

**Zonificación de amenaza por inundación en el área y periferia urbana del municipio de San Juan de Girón (Santander), a causa del Rio de Oro, a partir del uso de los SIG**

**Kiara Edith Cardona Arguello**

**Juan Carlos Amaya Contreras**

**Julián Francisco Rodríguez Tibaquirá**

**Luis Alberto Fajardo Medina**

Propuesta de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de

Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Línea de Investigación

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, Año 2024.

# Contenido

Contenido .....	2
Lista de Figuras .....	3
Lista de Tablas .....	4
1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación .....	5
1.1 Descripción del área problemática .....	5
1.2 Formulación del problema .....	6
1.3 Justificación .....	8
2. Objetivos .....	9
2.1 Objetivo general .....	9
2.2 Objetivos específicos .....	9
3. Antecedentes .....	11
4. Referente normativo y legal .....	18
5. Referente teórico .....	23
6. Metodología .....	27
6.1 Enfoque metodológico .....	27
6.2 Procedimiento .....	27
7. Resultados .....	32
7.1 Recopilación de la información .....	32
7.2 Delimitación del área de estudio .....	39
7.3 Identificación de zonas inundables. (objetivo No. 2) .....	39
7.4 Zonificación de la amenaza por inundación en el Municipio de San Juan de Girón 43	
7.5 Afectaciones a predios y construcciones .....	46
8. Conclusiones .....	51
9. Recomendaciones .....	55
10. Referencias .....	56
11. Anexo .....	59

# Lista de Figuras

Figura 1. Localización general municipio de San Juan de Girón .....	33
Figura 2. Unión de la información predial del municipio de San Juan de Girón. ....	34
Figura 2. Unión de la información de construcciones del municipio de San Juan de Girón. ...	34
Figura 3. Información básica (drenajes y vías) San Juan de Girón .....	35
Figura 5. Mapa 14 D. POT San Juan de Girón 2010. ....	38
Figura 6. Delimitación del Área de estudio .....	39
Figura 7. Herramienta Simulation Arcgis Pro .....	41
Figura 8. Recuadro donde se realizará la simulación de inundación. ....	41
Figura 9. Resultado de la simulación de inundación Arcgis Pro. ....	42
Figura 10. Resultado de la simulación de inundación reclasificada. ....	42
Figura 11. Mancha de inundación periodo de retorno de 100 años POT Girón. ....	43
Figura 12. Resultado de la simulación de inundación reclasificada en alta, media y baja. ....	44
Figura 13. Superposición de la simulación vs mancha de inundación periodo de retorno 100 años POT San Juan de Girón 2010. ....	45
Figura 14. Predios afectados .....	46
Figura 15. Predios respecto a los grados de amenaza identificados. ....	46
Figura 16. Construcciones afectadas.....	47
Figura 17. Construcciones respecto a los grados de amenaza identificados.....	47
Figura 18. Predios afectados por la mancha de inundación periodo de retorno de 100 años POT Girón.....	48
Figura 19. Construcciones afectadas por la mancha de inundación periodo de retorno de 100 años POT Girón. ....	49

# Lista de Tablas

Tabla 1. Estaciones meteorológicas IDEAM.....	36
Tabla 2. Estación meteorológica Llano Grande precipitación multianual. IDEAM.....	36
Tabla 3. Estación meteorológica Palo Gordo precipitación multianual. IDEAM. ....	37
Tabla 4. Estación meteorológica El pantano precipitación multianual. IDEAM. ....	37
Tabla 5. Áreas por cada grado de amenaza.....	45
Tabla 6. Comparación de los resultados obtenidos entre la simulación y la información del POT de Girón.....	50

# **1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación**

Las inundaciones fluviales en áreas rurales constituyen una de las problemáticas ambientales y socioeconómicas más significativas a nivel global, incidiendo de manera particular en países con alta vulnerabilidad climática y geográfica como Colombia. Este país, caracterizado por su diversidad topográfica y climática, enfrenta desafíos únicos en la gestión del riesgo asociado a las inundaciones, que afectan principalmente a comunidades rurales con limitadas capacidades de adaptación y respuesta.

Las inundaciones constituyen uno de los desastres naturales más comunes y devastadores, afectando a millones de personas cada año en todo el mundo. Según el Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, las inundaciones representan el 40% de todos los desastres relacionados con el clima, causando significativas pérdidas económicas y humanas (UNDRR, 2019). Específicamente en áreas rurales, las inundaciones impactan no solo en la infraestructura física y la vivienda, sino también en la seguridad alimentaria, el acceso al agua potable y la salud, comprometiendo así el bienestar y el desarrollo de estas comunidades. Es por esto por lo que se plantea el uso de tecnologías como lo son los Sistemas de Información Geográfica, como una medida para entender dichas problemáticas dadas las capacidades que tiene esta tecnología para el manejo y almacenamiento de la información permitiendo realizar análisis multidisciplinarios contribuyendo con la planificación y toma de decisión por las entidades componentes.

## **1.1 Descripción del área problemática**

El crecimiento poblacional, impulsado por cambios socioespaciales en los últimos años, ha generado perturbaciones en el medio ambiente. Estas perturbaciones afectan el uso

del suelo y los ecosistemas, especialmente el sistema lacustre. Además, la formación no regulada de asentamientos humanos, el aumento de residuos contaminantes y el uso irresponsable de los recursos naturales agravan la situación. (Jiménes, 2023).

Por otro lado, el uso que se le ha dado al suelo en los últimos años, provocando un incremento en zonas de cultivos, ganadería, urbanismo, entre otros; la débil planificación de los entes territoriales y autoridades ambientales han generado pocas alternativas sostenibles de manejo ambiental.

El municipio de San Juan de Girón (Santander), se presenta un alto índice de población residiendo en asentamientos precarios. Cerca del 21 % de sus habitantes (33.270 personas) viven en 63 asentamientos precarios, siendo esta la población más vulnerable a sufrir estos embates de la naturaleza. Las causas por la que se ocasionan muchos de estos desastres están relacionados con: la invasión de la franja de aislamiento del cauce para construcción de viviendas y asentamientos precarios; de igual forma las causas naturales son principalmente de origen hidro – meteorológico a las que está expuesta las poblaciones ubicadas en proximidades del Río de Oro, cuando el nivel pluviométrico sobrepasa su capacidad de carga. A este comportamiento natural se añade el deterioro por el mal manejo en las cuencas hidrográficas, donde la deforestación en las partes altas de la cuenca acelera procesos erosivos y movimientos en masa, lo que se traduce en el aumento de sedimentos en suspensión y una mayor colmatación de los cauces, disminuyendo la capacidad portante de estos y potenciando las inundaciones. (Uriza, 2009).

## **1.2 Formulación del problema**

Las inundaciones representan una de las principales amenazas naturales en Colombia, generando impactos significativos en comunidades vulnerables, infraestructura y ecosistemas. En el municipio de San Juan de Girón (Santander), el Río de Oro ha sido históricamente una fuente recurrente de inundaciones, afectando tanto el área urbana como su periferia. El

crecimiento urbano descontrolado, la ocupación de zonas de alto riesgo y la limitada planificación territorial han incrementado la vulnerabilidad de la población ante estos eventos, con afectaciones en la vivienda, el comercio y la movilidad.

Según datos del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio, cerca del 21% de los habitantes residen en asentamientos precarios situados en zonas de riesgo de inundación. A esto se suma la deforestación de la cuenca alta, el aumento en la escorrentía superficial y la sedimentación del cauce del río, lo que reduce su capacidad hidráulica y agrava el impacto de los eventos hidrometeorológicos extremos. Durante la temporada invernal de 2010-2011, el fenómeno de La Niña provocó severas inundaciones en el municipio, evidenciando la necesidad de herramientas avanzadas para la identificación y zonificación de áreas de riesgo.

A pesar de la existencia de información cartográfica sobre las amenazas por inundación en el POT del municipio, estos datos no han sido actualizados con metodologías avanzadas de análisis espacial. La incorporación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y modelos de simulación permitiría mejorar la precisión de la zonificación de amenazas, generando información más detallada y actualizada para la prevención y mitigación del riesgo.

En este contexto, surge la pregunta: ¿Es posible, a través del uso de herramientas SIG, realizar una zonificación de la amenaza por inundación en San Juan de Girón que permita generar conocimiento e información enfocada en la prevención y mitigación de los posibles eventos amenazantes?

Este estudio busca dar respuesta a esta interrogante mediante la integración de datos hidrológicos, modelación SIG y análisis espacial, con el fin de proporcionar insumos técnicos que faciliten la toma de decisiones y la implementación de estrategias de reducción de amenazas en la zona de estudio.

### **1.3 Justificación**

Hoy en día, el análisis de los eventos naturales amenazantes es considerada una temática de interés a nivel global por los impactos negativos que pueden llegar a generar en las comunidades así como en el entorno, es por esto por lo que los estudios, así como los análisis precisos para una correcta planificación y evaluación, se centran primordialmente en herramientas como el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales tienen varios ámbitos de aplicación, y uno de ellos es la detección y/o gestión de las catástrofes naturales. El uso de los SIG en caso de desastres naturales es crucial, ya que permite abordar estos problemas con mayor agilidad, identificando las zonas de mayor impacto, previniendo, alertando, interviniendo y recuperando. (Castrillon, 2017). Siendo esta una herramienta útil para la planificación y la toma de decisiones de las autoridades encargadas de gestionar el riesgo.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura señala que las inundaciones afectan a más personas que cualquier otro tipo de desastre natural debido a su frecuencia, extensión geográfica y capacidad para afectar comunidades vulnerables (FAO, 2017). En el contexto colombiano, el fenómeno de La Niña y El Niño, asociado a variaciones extremas en los patrones de precipitación, exagera la frecuencia e intensidad de las inundaciones, desafiando la capacidad de gestión del riesgo del país (IDEAM 2. , 2019).

La investigación sobre inundaciones en áreas rurales en Colombia ha identificado varios factores críticos que agravan el riesgo y la vulnerabilidad de estas comunidades. Entre ellos, la variabilidad climática inducida por el cambio climático emerge como un impulsor fundamental, alterando los patrones de precipitación y exacerbando los eventos de inundación (Poveda, 2020). Además, las prácticas de uso del suelo, como la expansión agrícola y la urbanización no planificada, aumentan la escorrentía superficial y reducen la capacidad

natural del suelo para absorber agua, intensificando así el impacto de las inundaciones (Rodríguez-Becerra y Espildora, 2019).

