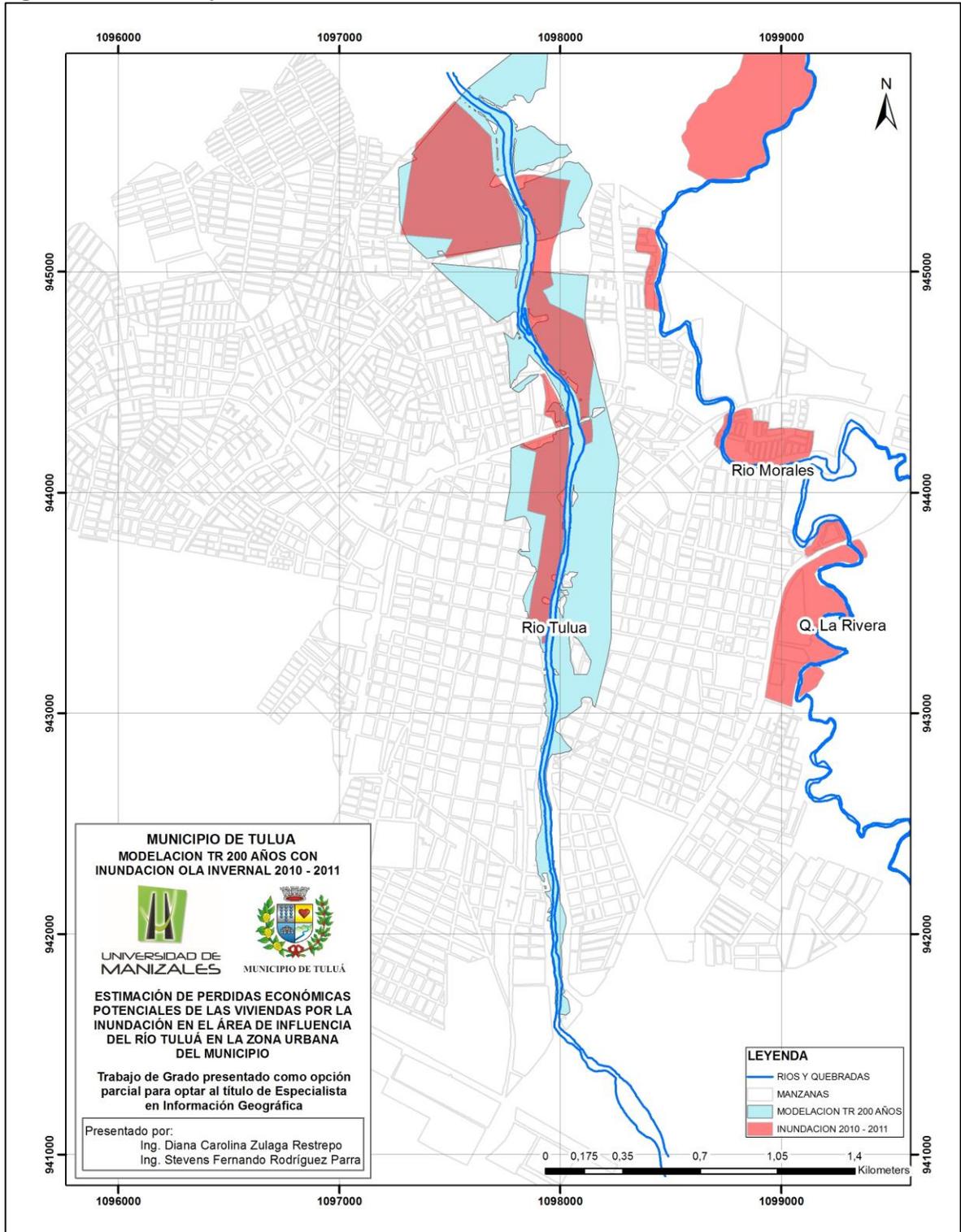
Fuente. Los Autores

Figura 21. Mapa de amenaza de inundación POT 2000 con inundación ola invernal 2010-2011.



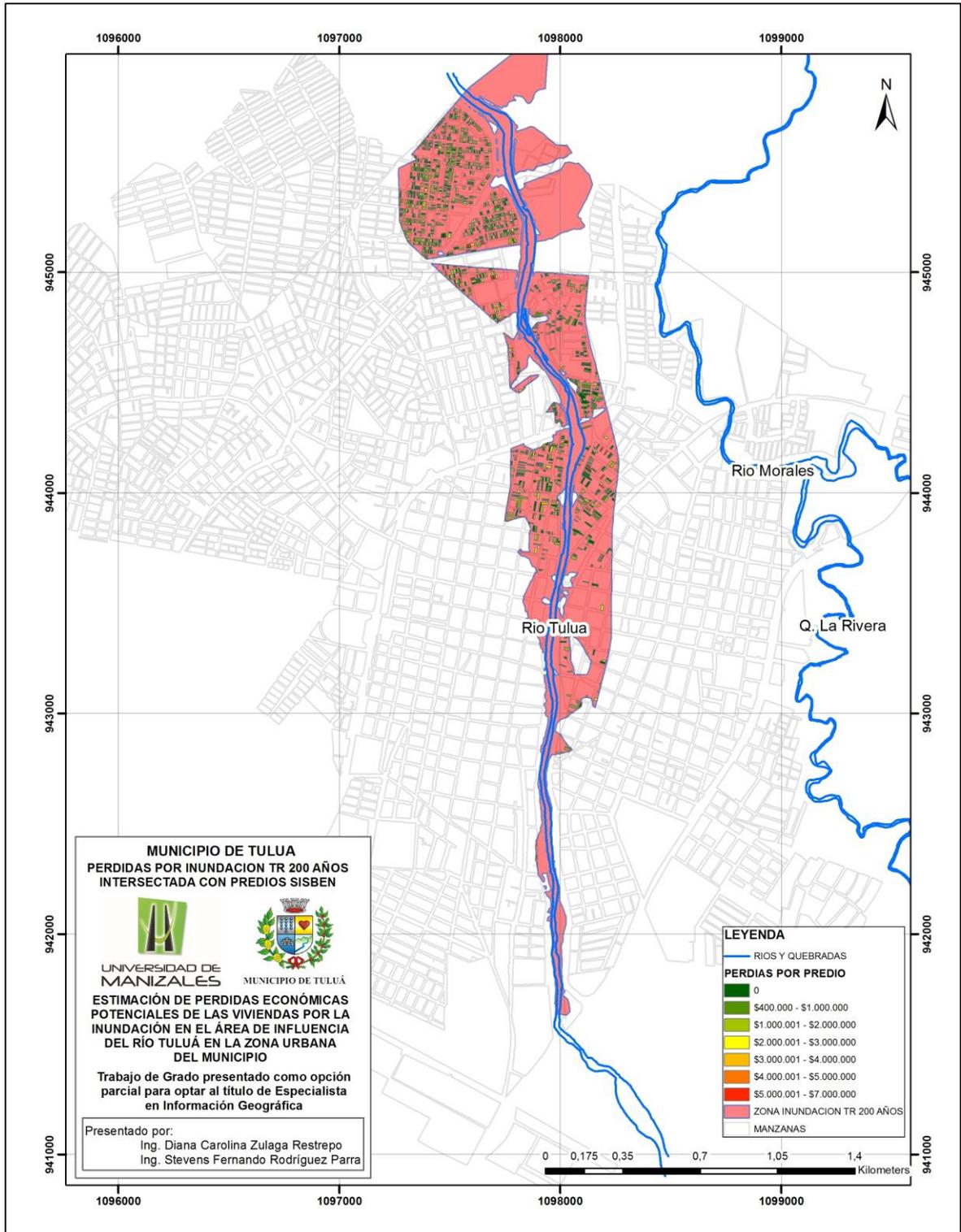
Fuente. Los Autores

Figura 22. Inundación periodo de retorno de 200 años con ola invernal años 2010-2011