Frente a esta problemática, la necesidad de implementar estrategias efectivas de gestión del riesgo de inundaciones es evidente. La adaptación y mitigación a través de infraestructuras hídricas, como diques y sistemas de drenaje, y la restauración de ecosistemas naturales, como humedales y bosques, se perfilan como soluciones prometedoras. Sin embargo, la eficacia de estas medidas requiere de un enfoque integrado que combine conocimientos técnicos con una comprensión profunda de las dinámicas sociales y económicas de las comunidades rurales afectadas (Restrepo y Escobar, 2018).

Las inundaciones por ríos en áreas rurales en Colombia representan un desafío complejo que exige una aproximación multidisciplinaria y colaborativa para su manejo efectivo. La investigación orientada hacia la comprensión integral de este fenómeno y la implementación de estrategias de adaptación y mitigación basadas en la evidencia es fundamental para proteger las vidas y medios de subsistencia de las comunidades rurales colombianas y asegurar su desarrollo sostenible frente a un clima cambiante.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Elaborar la zonificación de la amenaza por inundación que se podría ocasionar el río de Oro en el área urbana y periferia del área urbana del municipio de San Juan de Girón, Santander, mediante el uso de herramientas SIG, con el propósito de generar información para la prevención y gestión de amenazas naturales.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar las variables necesarias para identificar el nivel de amenaza por inundación en el municipio de San Juan de Girón, Santander.

- Determinar las zonas propensas a inundación causada por el río de Oro en el área urbana y periferia del área urbana en el municipio de San Juan de Girón, a partir de información secundaria existente, zonificando y clasificando los diferentes grados de amenaza.
- Realizar el análisis de los predios que pudieran afectarse por las inundaciones causadas por el río de Oro en el área urbana y periferia del área urbana en el municipio de San Juan de Girón
- Generar una base de datos geográfica con la información referente al proyecto, que permita que la visualización de los datos de manera detallada.

### 3. Antecedentes

El análisis de Riesgos de Desastres es hoy en día una temática de interés a nivel global por los impactos negativos que pueden llegar a generar en el entorno, es por esto por lo que los estudios, así como los análisis precisos para una correcta planificación y evaluación, se centran primordialmente en herramientas como el uso de los SIG. La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tiene varios ámbitos de aplicación, y uno de ellos es la detección y/o gestión de las catástrofes naturales, ya que permite abordar estos problemas con agilidad, identificando las zonas de mayor impacto, previniendo, alertando, interviniendo y recuperando. (Castrillon, 2017).

El aumento en el número de inundaciones a nivel mundial, que alcanzó 3,713 eventos entre 1985 y 2010, se debe a múltiples factores, especialmente a problemas de ordenamiento territorial. El crecimiento de asentamientos humanos en zonas propensas a inundaciones ha alterado las características de las cuencas, dificultando cada vez más el control de los escurrimientos. Esta situación, junto con los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico, como el aumento en la intensidad de las lluvias y la previsión de ciclones tropicales más intensos, hace necesario desarrollar programas de control de inundaciones que protejan a las poblaciones y fomenten una verdadera resiliencia ante estos fenómenos. (Cortes, Perez, & Mogollon, 2016).

Las prácticas y políticas para la gestión del riesgo de desastres se basan en una gestión del riesgo en todas sus dimensiones de vulnerabilidad, capacidad, grado de exposición de personas y bienes, características de las amenazas y entorno. Se debe promover el acceso en tiempo real a datos fiables, usar información espacial, incluidos los sistemas de información geográfica (SIG), y utilizar las innovaciones en tecnología de la información y las comunicaciones para mejorar la medición y recopilación, análisis y difusión de datos (ONU, 2015).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) promueve la creación de políticas públicas que fortalezcan la resiliencia de las ciudades y sus territorios, con un enfoque especial en la región mesoamericana debido a su alta vulnerabilidad tanto social (pobreza, migración y violencia) como ambiental (impactos del cambio climático) (Aldabe, 2018). La migración rural es principalmente impulsada por las expectativas económicas generadas por la globalización. Este fenómeno se ve agravado por las limitadas oportunidades y las difíciles condiciones de vida que enfrentan los habitantes rurales, como resultado de conflictos armados, inestabilidad política, eventos climáticos extremos y acceso limitado a infraestructura y servicios básicos (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016)

El estudio de la cuenca del río Cauto en Cuba se centra en la delimitación y clasificación utilizando herramientas SIG, específicamente ArcGIS 9.3. Los resultados permitieron crear una base cartográfica que facilitó la determinación de la probabilidad de ocurrencia de fenómenos naturales desde una perspectiva espacial. Se establecieron niveles de susceptibilidad basados en el valor de cada clase de factores condicionantes. La cuenca se dividió en cinco categorías principales: zonas extremadamente inundables, muy inundables, medianamente inundables, de baja inundación y no inundables. (Montecelos Zamora, 2011)

Los principales impactos de las inundaciones en la población ocurren cuando no se tiene suficiente conocimiento sobre la frecuencia de los niveles hídricos asociados a estos eventos y la planificación del uso del suelo según los riesgos de inundación, especialmente para los inmigrantes urbanos. Un escenario común en la urbanización descontrolada es la ocupación de planicies de inundación durante años con niveles de crecida bajos, que permanecen dentro de los márgenes normales de ríos y arroyos. Cuando se producen crecidas más altas, el daño aumenta significativamente y las autoridades deben invertir en la asistencia

a las víctimas de la inundación, lo que genera una demanda pública de medidas de protección contra futuras inundaciones. (Tucci, 2004).

La planificación de proyectos para identificar zonas susceptibles de inundación requiere información sobre diversos eventos hidrológicos aleatorios. Esta información solo puede obtenerse mediante análisis probabilísticos y estadísticos basados en registros hidrológicos históricos (Navarro, 2007). Para la estimación de caudales, existen varios métodos. Los más sencillos se basan en fórmulas empíricas que consideran únicamente la superficie de la cuenca para establecer una relación causal entre esta y los caudales. En contraste, los métodos más avanzados incorporan numerosos parámetros relacionados con el binomio precipitación-cuenca, así como las características de la cuenca que influyen en la distribución de la precipitación en su interior (Sanchez, 2014).

Los mapas de zonas inundables tienen como objetivo zonificar las áreas adyacentes a los ríos según la probabilidad de que sean afectadas por inundaciones. Para ello, se utilizan Sistemas de Información Geográfica (SIG) para crear una delimitación cartográfica de estas zonas, integrando conocimientos hidrológicos, geomorfológicos e hidráulicos de la superficie inundable y proporcionando una valoración del nivel de riesgo. Estos mapas son herramientas de planificación esenciales para mitigar los posibles daños causados por las inundaciones. (Vasques, Garduño, & Argandar, 2015)

La aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) junto con técnicas de evaluación multicriterio (EMC) proporciona una metodología eficaz para identificar escenarios de riesgo de inundaciones en cuencas fluviales, siempre que los criterios seleccionados reflejen factores condicionantes para la ocurrencia de estos eventos. Utilizando indicadores de susceptibilidad, es posible delimitar cartográficamente las áreas de peligro dentro de las cuencas.

Además, la integración de los SIG y otras metodologías espaciales permite obtener información detallada sobre los sistemas de drenaje y cuencas, que son determinantes clave en el manejo de la escorrentía. El flujo de drenaje puede ser analizado mediante software geográfico para identificar las áreas con mayor probabilidad de riesgo o amenaza de inundaciones repentinas (Youssef, Pradhan, & Hassan, 2011).

El modelo de elevación digital (DEM) es un componente fundamental en el modelamiento hidrológico y en la creación de cartografía de riesgo de inundación. La precisión en el cálculo de la cuenca depende en gran medida de la resolución espacial y la exactitud de los planos topográficos. Las diferencias en la escala de la cartografía utilizada no solo simplifican los flujos de corriente, sino que también alteran el porcentaje de arroyos de menor orden (El-Behiry, 2006). (El-Behiry, Shedid, Abu-Khadra, & El-Hunseiny, 2005)

Actualmente, existen numerosas plataformas web a nivel global, desarrolladas tanto por entidades públicas como privadas, que se dedican a la publicación de datos abiertos sobre diversos temas. Colombia no es la excepción; el Portal de Datos del Estado, creado por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, es una plataforma destinada a la publicación de datos abiertos de interés nacional por parte de entidades públicas nacionales y territoriales. En estas plataformas, se pueden obtener datos de precipitación necesarios para calcular los niveles hidráulicos e identificar los posibles riesgos de inundación en las zonas aledañas a las cuencas. (MinTIC, 2019).

Colombia, con su valiosa fortaleza hídrica, enfrenta una alta amenaza de inundación durante las épocas invernales debido a la abundante pluviosidad. Esta situación se agrava por la combinación de varios factores, como el aumento del caudal precipitado, la intervención en ríos y quebradas, la constante injerencia humana en zonas de conservación y protección de fuentes hídricas, la construcción de obras lineales que afectan los cauces y la reducción de zonas de humedales. Además, las inundaciones súbitas presentan desafíos adicionales en su

análisis y tiempo de respuesta en comparación con las inundaciones lentas. Estos desafíos incluyen la deforestación de cuencas, el continuo desarrollo urbanístico y la condición geográfica de ladera en sus tres franjas definidas (Velandia, 2014).

Para Colombia, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2016) constituye el mecanismo que orienta la gestión y organiza los procesos de planificación nacional en materia de adaptación, y ejecución de políticas, acciones y proyectos para minimizar la vulnerabilidad y capacidad adaptativa ante los impactos de eventos climáticos en el país. Colombia está formulando el Plan de Acción del PNACC con apoyo del Programa de Preparación para la Adaptación Nacional al Cambio Climático. (PNACC, 2016)

Para la cuenca alta del Río Bogotá, en el sector de Cota, Cundinamarca, y los límites con la localidad de Suba se desarrolló un modelo predictivo de amenaza de inundación, utilizando sistemas de información geográfica, permitiendo identificar las áreas propensas a inundaciones, almacenando todos los datos geográficos y atributos relacionados con la amenaza, creando un mapa detallado de las zonas afectadas. (Alvarado Bello, 2014).