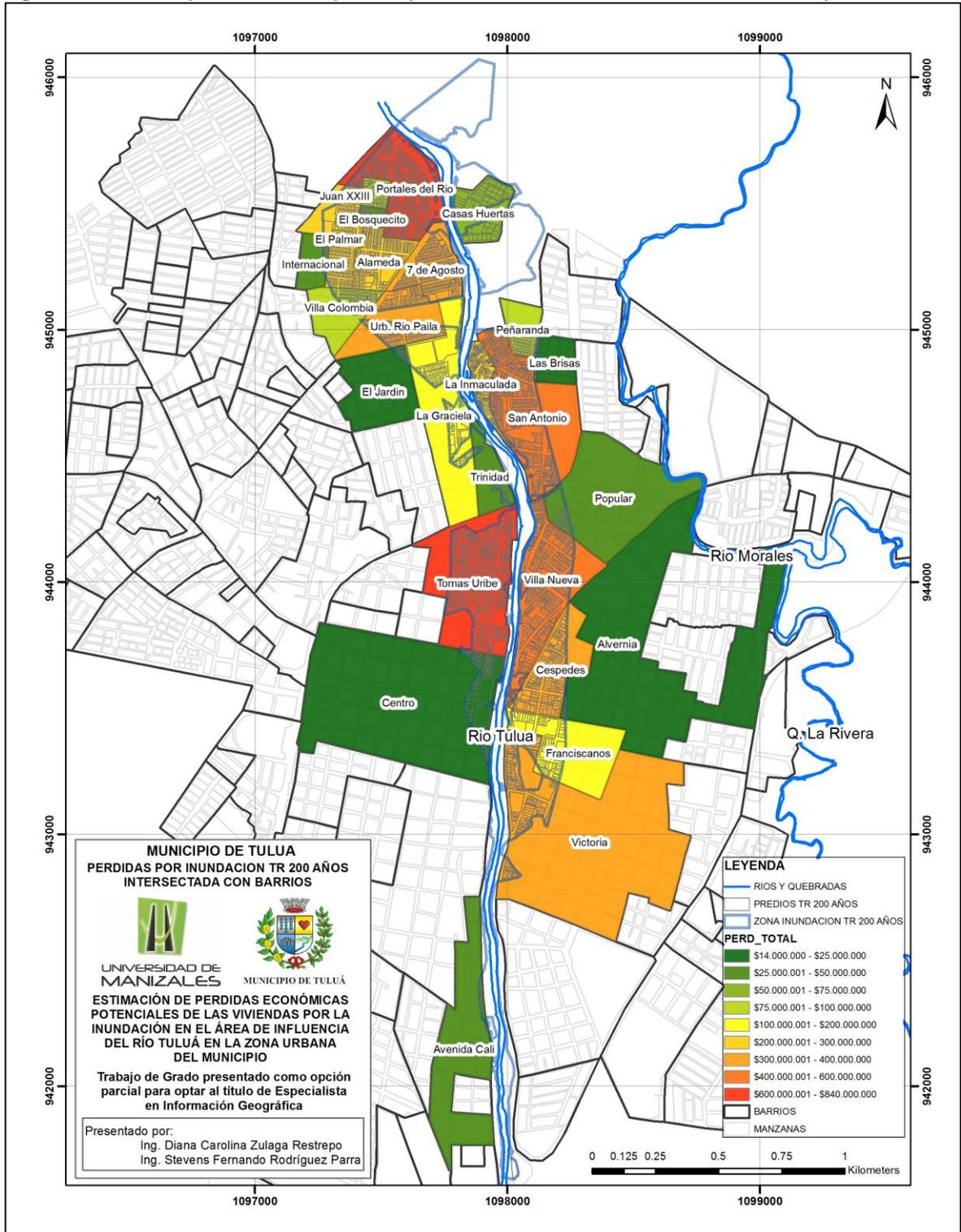
Fuente. Los Autores

Figura 23. Pérdidas por inundación para un periodo de retorno de 200 años para predios con encuesta del SISBEN.



Fuente. Los Autores

Figura 24. Perdidas por inundación para un periodo de retorno de 200 años intersectado por barrios



Fuente. Los Autores

7. CONCLUSIONES

- Debido a las inconsistencias presentadas en la base de datos del SISBEN no se logró una conexión óptima entre la base de datos predial del Municipio (geográfica) y la base de datos del SISBEN (alfanumérica), obteniendo 9.271 conexiones de 102.657 registros que existen.
- Para la estimación de las pérdidas, se tuvo en cuenta el valor de los electrodomésticos básicos que existen en el hogar y debido a la forma en que se encuentra disponible la información en la encuesta del SISBEN, no se logró determinar número de electrodomésticos por predio, se debió dar por hecho la existencia de un único tipo de electrodoméstico por predio, a pesar de que es común en el caso de los televisores que se tenga más de uno. Sin embargo, se logró obtener un valor de pérdidas que asciende los cinco mil millones de pesos aproximadamente.
- El manejo de las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica para la representación gráfica de los resultados, se evidencia en el presente trabajo como primordial en el ejercicio de la aplicación de la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en lo referente al conocimiento del riesgo.
- Con este trabajo se espera dejar un insumo a la Alcaldía de Tuluá para que tome en cuenta la necesidad de invertir en la prevención del riesgo a través de la ejecución de obras de protección o bien en la continuidad de estudios detallados que lleven a que se tomen decisiones administrativas integrales.

8. RECOMENDACIONES

- Para mejorar los resultados obtenidos en la modelación y para obtener valores más exactos del área que abarca la inundación donde se presentan desbordamientos del cauce del río, se recomienda ampliar la topografía existente.
- Para la formulación de futuros proyectos o para la actualización del presente trabajo, se recomienda la estandarización definitiva de base geográfica urbana del municipio y la base de datos alfanumérica del SISBEN.
- Se recomienda al municipio de Tuluá incorporar el presente trabajo en su documentación base, en busca de ampliar el tema y adoptar las medidas o acciones necesarias para la disminución de la vulnerabilidad por inundación en el área urbana.

BIBLIOGRAFÍA

OLLERO OJEDA Alfredo (1997, Octubre). *Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico un planteamiento didáctico*. Recuperado el 2 de mayo de 2015, del sitio Web de Ingeba: <http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur20/200oller/ollero20.htm>

CONGRESO DE COLOMBIA (2012, Abril). *Ley 1523 de 2012*. Recuperado el 4 de abril de 2015, del sitio Web de la Alcaldía de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47141>

Chuvienco, E. (1995) *Fundamentos de Teledetección Espacial* (2da. Ed.). España: Ediciones RIALP S.A. Madrid.

What is LIDAR? (s.f.). Recuperado el 3 de mayo de 2015, de <http://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>

Army Corps of Engineers (s.f.) Recuperado el 3 de mayo de 2015, de <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

Departamento Nacional de Planeación (s.f.) Recuperado el 3 de mayo de 2015, de https://www.sisben.gov.co/Portals/0/Documentos/Documentos%20Tecnicos/04.%200SisbenIII_B%C3%A1sica_200510.pdf

ANEXOS

ANEXO A Aplicación de la Metodología de Marco Lógico.

Identificación de problemas

La identificación de problemas, se centró en el tema del conocimiento de las pérdidas potenciales que pueden presentar ante un evento de inundación del río Tuluá.

- A. Desinterés por parte del Estado para invertir en obras de mitigación de inundación.
- B. Pérdidas económicas en evento de inundación.
- C. Carencia en la definición de políticas de reubicación de la población.
- D. Falta de articulación entre entidades Gubernamentales para estandarización de base de datos, las cuales son insumos para los estudios técnicos.
- E. Falta de cartografía que evidencie las pérdidas económicas por la inundación del río Tuluá.
- F. Retroceso en el desarrollo del Municipio.
- G. Carencia de estudios de modelación de la inundación en el río Tuluá.
- H. Desconocimiento de los costos de las pérdidas por la inundación del río Tuluá.
- I. Detrimento al patrimonio de los habitantes afectados.
- J. Falta de uso óptimo de la información contenida en la base de datos del Sisben.

Para la tipificación de los problemas se eligió la categoría de aquellos que pueden ser o no tangibles, que de algún modo su aparición logra exteriorizarse, evidenciarse. En ese orden de ideas se clasifican:

Problemas Tangibles:

- ✓ Pérdidas económicas en evento de inundación.
- ✓ Carencia en la definición de políticas de reubicación de la población.

- ✓ Falta de cartografía que evidencie las pérdidas económicas por la inundación del río Tuluá.
- ✓ Retroceso en el desarrollo del Municipio.
- ✓ Carencia de estudios de modelación de la inundación en el río Tuluá.
- ✓ Detrimento al patrimonio de los habitantes afectados.

Problemas Intangibles:

- ✓ Desinterés por parte del Estado para invertir en obras de mitigación de inundación.
- ✓ Falta de articulación entre entidades.
- ✓ Gubernamentales para estandarización de base de datos, las cuales son insumos para los estudios técnicos.
- ✓ Desconocimiento de los costos de las pérdidas por la inundación del río Tuluá.
- ✓ Falta de uso óptimo de la información contenida en la base de datos del SISBEN.

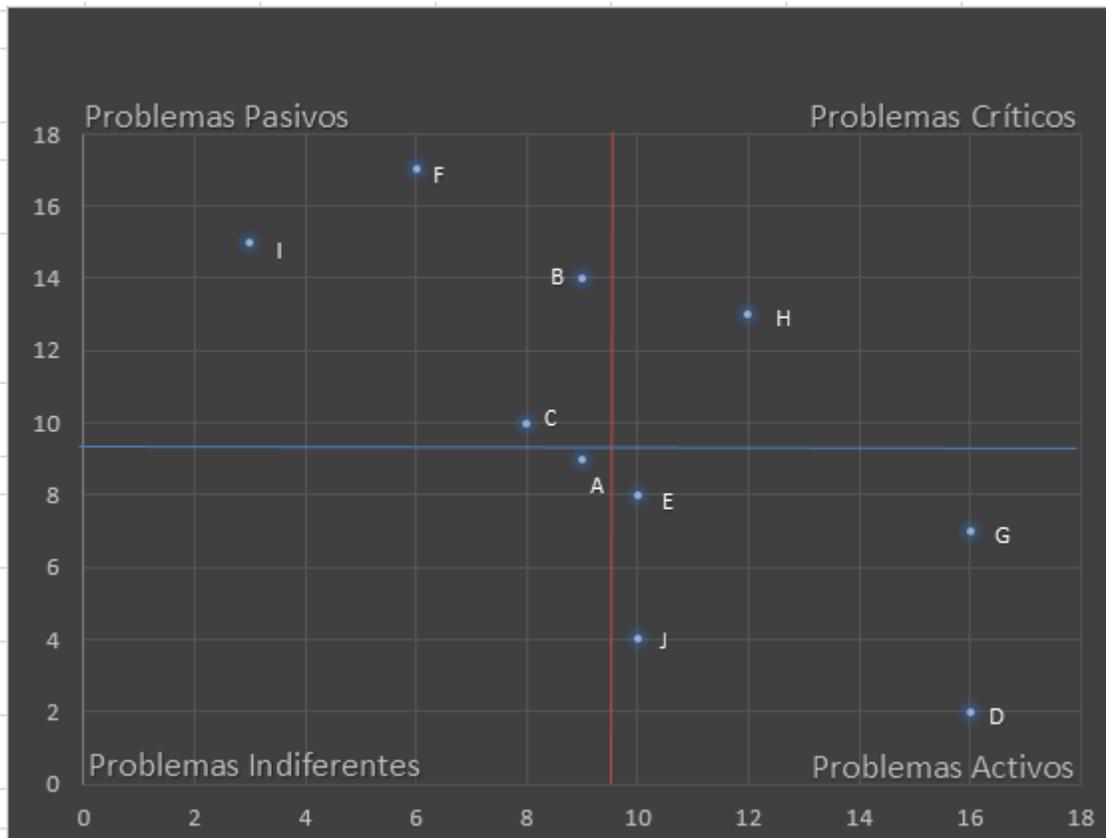
Matriz de Vester

MATRIZ DE VESTER												
	Característica Identificada	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	TOTAL
A	Desinterés por parte del Estado para invertir en obras de mitigación de inundación	X	3	0	0	0	2	1	0	3	0	9
B	Pérdidas económicas en evento de inundación	0	X	0	0	0	3	1	1	3	1	9
C	Carencia en la definición de políticas de reubicación de la población	0	3	X	0	0	2	0	0	2	1	8
D	Falta de articulación entre entidades Gubernamentales para estandarización de base de datos, las cuales son insumos para los estudios técnicos	1	2	2	X	3	1	3	2	1	1	16
E	Falta de cartografía que evidencie las pérdidas económicas por la inundación del río Tuluá	2	1	2	0	X	1	0	3	1	0	10
F	Retroceso en el desarrollo del Municipio	0	0	1	0	1	X	1	1	1	1	6
G	Carencia de estudios de modelación de la inundación en el río Tuluá	2	2	3	0	2	2	X	3	2	0	16
H	Desconocimiento de los costos de las pérdidas por la inundación del río Tuluá	3	3	2	0	0	2	0	X	2	0	12
I	Detrimento al patrimonio de los habitantes afectados	0	0	0	0	0	3	0	0	X	0	3
J	Falta de uso óptimo de la información contenida en la base de datos del	1	0	0	2	2	1	1	3	0	X	10