Las actividades humanas, como la extracción de materiales finos y granulares del lecho de los ríos, la construcción de estructuras de protección contra inundaciones y la urbanización, modifican continuamente las dinámicas naturales de las corrientes fluviales. Estas modificaciones pueden convertirse en una amenaza potencial para las comunidades situadas cerca de los cauces. La implementación de modelos hidráulicos, que se basan en soluciones numéricas teóricas, permite comprender el comportamiento hidrodinámico de los ríos e identificar las áreas susceptibles de inundación. Esto facilita la formulación de estrategias para reducir tanto la amenaza como el riesgo al que están expuestas las comunidades.

El análisis de la susceptibilidad a inundaciones en la cuenca del río de Oro se basa en diversas herramientas y metodologías avanzadas. Los mapas de peligrosidad y riesgo son

fundamentales para identificar áreas vulnerables, integrando datos topográficos, hidrológicos y de uso del suelo. (Miteco, 2023)

Las riberas de los ríos se inundan según el régimen hidro climático de su cuenca correspondiente. (Fernandez & Rodriguez, 1996).

Como fenómeno socioambiental, las inundaciones son esenciales en muchas regiones del mundo, ya que contribuyen a la regeneración de plantas y vida acuática, y sustentan medios de vida derivados de estos procesos. (Blackie, 1996).

Durante la temporada invernal de 2010-2011, intensas lluvias provocaron inundaciones en diversas regiones de Colombia. Estas precipitaciones fueron causadas por depresiones tropicales y frentes cálidos característicos de la época húmeda, influenciados por el fenómeno de La Niña. En la cuenca del río Magdalena, las estaciones de Puerto Salgar, El Banco y Calamar registraron niveles que pasaron de mínimos históricos a principios de 2010 a máximos en julio del mismo año. (BID, 2012).

La inundación de febrero de 2005 no es el evento de mayor magnitud registrado en el Río de Oro. Según el Diagnóstico de las amenazas de inundación y erosión en el Río de Oro, realizado por la CDMB y Geotecnología Ltda. en 2005, se han documentado al menos 18 eventos lluviosos significativos antes de febrero de 2005. Entre estos, destaca la inundación del 19 de octubre de 1931, que constituye el evento histórico de mayor magnitud reportado.

El área urbana de Girón ha recibido inmigrantes de zonas rurales y urbanas cercanas, muchos de los cuales se establecieron en las márgenes del río de Oro para construir sus viviendas. La difícil situación socioeconómica y el limitado acceso a viviendas de interés social llevaron a que esta zona de protección forestal se convirtiera gradualmente en un área residencial, sin considerar el alto riesgo ambiental para sus habitantes. (Badillo, 2009)

Según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Girón del 2000 al 2009, para 1999 había 945 viviendas conformando asentamientos “subnormales” en zonas de

alto riesgo por deslizamiento e inundación y en el 2000 se reportaron 1.153 viviendas localizadas en zonas de riesgo y de éstas, 654 se ubicaban a orillas del río de Oro (Uriza, 2009).

## 4. Referente normativo y legal

### INTERNACIONAL:

- **MARCO DE SENDAI PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES 2015-2030:**

Para proteger vidas, medios de subsistencia, salud, así como bienes económicos, físicos, sociales, culturales y ambientales de individuos, empresas, comunidades y países, es esencial que los líderes políticos de todos los niveles y naciones se comprometan firmemente. Deben involucrarse activamente en la implementación y seguimiento de este Marco, creando el entorno adecuado para su éxito.

- **ACUERDO DE PARIS. NACIONES UNIDAS 2015:**

Artículo 2: Fortalecer la respuesta global ante la amenaza del cambio climático implica alinear los flujos financieros con una trayectoria que promueva un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

Artículo 7: Las Partes establecen un objetivo global de adaptación, que busca aumentar la capacidad de adaptación, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad al cambio climático. Esto contribuirá al desarrollo sostenible y permitirá una respuesta de adaptación adecuada en el contexto del objetivo de temperatura mencionado en el artículo 2

- **ESTRATEGIA ANDINA PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES-EAPAD:**

El objetivo general es contribuir a la reducción del riesgo y del impacto de desastres, apoyando el desarrollo sostenible en los países de la Subregión Andina. Esto se logrará mediante el fortalecimiento institucional y el establecimiento de políticas, estrategias, programas y subprogramas comunes entre los países; el intercambio de experiencias, la creación de redes y la mejora de la cooperación mutua en situaciones de desastres (COMUNIDAD ANDINA- EAPAD, 2009).

La EAPAD se estructura en 5 ejes temáticos (ajustados al MAH) y define un conjunto de líneas estratégicas comunes para todos los sectores del desarrollo, así como otras específicas. Estos lineamientos estratégicos no son limitativos, y los programas y subprogramas derivados deben integrarse en los ejes temáticos (COMUNIDAD ANDINA-EAPAD, 2009).

- **DIRECTIVA 2007/60/CE DE LA UNIÓN EUROPEA:**

Establece un marco para evaluar y gestionar los riesgos de inundación en los Estados miembros de la UE, con el objetivo de minimizar las consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica.

- **CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (CMNUCC):**

Aunque no se enfoca exclusivamente en las inundaciones, esta convención trata el cambio climático, un factor crucial en el aumento de la frecuencia y severidad de las inundaciones. Fomenta la adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático. Fue adoptada en mayo de 1992 durante la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro y entró en vigor el 21 de marzo de 1994, tras ser ratificada por un número suficiente de países.

## **NACIONAL**

- **LEY 1523 DE 2012:**

Se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, junto con otras disposiciones.

Artículo 2°. Responsabilidad: La gestión del riesgo es una responsabilidad compartida por todas las autoridades y habitantes de Colombia. Las entidades públicas, privadas y comunitarias deben desarrollar y ejecutar procesos de gestión del riesgo, que incluyen el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres, dentro de sus competencias y jurisdicciones, como parte del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de

Desastres. Los habitantes del país, como corresponsables, deben actuar con precaución, solidaridad y autoprotección, tanto en lo personal como en lo referente a sus bienes, y cumplir con las disposiciones de las autoridades.

Artículo 4°. Adaptación: Implica ajustar los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos actuales o previstos, o a sus efectos, para moderar daños o aprovechar oportunidades beneficiosas. En el caso de eventos hidrometeorológicos, la Adaptación al Cambio Climático se relaciona con la gestión del riesgo de desastres, enfocándose en reducir la vulnerabilidad o mejorar la resiliencia ante los cambios climáticos observados o esperados.

- **LEY 388 DE 1997:**

Se refiere a la formulación y aprobación del plan de ordenamiento territorial, estableciendo que todos los municipios del país deben desarrollar sus respectivos Planes de Ordenamiento Territorial.

Artículo 1: Garantizar que el uso del suelo por parte de sus propietarios se ajuste a la función social de la propiedad, permitiendo así la efectividad de los derechos constitucionales a la vivienda y a los servicios públicos domiciliarios. Además, se debe velar por la creación y defensa del espacio público, así como por la protección del medio ambiente y la prevención de desastres.

- **LEY 1454 DE 2011:**

Esta ley orgánica de ordenamiento territorial establece las normas para la organización político-administrativa del territorio, en ejercicio de la legislación y disposiciones de carácter orgánico.

- **LEY 2079 DE 2021:**

Artículo 1: Reconoce la política pública de hábitat y vivienda como una política de Estado, diseñando y adoptando normas que complementen el marco normativo para la

formulación y ejecución de la política habitacional urbana y rural en el país, garantizando el derecho a una vivienda y hábitat dignos para todos los colombianos.

- **LEY 1575 DE 2012:**

Fortalece la capacidad de respuesta ante emergencias y desastres, incluyendo la prevención y atención de inundaciones.

- **DECRETO 2157 DE 2017:**

Especifica las responsabilidades de las entidades territoriales y sectoriales en la gestión del riesgo de inundaciones.

- **NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS (NTC):**

Aseguran que las construcciones y desarrollos urbanos consideren los riesgos de inundación y adopten medidas de mitigación adecuadas.

## **MUNICIPAL**

- **PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT) DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN GIRÓN (DE 30 NOVIEMBRE DE 2010):**

Artículo 15: Integrar la Gestión del Riesgo en el desarrollo municipal. Este proceso social permite a la comunidad de Girón reconocer, analizar y entender los riesgos que enfrenta, ampliando su conocimiento técnico y estableciendo prioridades para reducir y prevenir dichos riesgos.

Artículo 57: Acciones Generales. Asegurar el acceso a programas de vivienda de interés social, implementar un programa de reubicación para la población en zonas de alto riesgo y establecer medidas concretas para evitar el uso de estas áreas.

Artículo 70: Sistema fisiográfico. La topografía del municipio muestra su forma tridimensional, destacando su geografía particular, atravesada por corrientes hídricas, infraestructuras, cerros, laderas y escarpes. Estas áreas comprenden suelos de protección urbano y rural, así como zonas de amenazas y riesgos naturales, donde se deben restringir las

actuaciones municipales para la ubicación de asentamientos poblacionales, redes, infraestructuras, equipamientos comunales y sistemas de producción.

## **5. Referente teórico**

### **SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

Un sistema de información geográfica (SIG) combina componentes electrónicos como hardware con software de visualización y procesamiento, junto con elementos espaciales, para realizar la captura, procesamiento, almacenamiento y disposición de información geoespacial. Este sistema proporciona soluciones en áreas como la ingeniería, las ciencias políticas y sociales (Keith, 1986). Aunque el concepto se originó en los años 70, sigue siendo una técnica científica relevante hoy en día, utilizada globalmente para la planificación territorial, gestión de riesgos, operaciones militares y procesos agrícolas. Los componentes de un SIG son similares a los de cualquier sistema de información: recursos humanos, software, hardware, procesos y datos. La principal diferencia radica en que los datos en un SIG están referidos a un espacio geográfico específico. cada uno de los componentes principales de un SIG (Tomlinson, 2007): Hardware, Software, Recursos humanos, Datos, Procesos.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son esenciales tanto para generar archivos de entrada como para visualizar e interactuar con los resultados de diversos modelos. En herramientas como CASC2D, TREX y Multy-Hidro, los SIG facilitan la creación de mapas de ingreso, como la delimitación de cuencas, la generación de redes de drenaje y los mapas de uso del suelo. Además, permiten visualizar resultados como la altura del escurrimiento, la infiltración y la precipitación en cada paso de tiempo del modelo. Los SIG también son cruciales en modelos que dividen la cuenca en subcuencas, ya que permiten generar e identificar estas subcuencas y analizar las áreas permeables e impermeables de cada una.

### **MODELACION HIDROLÓGICA**

Las inundaciones son desastres naturales muy destructivos y costosos. La prevención y gestión de inundaciones son esenciales para minimizar su impacto. En este contexto, los

modelos hidráulicos son herramientas informáticas clave que simulan el comportamiento del agua en ríos y canales, permitiendo predecir su comportamiento en diferentes situaciones. Esto facilita la planificación de medidas de gestión y prevención, la evaluación de riesgos y la toma de decisiones informadas durante emergencias. En resumen, los modelos hidráulicos son fundamentales para reducir el impacto de las inundaciones y proteger tanto a la población como a la infraestructura.

Las inundaciones son desastres naturales muy destructivos y costosos. La prevención y gestión de inundaciones son esenciales para minimizar su impacto. En este contexto, los modelos hidráulicos son herramientas informáticas clave que simulan el comportamiento del agua en ríos y canales, permitiendo predecir su comportamiento en diferentes situaciones. Esto facilita la planificación de medidas de gestión y prevención, la evaluación de riesgos y la toma de decisiones informadas durante emergencias. En resumen, los modelos hidráulicos son fundamentales para reducir el impacto de las inundaciones y proteger tanto a la población como a la infraestructura.

Los Modelos Digitales de Elevación (DEM) son cruciales en la modelación hidrológica distribuida, ya que ayudan a determinar pendientes y direcciones de escurrimiento. En zonas urbanas, los DEM pueden generarse a partir de curvas de nivel o datos satelitales como los del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Sin embargo, al usar resoluciones grandes en modelos de celda, los tiempos de cálculo aumentan y pueden surgir inestabilidades. Aunque los resultados de diferentes resoluciones pueden ser similares, los valores de calibración para modelos de mayor resolución suelen ser más precisos. La elección de la resolución depende de la calidad y cantidad de información disponible, ya que una alta resolución puede perder efectividad sin datos detallados de otras variables. Es esencial procesar adecuadamente los DEM para evitar problemas en áreas como puentes y edificaciones

Las imágenes satelitales son ampliamente utilizadas para identificar usos de suelo en áreas urbanas, especialmente para distinguir entre zonas permeables e impermeables, y son esenciales en modelos como SWMM. En modelos hidrológicos de celdas, una imagen satelital adecuada, procesada con GIS, puede generar mapas de uso de suelo que identifican sectores con diferentes características de rugosidad, interceptación e infiltración. La elección de imágenes depende del objetivo del estudio y debe coincidir temporalmente con los eventos seleccionados para la calibración del modelo. Aunque las imágenes satelitales pueden no reflejar con precisión escenarios futuros, siguen siendo valiosas para la modelación hidrológica, permitiendo ajustar variables y generar escenarios basados en datos pasados y presentes.

## **AMENAZA**

La amenaza es una posible alteración a un sistema, provocada por eventos de alto estrés como inundaciones, deslizamientos y huracanes. Estos picos de estrés pueden ser causados por efectos a largo plazo o eventos repentinos, y los factores pueden ser tanto externos como internos al sistema (Turner II et al., 2003). Turner II, B. L., Kaspersen, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., . . . Schiller, A. (5 de Junio de 2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. PNAS, 100(14). <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100> El Congreso de Colombia describe la amenaza como un peligro latente, ya sea por eventos naturales o acciones humanas, que puede causar pérdidas humanas, materiales, económicas y ambientales (El Congreso de Colombia, 2012). Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley 1523 de 2012. Colombia.

La caracterización de la amenaza hidrológica es crucial para calcular el riesgo hidrológico, el cual se define por la susceptibilidad y la capacidad de respuesta o resiliencia de la infraestructura hidráulica. En un marco integral, los diferentes indicadores que definen

estas infraestructuras se ven influenciados por factores críticos y complementarios de la amenaza hidrológica. Dada la variabilidad climática, es esencial analizar los factores que afectan el potencial de la amenaza hidrológica para establecer los parámetros críticos en una zona específica. Por ello, una metodología de análisis y cálculo, como la propuesta en esta investigación, es fundamental para la seguridad y gestión sostenible de infraestructuras críticas. Esta investigación desarrolla un proceso metodológico para caracterizar la amenaza hidrológica, definida como la intensidad esperada que puede causar daño ante una exposición, condicionada por factores específicos de la zona.

## **6. Metodología**

### **6.1 Enfoque metodológico**

Este proyecto presenta un enfoque cuantitativo, dado que el objetivo principal de este es identificar la zonas que presentan mayor grado de amenaza por inundación, esto a partir de la implementación de herramientas de los SIG (Sistemas de Información Geográfica), para lo cual se realizó la recolección de información secundaria la cual fue procesada y se realizaron análisis estadístico de datos, georreferenciación y digitalización de información cartográfica, generación de mapas temáticos, con el fin de identificar y cuantificar el número de propietarios afectados ante estos posibles eventos de lluvias extremas que podría experimentar el área urbana y periferia del municipio de San Juan de Girón.

### **6.2 Procedimiento**

#### **6.2.2. Recopilación de información**

Para la recolección de la información necesaria para identificar las zonas de amenaza por inundación en el área urbana y periférica del municipio de San Juan de Girón, se tomaron fuentes oficiales como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi de donde se tomó la información de la cartografía básica a escala 1:100.000, con el fin de conocer los principales drenajes presentes en el municipio, en especial el trazado del río de Oro el cual es el que cruza por el área urbana del municipio, información que se encuentra en el sistema de coordenadas Magna Colombia Origen Nacional CTM 12. Así mismo, se descarga de la página oficial de datos abiertos de catastro del gobierno nacional de la información a nivel urbano y rural del municipio donde se tiene los barrios, las manzanas los predios y las construcciones, información que de igual forma se encuentra georreferenciada en el sistema de coordenadas Magna Colombia Origen Nacional CTM 12.

Posterior a esto, se recopiló la información político-administrativa de la página web oficial del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (DANE, 2024),

donde se obtuvo información geográfica en formato Shape de los polígonos de los departamentos, municipios, información que se encontraba en el sistema de coordenadas Magna, así que se realizó la transformación al sistema de coordenadas Magna Colombia Origen Nacional CTM 12, con el fin de mantener una uniformidad en la información, para esto se empleó la herramienta de ArcGis Pro Projection and Transformation.

Por otra parte, se obtuvo información hidrometeorológica de la página oficial del Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales – IDEAM, acerca de la precipitación diaria total, de la estación meteorológica denominada “Palo Gordo”, con registros históricos que datan del 01/01/2014 al 31/12/2024 (IDEAM, 2024).

Por último, se recopila la información de la cartográfica oficial del Plan de Ordenamiento Territorial POT del municipio de San Juan de Girón a través de su página web, específicamente el mapa 14D en formato PDF, el cual contiene la información de las manchas de inundación para distintos periodos de retorno. Esta información que se encuentra en el sistema de coordenadas Magna Bucaramanga, así que se realizó la transformación al sistema de coordenadas Magna Colombia Origen Nacional CTM 12, con el fin de mantener una uniformidad en la información, para esto se empleó la herramienta de ArcGis Pro Projection and Transformation.

### **6.2.2. Delimitación del área de estudio**

La identificación del área de estudio se realizó a partir de la información oficial obtenida del DANE, donde se realizó la localización geográfica de municipio de San Juan de Girón, en el departamento de Santander, posteriormente se realizó la delimitación del área de estudio, esto a partir de la información obtenida DANE acerca de las áreas urbanas, por lo que fue necesario digitalizar el polígono dado que la información descargada corresponde a las manzanas presentes en el perímetro urbano del municipio, de igual forma se tomó como referencia la imagen satelital del Basemap de ArcGIS pro, con el fin de identificar las zonas

ya urbanizadas que no se encontraban incluidas en la información oficial del DANE. .

Obteniendo de esta forma el polígono del área de estudio, correspondiente al área urbana y periférica del municipio. Adicionalmente, se emplea la herramienta clip, para recortar la información predial y construcciones, con el fin de obtener los predios y construcciones que se localizan en el polígono del área de estudio.

### **6.2.3. identificación de zonas inundables**

Para la identificación de las zonas inundables, se toma como base la información de los datos de precipitación diaria acumulada obtenidos del IDEAM en el periodo de 10 años de 01/01/2014 al 31/12/2024. Se realiza el procesamiento estadístico; se descargan los datos de las distintas estaciones de su página oficial y se organizan en Excel, se realizan tablas dinámicas de cada una de las estaciones por meses del periodo de tiempo de los 10 años promediando al final la precipitación anual de cada uno de ellos.

Luego se genera una tabla de resultado las tres estaciones en ese mismo periodo de años donde se realiza el promedio por año y por meses de precipitaciones; de cuya tabla resumen se toma el valor Percentil 0.90 como resultado final. El percentil 0.90 es clave en estudios de inundación porque permite identificar condiciones críticas sin abarcar valores demasiado extremos, en el estudio se tomó el percentil inclusive para tomar la mayor cantidad de datos del periodo de precipitación de 10 años.

Posterior a esto, con el resultado obtenido anteriormente se realiza la simulación de la inundación, para esto se inserta un nuevo mapa de global Scene de Arcgis Pro, y se utiliza la herramienta de Simulation de ArcGIS Pro; que se emplea para crear representaciones dinámicas de procesos geoespaciales, lo que permite a los usuarios visualizar y analizar eventos en tiempo real o en el futuro de manera más interactiva que está disponible a partir de la versión de Software Arcgis Pro 3.3 donde se configuran datos de precipitación de lluvia, evaporación, tiempo de lluvia entre otros; aquí se ingresan los datos obtenidos de 83.03

mm/hr tomándolo como una precipitación extrema con una duración de 12 horas. Como resultado se información Raster con información de acumulación del recurso hídrico, la cual posteriormente es reclasificada, en los siguientes rangos 0 – 1,5, 1,5 – 3, 3 – 18,27, los cuales corresponde a los metros de agua acumulados en la superficie del terreno. Por último, se realiza la clasificación de estos rangos en los distintos grados de amenaza alta, media y baja.