ACTIVOS

Sisben													
TOTAL	9	14	10	2	8	17	7	13	15	4	99		
	PASIVOS												

Clasificación de problemas

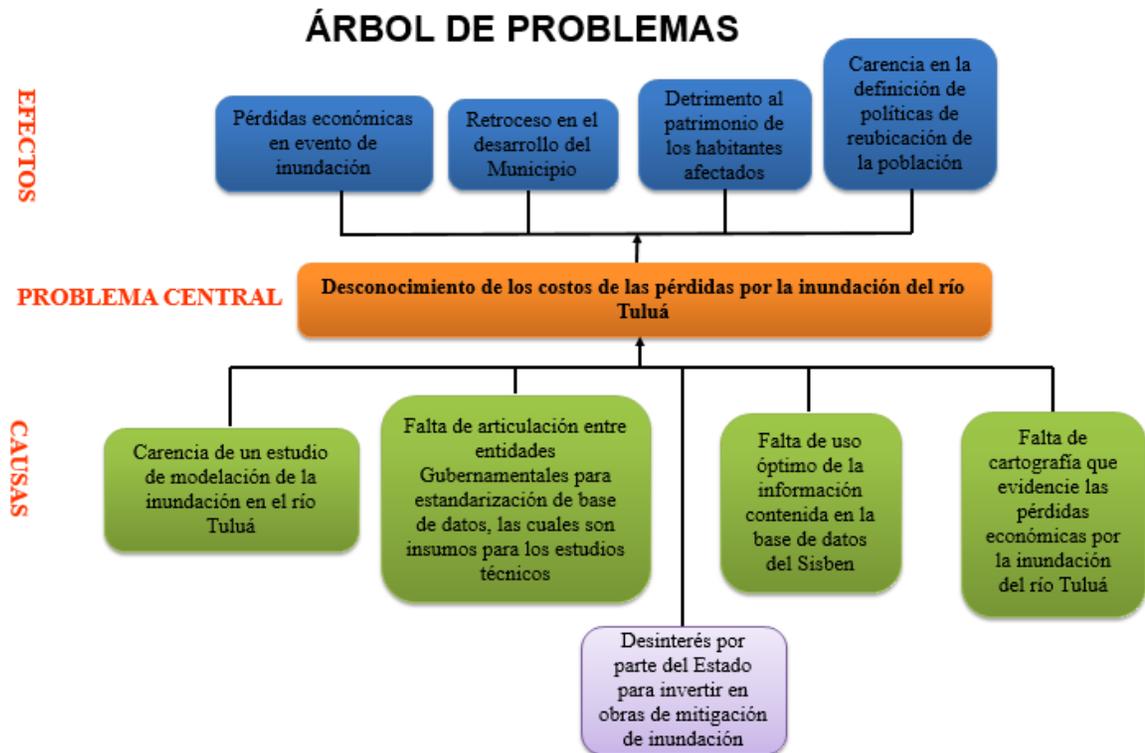


$$\text{ACTIVOS} = (\text{Mayor Activo} - \text{Menor Activo}/2) + \text{Menor Activo} = 9,5$$

$$\text{PASIVOS} = (\text{Mayor Pasivo} - \text{Menor Pasivo}/2) + \text{Menor Pasivo} = 9,5$$

Como problema principal de acuerdo a la aplicación de la metodología se identificó “El Desconocimiento de los costos de las pérdidas por la inundación del río Tuluá”

Árbol de problemas



En el árbol de problemas se especifica el problema central, las causas y los efectos. Para el caso del desarrollo del proyecto, se identificó un problema como indiferente “Desinterés por parte del Estado para invertir en obras de mitigación de inundación”.

Árbol de soluciones



Matriz de Marco Lógico

DESCRIPCIÓN		INDICADORES	MEDIOS Y FUENTES DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
FIN	Conocer las pérdidas por inundación del río Tuluá para la definición de políticas de reubicación con el objetivo de disminuir las pérdidas	1 Documento del estudio que estima las pérdidas económicas por inundación del río Tuluá en 6 meses después del inicio del proyecto	Documento físico y aprobado por las instancias que correspondan, el cual debe reposar en la Secretaría de Gobierno y	Que no haya la asignación presupuestal
				Que el documento no sea aprobado por las instancias correspondientes

	económicas en un evento de inundación, el detrimento al patrimonio de los habitantes afectados y así conseguir un mayor avance en el desarrollo del Municipio		Departamento Administrativo de Planeación Municipal (de ahora en adelante DAPM)	Que no se elabore el documento
PROBLEMA CENTRAL	Estimar las pérdidas económicas potenciales por la inundación en el área de influencia del río Tuluá en la zona urbana del municipio de Tuluá	1 Documento que contenga la metodología que debe implementarse en 3 semanas después del inicio del proyecto	Documento físico y aprobado por las instancias que correspondan, el cual debe reposar en la Secretaría de Gobierno	Que no se consiga la información necesaria que sirve como insumo para el proyecto Que no se obtengan los resultados esperados de la modelación Que las bases de datos y la cartografía base no sean compatible Que no hayan suficientes recursos económicos
COMPONENTES	1. Modelación hidrológica de los niveles de inundación que se alcanzan en el área de influencia del río Tuluá, para	1 Reporte que contengan el perfil, secciones transversales con la correspondient e simulación	Modelación de los diferentes períodos de retorno (archivos digitales), la cual debe	Que no se consiga la información necesaria que sirve como insumo para la modelación