#### **6.2.4. Digitalización**

En esta fase se realiza la georreferenciación y digitalización de la información obtenida del POT del municipio de San Juan de Girón, en la cual se importa cada mapa en formato PDF 14D denominado identificación de fenómenos amenaza inundación, al software Arcgis Pro, posteriormente se verifica la información del sistema de coordenadas del mapa, identificado el sistema de coordenadas MAGNA Bucaramanga Santander 2008, por lo que se emplea el mismo sistema de coordenadas en el DataFrame, posteriormente se inicia la georreferenciación. Para esto se emplea en la barra de herramientas la opción de Imagery – Georeference, y se procede a ubicar las coordenadas en el mapa, así como en el área de trabajo. Una vez georreferenciada la imagen se guarda como un archivo TIFF y se comienza a digitalizar la capa del periodo de retorno de 100 años con la geometría de polígono en formato Shapefile. Una vez digitalizada esta información con la herramienta de Projections and Transformations se realiza la migración de la información al sistema Magna Colombia CTM 12, el cual es el sistema de referencia oficial para Colombia y en el que se encuentran proyectadas todas las capas de información recopiladas.

#### **6.2.5. Cálculo de afectación**

Una vez identificadas las zonas propensas a inundaciones, se procede a realizar el cálculo de las posibles afectaciones que podrían presentarse a la comunidad, esto a partir del estimado cuantitativo de predios y construcciones afectadas por las manchas de inundación generadas tanto de la modelación realizada con la herramienta Simulation y la mancha de

inundación del río de Oro en un periodo de retorno de 100 años de acuerdo con lo establecido en POT municipal. Este cálculo se realiza por medio de la herramienta de Select By Location, en la cual se selecciona la capa de interés (predios y construcciones), en el tipo de relacionamiento se selecciona intersección y por último se selecciona la capa con la cual quiere hacer la intersección que sería cada una de las manchas o zonas de inundación calculadas.

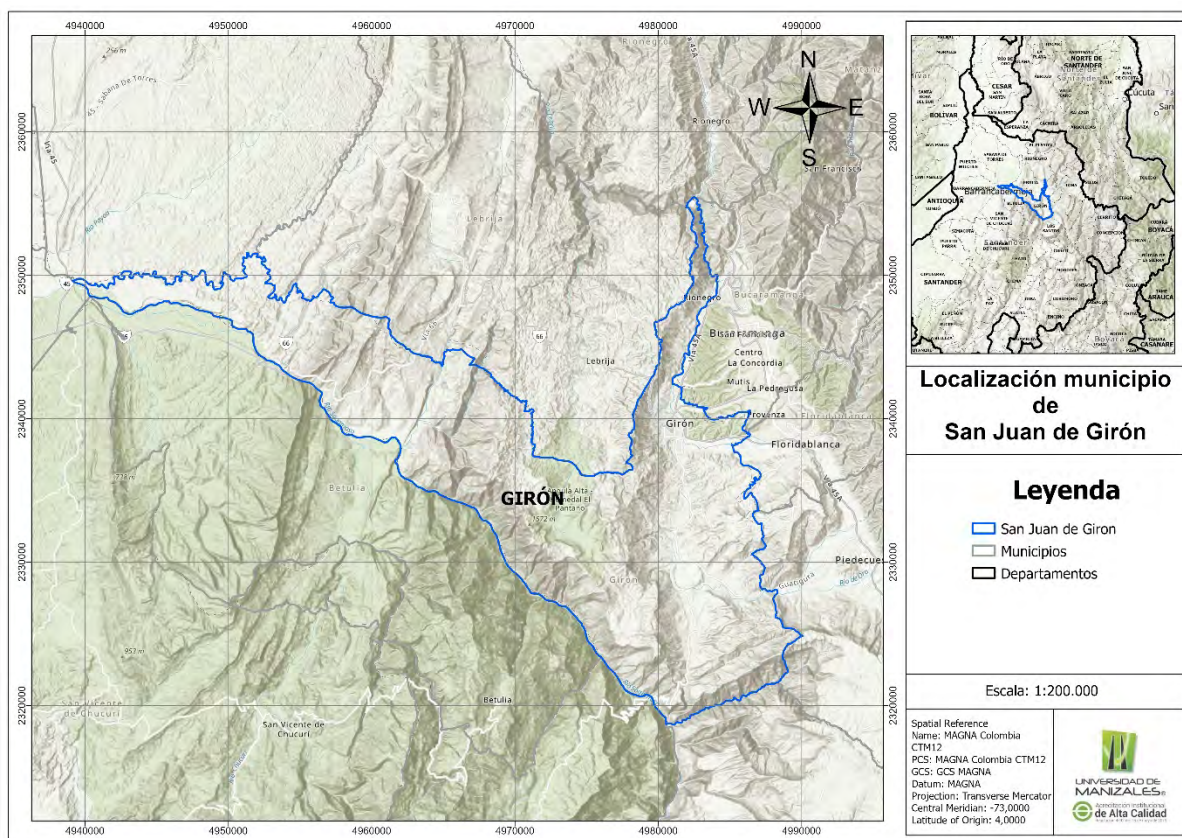
## 7. Resultados

### 7.1 Recopilación de la información

Se recopiló la siguiente información necesaria con la cual se logró determinar las zonas propensas a sufrir eventos amenazantes de inundaciones en el área urbana y periférica del municipio de San Juan de Girón; para lo cual se identificó la información político-administrativa del municipio, como el perímetro municipal, las zonas urbanas, los barrios, las manzanas, los predios y las construcciones, información que fue obtenida de la página web del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (DANE, 2024), así como de la página oficial del gobierno del Área Metropolitana de Bucaramanga (GOV.CO, 2024), así mismo se obtuvo la información de la cartografía básica emitida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y que se encuentra disponible en la página web oficial de Colombia en Mapas a una escala 1:100.000.

Se procedió a cargarla en el software Arcgis Pro, en donde se visualiza que la información recopilada se encuentra a nivel nacional, se inicia con la extracción del polígono correspondiente al municipio de San Juan de Girón, para lo cual por medio de las herramientas de selección por atributos se extrae esta información. Se guarda esta información en una Geodatabase en la cual se recopilarán los insumos a empelado en el estudio.

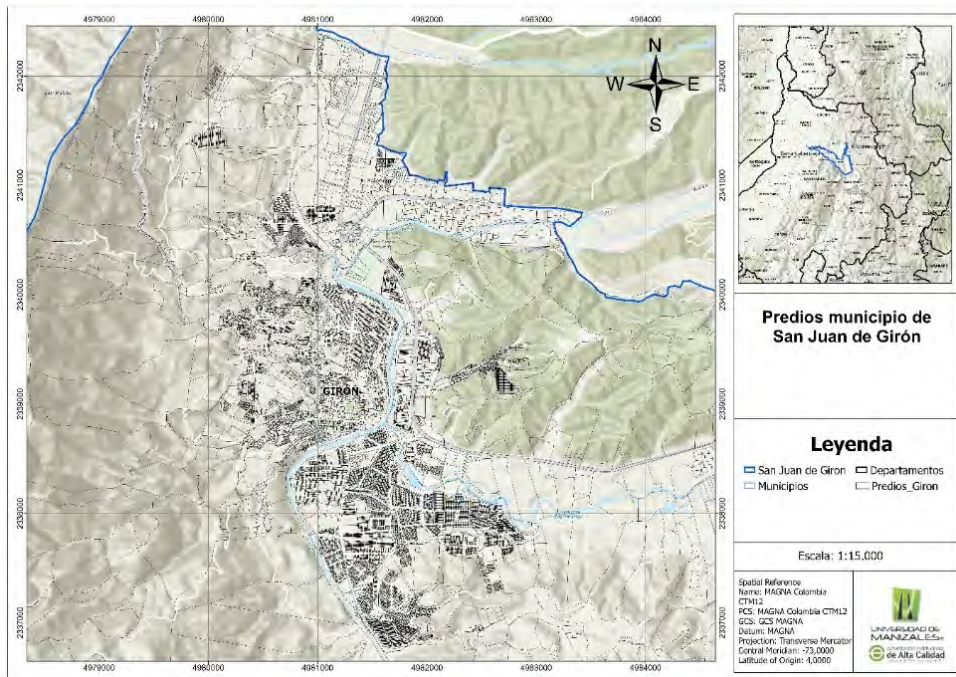
Figura 1. Localización general municipio de San Juan de Girón



Fuente: Elaboración propia

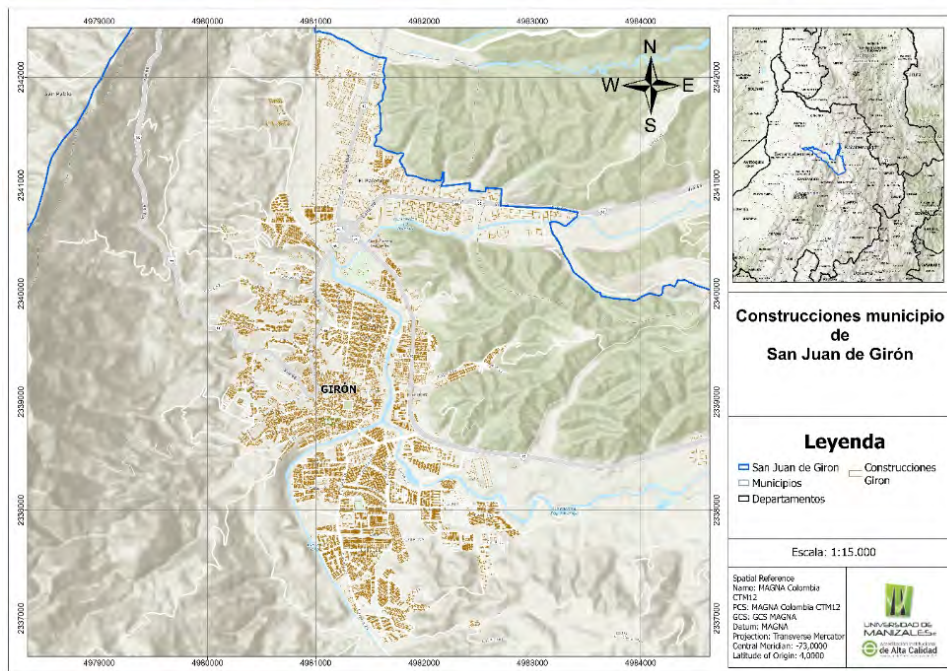
Posteriormente, se procede a realizar la unión de las capas de información de los predios rurales y urbanos, esto con el fin de conocer la totalidad de predios que se encuentran tanto en el área urbana del municipio, así como en la periferia de este, para esto se emplea la herramienta Unión de ArcGIS Pro, donde se colocan estas dos capas de información predial y se unen para generar una nueva capa con la información predial de todo el municipio de San Juan de Girón. Este procedimiento se repite igualmente para la información de las construcciones, obteniendo lo siguiente.