	distintos periodos de retorno	para los diferentes periodos de retorno en el primer mes de inicio del proyecto	reposar en un equipo de cómputo del proyecto con su correspondient e copia de seguridad en DVD's y HDD	Que el equipo de cómputo no tenga la capacidad de procesar la modelación Que la modelación arroje errores "groseros"
	2. Compatibilización de la base de datos geográfica urbana del municipio con la base de datos alfanumérica del Sistema de Información de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales-SISBEN pertenecientes al área de influencia	1 Base de datos geográfica estandarizada, la cual integra las base de datos predial urbana con la base de datos del SISBEN en el primer mes después del inicio del proyecto	Archivos digitales de la base de datos resultante, la cual reposara en un equipo de cómputo del proyecto con su correspondient e copia de seguridad en DVD's y HDD	Que no se consiga la información necesaria que sirve como insumo Que existan problemas para compatibilizar por estar en plataformas independientes Que el equipo de cómputo no tenga la capacidad de procesar la información
	3. Estimación de las pérdidas económicas potenciales por la inundación, a partir de la información obtenida del componente de Datos del Hogar de la encuesta del SISBEN y el estrato socioeconómico	1 Base de datos geográfica con listado de precios por artículo intersectada con las zonas de inundación arrojadas en la modelación en el segundo mes después del inicio del proyecto	Archivos digitales de la base de datos resultante, la cual reposara en un equipo de cómputo del proyecto con su correspondient e copia de seguridad en DVD's y HDD	Que no se consiga la información necesaria que sirve como insumo Que no se hayan obtenido resultados satisfactorios en la modelación

	en el área de influencia			
	4. Visualización por medio de la generación de cartografía temática de las pérdidas económicas que pueden producirse ante un evento de inundación en el área de influencia	16 Mapas con cartografía temática en la que se evidencian las pérdidas económicas que se producen por el evento de inundación en el área de influencia en el tercer mes después del inicio del proyecto	Archivos digitales de la cartografía (PDF, JPEG, TIFF, etc) y análogos, los cuales reposaran en un equipo de cómputo del proyecto con su correspondient e copia de seguridad en DVD's y HDD y en Secretaria de Gobierno y DAPM	Que no se hayan obtenido resultados satisfactorios en la estimación de pérdidas económicas Que se encuentren inconsistencias con la cartografía base Que el plotter se encuentre en mal estado (cartografía análoga)
ACTIVIDADES	0.1 Realizar reunión inicial	1 Reunión realizada en los términos de tiempo de emisión del concurso	Listado de asistencia que reposa en físico en la carpeta del proyecto en el archivador de la consultoría	Que no se realice la reunión

		3 Requisitos preliminares principales recolectados en los términos de tiempo de emisión del concurso	Acta de reunión archivo digital y físico almacenados en el equipo de cómputo del proyecto y en la carpeta del proyecto respectivamente en el archivador de la consultoría	
	0.2 Diseñar instrumentos de recolección de datos	1 Documento que contenga el diseño de los instrumentos de recolección de datos en los términos de tiempo de emisión del concurso	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que no se tengan claros los requisitos iniciales
	0.3 Aprobar instrumentos de recolección de datos	1 Documento que contenga la aprobación por parte del Gerente del Proyecto en los términos de tiempo de emisión del concurso	Documento físico que repose en la carpeta del proyecto en el archivador de la Consultoría	
	0.4 Construir instrumentos de recolección de datos	1 Documento que contenga los instrumentos de recolección de datos en los términos de tiempo de	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	

		emisión del concurso		
0.5 Aplicar instrumentos de recolección de datos	1 Lista de chequeo con la información recolectada en los términos de tiempo de emisión del concurso	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que no se hayan construido los instrumentos de recolección de datos	
0.6 Analizar y depurar requerimientos	1 Documento que contenga la lista de chequeo depurada por parte del Gerente del Proyecto en los términos de tiempo de emisión del concurso	Documento físico que reposa en la carpeta del proyecto en el archivador de la Consultoría	Que no se hayan recolectado los datos	
0.7 Elaborar propuesta	1 Documento que contenga la propuesta en los términos de tiempo de emisión del concurso	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que no se elabore el documento	
0.8 Presentar propuesta	1 Reunión realizada con la presentación de la propuesta en los términos de tiempo de emisión del concurso	Diapositivas de presentación de la propuesta con documento de la propuesta técnico-económica que	Que no se realice la reunión	

			reposa en el equipo de cómputo del proyecto	
			Listado de asistencia que reposa en físico en la carpeta del proyecto en el archivador de la consultoría	
	0.9 Ajustar propuesta	1 Documento que contenga la propuesta ajustada en los términos de tiempo de emisión del concurso	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que no hayan ajustes pendientes a la propuesta
	0.10 Aprobar propuesta	1 Documento que contenga la aprobación por parte del Gerente del Proyecto en los términos de tiempo de emisión del concurso	Documento físico que repose en la carpeta del proyecto en el archivador de la Consultoría	Que no se elabore el documento
	0.11 Instalar software a usar en el proyecto	2 Software instalados en los equipos de cómputo del proyecto en el segundo día después del inicio del	Carpetas de instalación en la ubicación elegida con accesos directos en los equipos de cómputo del	Que el software no sea compatible con las especificaciones del equipo