Figura 2. Unión de la información predial del municipio de San Juan de Girón.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Unión de la información de construcciones del municipio de San Juan de Girón.



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, para identificar el cauce del Rio de Oro, cuerpo hídrico al cual se le realizara el análisis de amenaza por inundación, se procede a realizar los recortes de la



Tabla 1. Estaciones meteorológicas IDEAM.

Estaciones Meteorológicas			
ID	Nombre	Coordenadas	
		Este	Norte
1	Llano Grande	4981532,45	2334297,51
2	Palo Gordo	4985310,45	2327897,75
3	El Pantano	4985310,45	2327897,75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Estación meteorológica Llano Grande precipitación multianual. IDEAM.

TABLA DE PRECIPITACIONES ESTACIÓN LLANO GRANDE													
Año/ Mes	ENE RO	FEBR ERO	MA RZO	AB RIL	MA YO	JU NI O	JU LI O	AGO STO	SEPTIE MBRE	OCTU BRE	NOVIE MBRE	DICIE MBRE	Promedi o anual
2014	33.7	46.2	51.5	51.8	48.9	25	35.5	157.8	89.5	232.8	172.2	8.2	79.43
2015	39.7	64.5	150.3	34.8	111.3	21.7		119.5	42.7	42.8	54.8	13.7	63.25
2016	24.6	40.7	114.4	68.6	61.2	55.3	109.3	62.3	24.3	115	78.2	9.1	63.58
2017	15.2	8.4	180.7	96.4	52.1	143.2	63.5	34.2	63.8	72.8	77.6	13.4	68.44
2018	22.1	25.8	123.9	49.1	156.9	64.3	31.9	151.7	64.6	161.9	42.5	0	74.56
2019	38.2	5.2	121.9	137.9	108.2	26.3	49.3	116.8	94.6	69.1	69.6	13.4	70.88
2020	58.6	8	121	31.3	84.6	34.4	49	49	73.2	185.2	99	4.1	66.45
2021	22.3	60.2	60.5	50.3	58.4	52.7	119.3		126.6	94.5	58.2	90.7	72.15
2022	29.1	126.7	167.7	197.1	53.5	38.5	113.5	184.5	81.9	194.7	23.5	21.4	102.68
2023	50.2	74.4	178.5	73	61.1	142.6	57.5	125.3	10.4	107.9	51.8	6.4	78.26
2024	20.9	34	64.7	93.3	130.1		109.1	44.4	83	44.5			69.33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Estación meteorológica Palo Gordo precipitación multianual. IDEAM.

TABLA DE PRECIPITACIONES ESTACIÓN PALOGORDO													
Año/ Mes	ENE RO	FEBR ERO	MA RZO	AB RIL	MA YO	JU NI O	JU LI O	AGO STO	SEPTI MBRE	OCTU BRE	NOVIE MBRE	DICIE MBRE	Promedio Anual
2014			28	88	26	14	94	138	108	191	119	7	81.30
2015	23	38	142	38	174	5	42	111	52	58	96	13	66.00
2016	77	72	195	83	59	71	157	93	40	158	116	3	93.67
2017	8	61	202	147	67	166	68	43	73	164	139	9	95.58
2018	13	9	82	97	216	102	56	117	62	198	63	0	84.58
2019	79		161	149	151	54	17	156	137	77	127	28	103.27
2020	69	21	154	94	80	43	56	71	84	117	82	4	72.92
2021	18	116	49	61	138	138	80	170	98	111	76	68	93.58
2022	22	110	147	179	69	110	84	223	112	206	97	26	115.42
2024	50	0	45	60	27	133	93	42	65				57.22

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Estación meteorológica El pantano precipitación multianual. IDEAM.

TABLA DE PRECIPITACIONES ESTACIÓN EL PANTANO													
Año/ Mes	EN ER O	FEBR ERO	MA RZO	AB RIL	MA YO	JU NI O	JU LI O	AGO STO	SEPTIE MBRE	OCT UBRE	NOVIE MBRE	DICIE MBRE	PROMEDI O ANUAL
2014	16	26	63	50	19	22	88	58	97	239	191	0	72.42
2015	20	93	138	42	79	31	55	102	58	33	104	0	62.92
2016	45	130	151	147	66	43	97	92	32	141	92	21	88.08
2017	38	6	204	110	62	129	39	39	69	104	62	59	76.75
2018	5	31	58	75	124	33	30	61	102	183	30	0	61.00
2019	106	20	131	92	103	8	12	128	176	35	115	64	82.50
2020	76	78	82	61	64	49	75	35	93	43	88	42	65.50
2021	10	56	40	35	136	69	45	113	78	65	47	114	67.33
2022	58	119	198	248	89	66	90	121	89	209	32	10	110.75
2023	23	23	205	121	41	104	60	119	13	123	119	23	81.17
2024	26	51	113	84	178	101	110	33	136	127			95.90

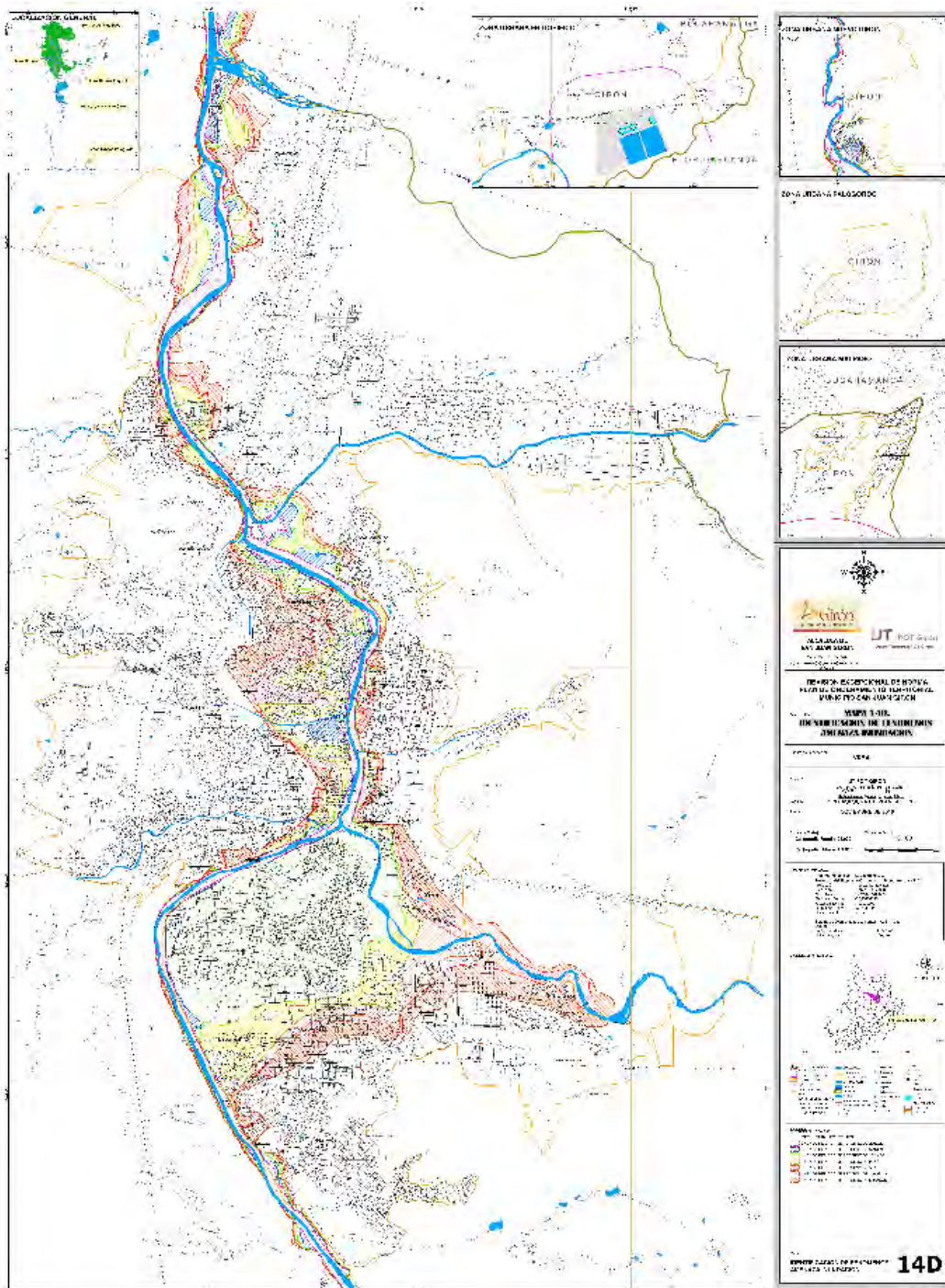
Fuente: Elaboración propia.

- **Mapa 14 D Identificación de fenómenos de Amenazas de Inundación**

A través de la revisión documental, se encontró que en el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de San Juan de Girón, posee cartografía relacionada con las

manchas de inundación para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años (Giron, 2010), como se identifica en la siguiente figura. Este mapa 14D fue georreferenciado y posteriormente guardado en formato TIFF, para después realizar la digitalización de la información del periodo de retorno de 100 años.

Figura 5. Mapa 14 D. POT San Juan de Girón 2010.

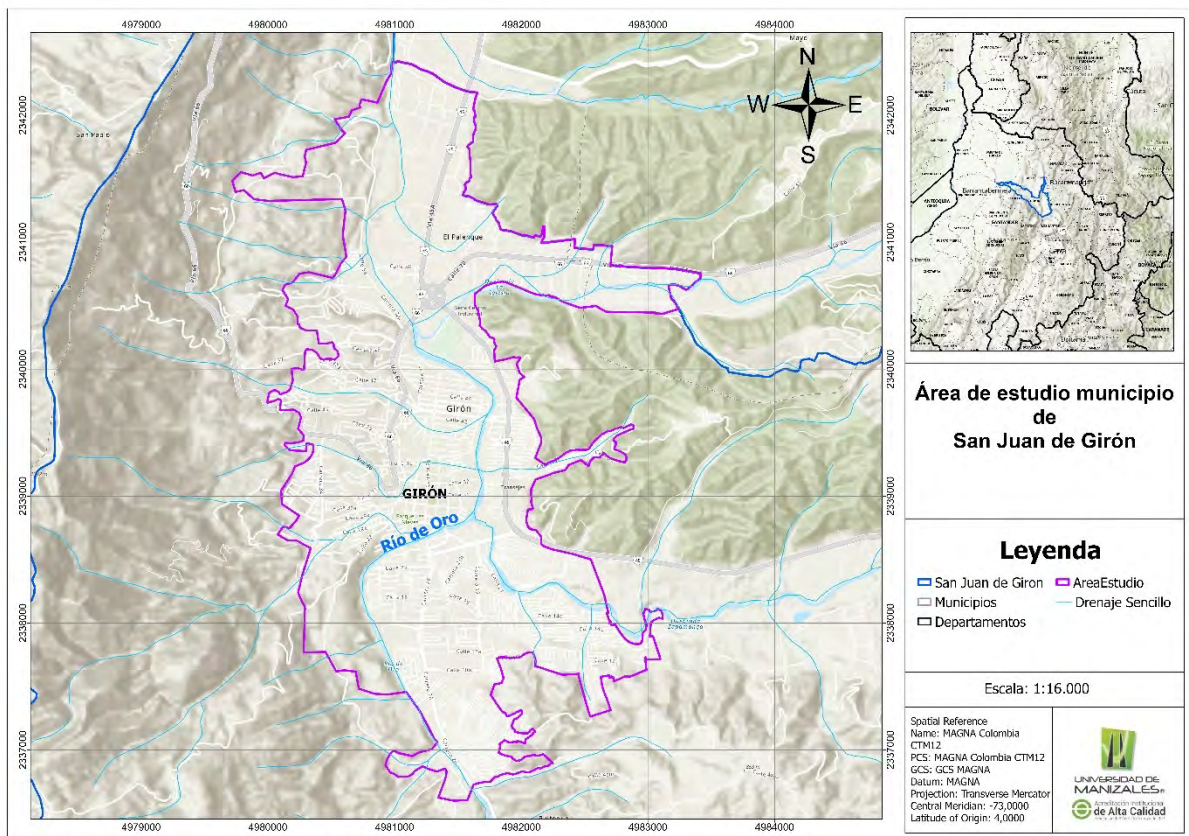


Fuente: POT San Juan de Girón, 2010.

## 7.2 Delimitación del área de estudio

El área de estudio del proyecto corresponde al área urbana y su periferia urbana del municipio de San Juan de Girón, para esto se realizó la delimitación a partir de la identificación del perímetro urbano la cual se encuentra representada por las manzanas, así como con la ayuda del Basemap de ArcGIS Pro, para lo que se realizó la digitalización del polígono obteniendo como resultado un área de 947,45 hectáreas como se observa en la siguiente figura.

Figura 6. Delimitación del Área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

## 7.3 Identificación de zonas inundables. (objetivo No. 2)

A partir de los datos de precipitación obtenidos del IDEAM, se realiza el análisis de estos, con el fin de conocer las precipitaciones totales anuales de los últimos 10 años, esto se

realizó para las tres estaciones meteorológicas, para así calcular el promedio mensual de las tres estaciones meteorológicas para cada mes de los últimos 10 años. Una vez consolidadas y definidas las precipitaciones de las tres estaciones se procede a realizar la simulación de la inundación que esta precipitación podría causar en el área urbana de Girón. Para esto se la herramienta se Simulation que se habilita en el mapa de Global Scene de Arcgis Pro a partir de su versión 3.3, en la cual colocamos como valores de entrada la precipitación promedio obtenida en el paso anterior. Como resultado obtenemos las manchas de inundación que una precipitación de 83.03 mm que es el valor Percentil 0.90 para eventos extremos de 12 horas en el área de estudio producidos por la cuenca del río de Oro en su paso por el municipio de San Juan de Girón, como se observa a continuación.

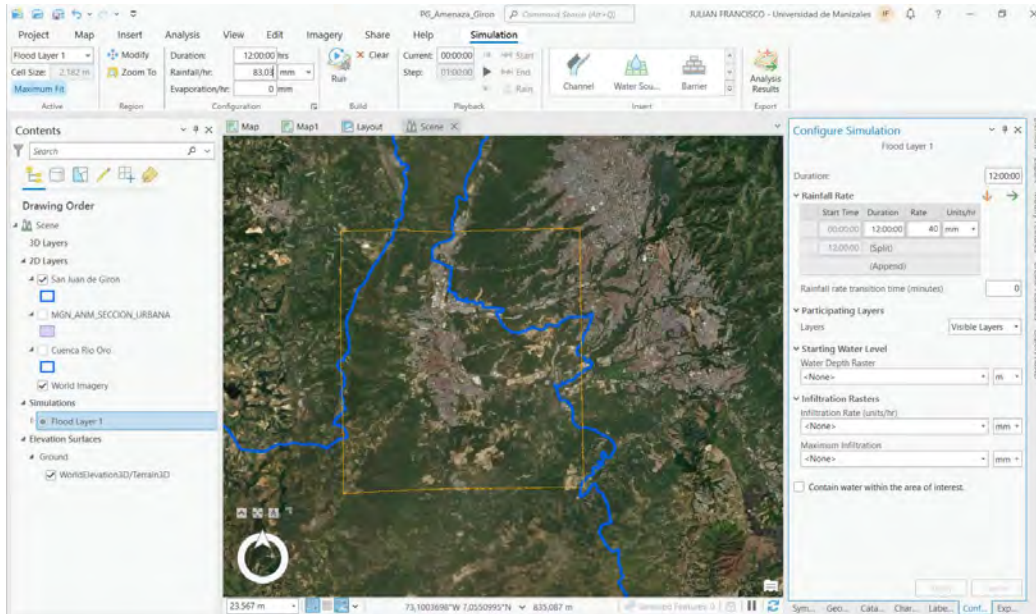
Tabla 5. Promedio de Precipitación de las estaciones Llano Grande, El Pantano, Palogordo.

<b>PROMEDIO ANUAL DE PRECIPITACIONES ESTACIONES LLANO GRANDE, PALO GORDO Y EL PANTANO</b>													
Año/Mes	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO ANUAL
2014	16.57	24.07	47.50	63.27	31.30	20.33	72.55	117.93	98.17	220.93	160.73	5.07	73.2
2015	27.57	65.17	143.43	38.27	121.43	19.23	48.55	110.83	50.9	44.6	84.93	8.9	63.65
2016	48.87	80.9	153.47	99.53	62.07	56.43	121.1	82.43	32.1	138	95.4	11.03	81.78
2017	20.4	25.13	195.57	117.8	60.37	146.07	56.83	38.73	68.6	113.6	92.87	27.13	80.26
2018	13.37	21.93	87.97	73.7	165.63	66.43	39.3	109.9	76.2	180.97	45.17	0	73.38
2019	74.4	12.6	137.97	126.3	120.73	29.43	26.1	133.6	135.87	60.37	103.87	35.13	83.03
2020	67.87	35.67	119	62.1	76.2	42.13	60	51.67	83.4	115.07	89.67	16.7	68.29
2021	16.77	77.4	49.83	48.77	110.8	86.57	81.43	141.5	100.87	90.17	60.4	90.9	79.62
2022	36.37	118.57	170.9	208.03	70.5	71.5	95.83	176.17	94.3	203.23	50.83	19.13	109.61
2023	41.07	32.47	142.83	84.67	43.03	126.53	70.17	95.43	29.47	115.45	85.4	14.7	73.44
2024	27.6	44.15	99.4	92.3	136.27	92.3	97.93	64.6	100.7	104.57	101.67	17.56	81.59
Prom.Mensual 2014-2024	35.53	48.91	122.53	92.25	90.76	68.81	69.97	102.07	79.14	126.09	88.27	22.39	
											<b>PROMEDIO ANUAL 2014-2024</b>		<b>78.90</b>

Fuente: Elaboración propia

Se tomo como área de análisis el área urbana y su periferia de San Juan de Girón para realizar el proceso de la Simulación para un escenario de precipitaciones de 12 horas, obteniendo lo siguientes resultados.

Figura 7. Herramienta Simulation Arcgis Pro



Fuente: Elaboración propia

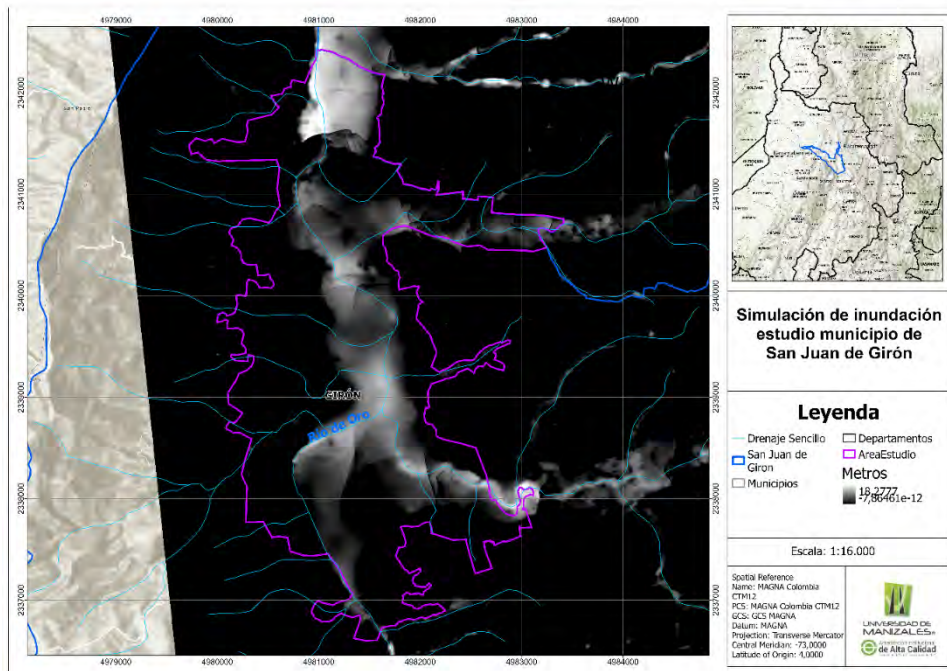
Se genera el polígono de área de análisis con la herramienta Simulación tomando en cuenta la Cuenca del rio y el área Urbana del Municipio de Girón Santander.

Figura 8. Recuadro donde se realizará la simulación de inundación.