		proyecto	proyecto	
	0.12 Verificar funcionamiento del software	2 Software ejecutándose estable en el tercer día después del inicio del proyecto	Pantallazos del funcionamiento del software que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	
	1.1 Recolectar información específica (Topografía, Datos hidroclimatológicos-Información secundaria)	1 Lista de chequeo con la información recolectada dos semanas después del inicio del proyecto	Información digital almacenada en los equipos de cómputo del proyecto Información análoga almacenada en la carpeta del proyecto que reposa en el archivador de la Consultoría	1. Que no se encuentre la información necesaria 2. Que no se pueda acceder a la información necesaria
	1.2 Seleccionar los periodos de retorno	3 Periodos de retorno seleccionados dos semanas después del inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que no existan los insumos para calcular los periodos de retorno
	1.3 Modelar la inundación	1 Modelación ejecutada en el primer mes después del inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	1. Que no se consiga la información necesaria que sirve como insumo

1.4 Revisar la modelación	1 Modelación revisada en el primer mes después del inicio del proyecto	Lista de chequeo de la revisión que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	2. Que no se hayan obtenido resultados satisfactorios en la modelación
1.5 Corregir la modelación	1 Modelación corregida en el primer mes después del inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	
1.6 Aprobar la modelación	1 Documento que contenga la aprobación por parte del Gerente del Proyecto en el primer mes después del inicio del proyecto	Documento físico que reposa en la carpeta del proyecto en el archivador de la Consultoría	Que no se apruebe la modelación
1.7 Generar capas vector y raster a partir de los resultados de la modelación de inundación	1 Reporte que contenga las capas tipo vector y raster de la inundación en el primer mes después del inicio del proyecto	Archivos digitales tipo .TIF y .SHP que reposan en el equipo de cómputo del proyecto	1. Que no se tenga la información necesaria para la elaboración de la cartografía 2. Que se presente incompatibilidad con la cartografía base del Municipio
1.8 Construir cartografía de inundación	3 Mapas con cartografía construida de la inundación en el primer mes después del inicio del proyecto	Archivos digitales tipo .MXD, .TIF, .JPG, .PDF que reposan en el equipo de cómputo del proyecto	

	1.9 Revisar la cartografía de inundación	1 Reporte que contenga la revisión de la cartografía en el primer mes después del inicio del proyecto	Lista de chequeo de la revisión que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	
	1.10 Corregir la cartografía de inundación	3 Mapas con cartografía construida de la inundación en el primer mes después del inicio del proyecto	Archivos digitales tipo .MXD, .TIF, .JPG, .PDF que reposan en el equipo de cómputo del proyecto	
	1.11 Aprobar la cartografía de inundación	1 Documento que contenga la aprobación por parte del Gerente del Proyecto en el primer mes después del inicio del proyecto	Documento físico que reposa en la carpeta del proyecto en el archivador de la Consultoría	Que no se apruebe la cartografía
	2.1 Recolectar información específica (Base de datos SISBEN-Base de datos geográfica predial)	1 Lista de chequeo con la información recolectada en el primer mes después del inicio del proyecto	<p>Información digital almacenada en los equipos de cómputo del proyecto</p> <p>Información análoga almacenada en la carpeta del proyecto que reposa en el archivador de la Consultoría</p>	<p>1. Que no se encuentre la información necesaria</p> <p>2. Que no se pueda acceder a la información necesaria</p>

2.2 Revisar la forma de almacenamiento de la base de datos geográfica predial del municipio	1 Documento que contenga un reporte del estado actual de la base de datos en el segundo mes después del inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que no se elabore el documento
2.3 Revisar la forma de almacenamiento de la base de datos alfanumérica del sisben del municipio	1 Documento que contenga un reporte del estado actual de la base de datos en el segundo mes después del inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	
2.4 Definir una sola forma de almacenamiento de los datos	1 Documento que contenga el diseño de la estandarización para las bases de datos en el segundo mes después del inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que no sea posible definir una sola forma de almacenamiento de los datos
2.5 Estandarizar la base de datos geográfica predial del municipio a la forma de almacenamiento definida	1 Base de datos estandarizada en el segundo mes después del inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que existan problemas para compatibilizar por estar en plataformas independientes
2.6 Estandarizar la base de datos alfanumérica del sisben del municipio a la	1 Base de datos estandarizada en el segundo mes después del inicio del	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	

	forma de almacenamiento definida	proyecto		
	2.7 Unir la base de datos geográfica predial del municipio con la base de datos alfanumérica del sisben	1 Base de datos unificada en el segundo mes después del inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que el equipo de cómputo no tenga la capacidad de procesar la información
	2.8 Revisar la nueva base de datos (base de datos geográfica predial y base de datos alfanumérica)	1 Lista de chequeo de la revisión en el segundo mes después del inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que no se haya generado la nueva base de datos
	2.9 Corregir la nueva base de datos (base de datos geográfica predial y base de datos alfanumérica)	1 Base de datos corregida en el segundo mes después del inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	
	2.10 Aprobar la nueva base de datos (base de datos geográfica predial y base de datos alfanumérica)	1 Documento que contenga la aprobación por parte del Gerente del Proyecto en el segundo mes después del inicio del proyecto	Documento físico que reposa en la carpeta del proyecto en el archivador de la Consultoría	Que no se apruebe la nueva base de datos
	3.1 Construir base de datos de los precios promedio de los electrodomésticos según el estrato	1 Base de datos de los precios construida en el primer mes después del inicio del	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que no existan los insumos para calcular el promedio de los costos de los electrodomésticos

	socioeconómico	proyecto		os
	3.2 Intersectar la nueva base de datos (base de datos geográfica predial y base de datos alfanumérica) con las zonas de inundación obtenidas a través de la modelación	1 Reporte de los predios afectados por las zonas de inundación para los diferentes periodos de retorno en el tercer mes después del inicio del proyecto	Archivo digital tipo vector en formato .gdb que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que para la zona de inundación no se tenga información predial
	3.3 Revisar la intersección	1 Reporte de la revisión de los predios afectados por las zonas de inundación para los diferentes periodos de retorno en el tercer mes después del inicio del proyecto	Archivo digital tipo vector en formato .gdb que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	
	3.4 Corregir la intersección	1 Reporte de la corrección de los predios afectados por las zonas de inundación para los diferentes periodos de retorno en el	Archivo digital tipo vector en formato .gdb que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	

		tercer mes después del inicio del proyecto		
	3.5 Aprobar la intersección	1 Documento que contenga la aprobación por parte del Gerente del Proyecto en el tercer mes después del inicio del proyecto	Documento físico que reposa en la carpeta del proyecto en el archivador de la Consultoría	Que no se apruebe por parte del Gerente del Proyecto
	3.6 Asignar valores de los electrodomésticos según el estrato socioeconómico a la nueva base de datos (base de datos geográfica predial y base de datos alfanumérica)	1 Base de datos con valores por cada electrodoméstico dependiendo del estrato socio-económico después del cuarto mes de inicio del proyecto	Archivo digital tipo .gdb y/o .shp que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que no se obtengan los valores correctos por una alza o baja del dólar
	3.7 Cuantificar las pérdidas económicas por la inundación en los estratos socioeconómico	1 Reporte de las pérdidas económicas cuantificadas después del cuarto mes de inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que no se tenga la información necesaria para cuantificar las pérdidas

	4.1 Generar capas vector y raster a partir de los resultados de las pérdidas económicas	1 Reporte que contenga las capas tipo vector y raster de la inundación generadas después del cuarto mes de inicio del proyecto	Archivos digitales tipo .TIF y .SHP que reposan en el equipo de cómputo del proyecto	1. Que no se tenga la información necesaria para la elaboración de la cartografía 2. Que se presente incompatibilidad con la cartografía base del Municipio
	4.2 Construir cartografía	16 mapas que contenga la cartografía construida después del cuarto mes de inicio del proyecto	Archivos digitales tipo .MXD, .TIF, .JPG, .PDF que reposan en el equipo de cómputo del proyecto	
	4.3 Revisar la cartografía	1 Reporte que contenga la revisión de la cartografía después del cuarto mes de inicio del proyecto	Lista de chequeo de la revisión que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	
	4.4 Corregir la cartografía	16 mapas que contenga la cartografía construida después del cuarto mes de inicio del proyecto	Archivos digitales tipo .MXD, .TIF, .JPG, .PDF que reposan en el equipo de cómputo del proyecto	
	4.5 Aprobar la cartografía	1 Documento que contenga la aprobación por parte del Gerente del Proyecto después del	Documento físico que reposa en la carpeta del proyecto en el archivador de la Consultoría	Que no se apruebe la cartografía

		cuarto mes de inicio del proyecto		
5.1 Elaborar informe final	1 Documento de informe final elaborado después del quinto mes de inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto	Que no se elabore el documento	
5.2 Revisar informe final	1 Documento de informe final revisado después del quinto mes de inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto		
5.3 Corregir informe final	1 Documento de informe final corregido después del quinto mes de inicio del proyecto	Archivo digital que reposa en el equipo de cómputo del proyecto		
5.4 Aprobar informe final	1 Documento que contenga la aprobación por parte del Gerente del Proyecto después del quinto mes de inicio del proyecto	Documento físico que reposa en la carpeta del proyecto en el archivador de la Consultoría	Que no se apruebe el informe final	

	5.5 Presentar informe final	1 Reunión realizada con la presentación del informe final después del quinto mes de inicio del proyecto	Diapositivas de presentación del informe final con documento soporte (e archivo digital e impreso) que reposa en la Secretaría de Gobierno y el DAPM	Que no se realice la reunión
			Listado de asistencia que reposa en físico en la carpeta del proyecto en el archivador de la consultoría	
	5.6 Socializar resultados con autoridades municipales	5 Reuniones realizadas con la presentación del informe final después del quinto mes de inicio del proyecto	Diapositivas de presentación del informe final que reposan copias en CD que se entregan a las autoridades municipales	Que no se realice la socialización
			Listado de asistencia que reposa en físico en la carpeta del proyecto en el archivador de la consultoría	

	5.7 Socializar resultados con la comunidad en general	5 Reuniones realizadas con la presentación del informe final después del quinto mes de inicio del proyecto	<p>Diapositivas de presentación del informe final con documento soporte (e archivo digital e impreso) que reposa en la Secretaría de Gobierno y el DAPM</p> <p>Listado de asistencia que reposa en físico en la carpeta del proyecto en el archivador de la consultoría</p>	Que no se realice la socialización
--	---	--	---	------------------------------------

ANEXO B Recursos y Presupuesto del Proyecto.