Fuente: Elaboración propia

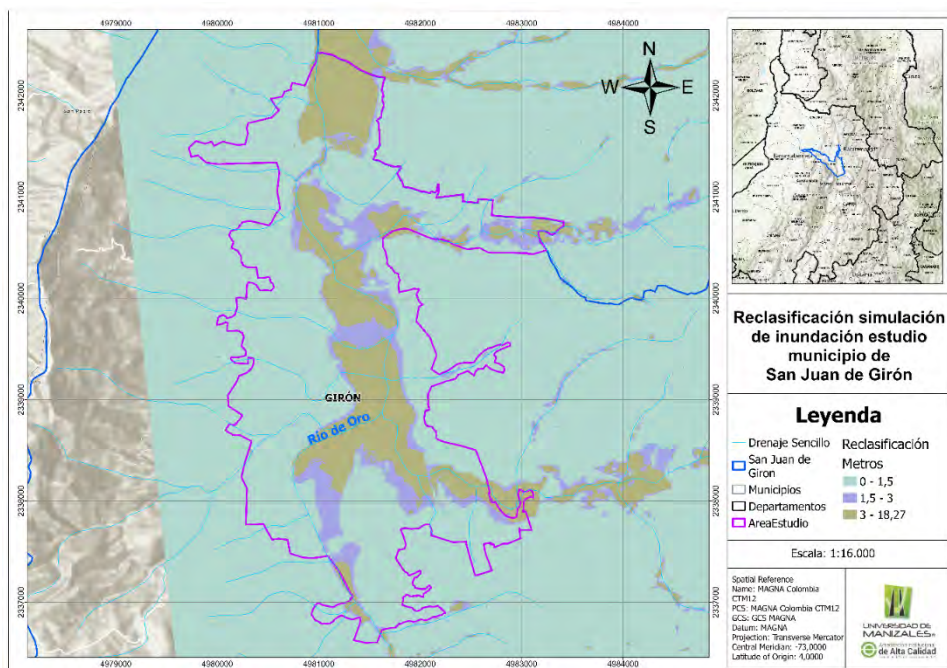
Figura 9. Resultado de la simulación de inundación Arcgis Pro.



Fuente: Elaboración propia

Posterior a esto, se realiza la reclasificación del Raster obtenido de la simulación, estableciendo los rangos de 0 – 1,5, 1,5 – 3, 3 – 18,27. Estos rangos corresponde a los metros de agua acumulados en la superficie del terreno, obteniendo el siguiente resultado.

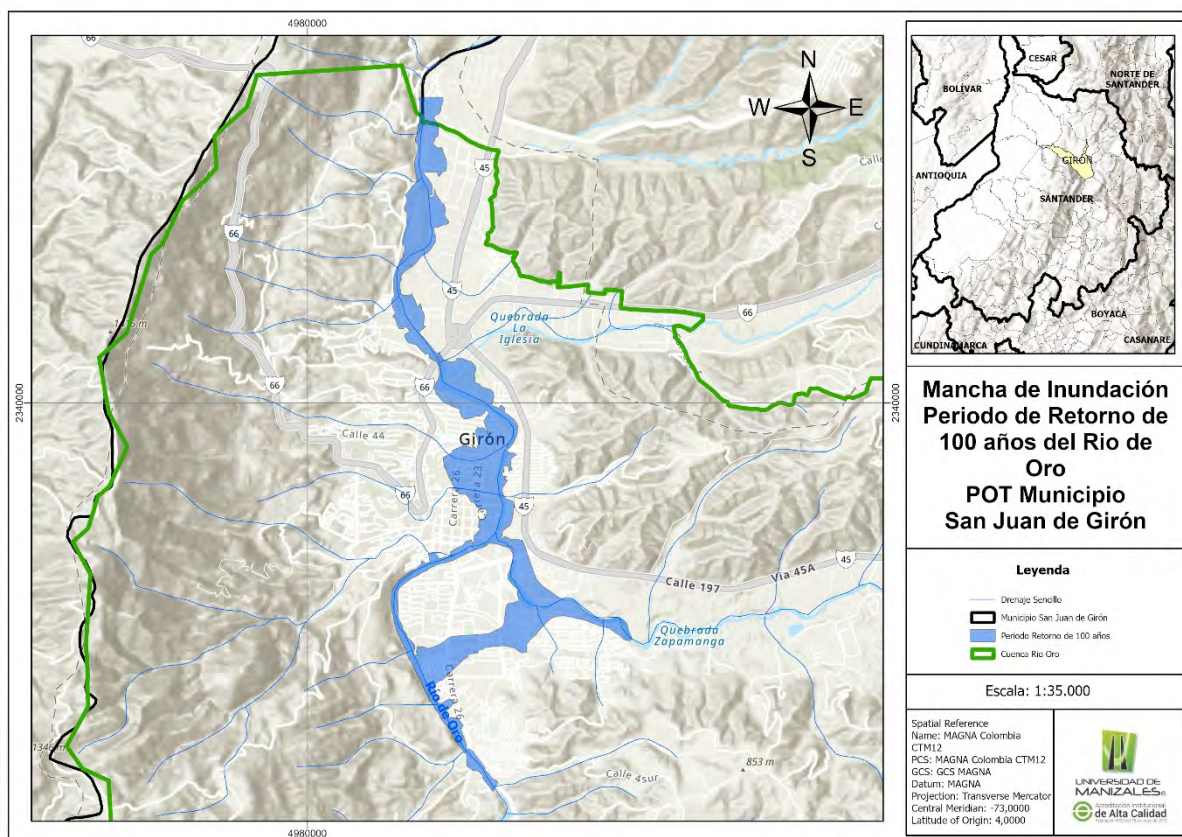
Figura 10. Resultado de la simulación de inundación reclasificada.



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se realizó la digitalización del periodo de retorno de 100 años, información obtenida del mapa 14D oficial del POT municipal, como resultado se obtiene el siguiente polígono.

Figura 11. Mancha de inundación periodo de retorno de 100 años POT Girón.



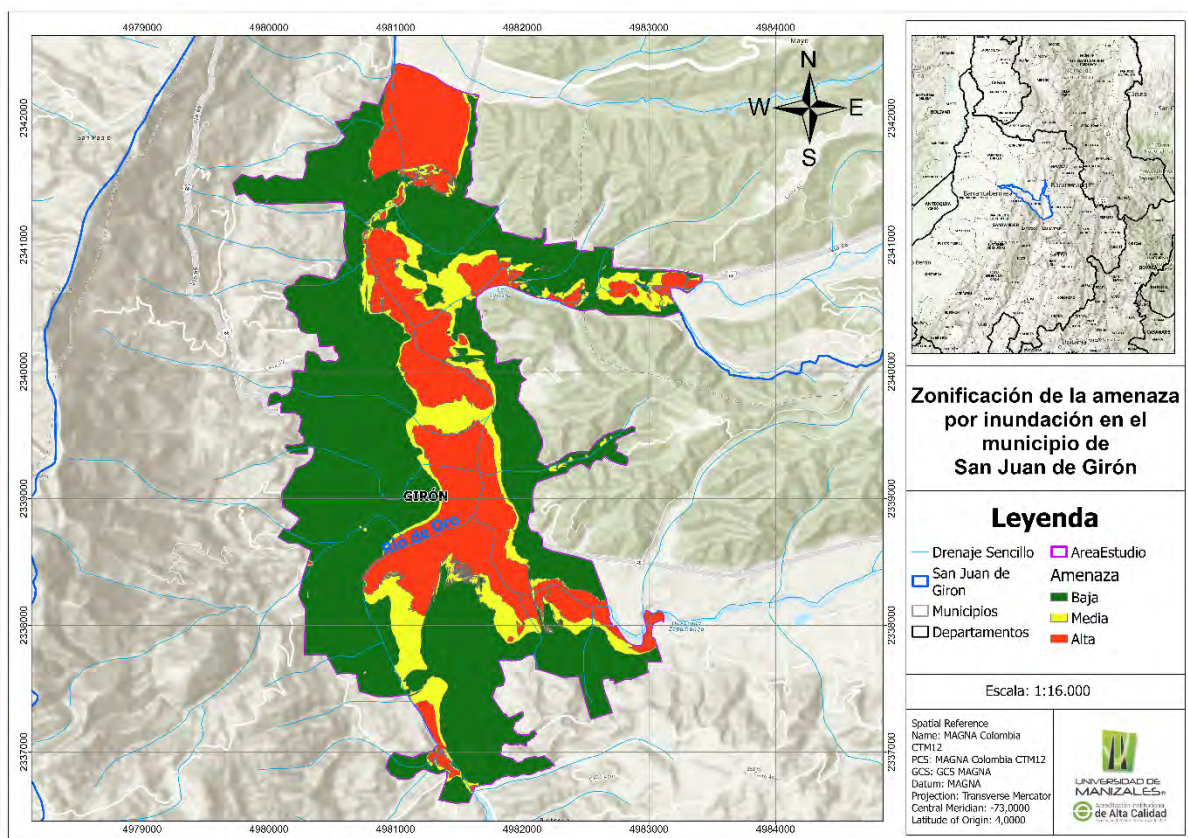
Fuente: Elaboración propia.

#### 7.4 Zonificación de la amenaza por inundación en el Municipio de San Juan de Girón

Una vez procesada la información anterior, se procede a realizar la zonificación de amenaza por inundación, para esto en primer lugar tomamos el Ráster obtenido de la simulación, y lo convertimos a polígonos, para esto se empleó la herramienta Raster to Polygon, empleando como valores de entrada el Raster de la reclasificación de la simulación, como resultado se obtienen los pelignos de la reclasificación por cada uno de los rangos, la

nueva capa de información contiene gran cantidad de polígonos individuales que comparten un atributo en común, para lo cual se emplea la herramienta Merge con el fin de unificar la información; se realiza una selección por atributos siendo el campo de interés la casilla denominada “gridcode”, se selecciona la información para cada valor ( 1, 2, y 3). Se realiza el recorte de la capa de los polígonos de la simulación y se realizó la asignación de las categorías de alta media y baja, para esto se creó un nuevo atributo de tipo texto en la capa denominada “Inundación\_AreaEstudio”, esto con respecto a los metros de acumulación identificados para un periodo de lluvias continuas de 12 horas, con una intensidad de 83.03 mm/hr, considerándolo como un evento extremo a partir de los datos de precipitación recolectados de las estaciones meteorológicas del IDEAM.

Figura 12. Resultado de la simulación de inundación reclasificada en alta, media y baja.



Fuente: Elaboración propia.

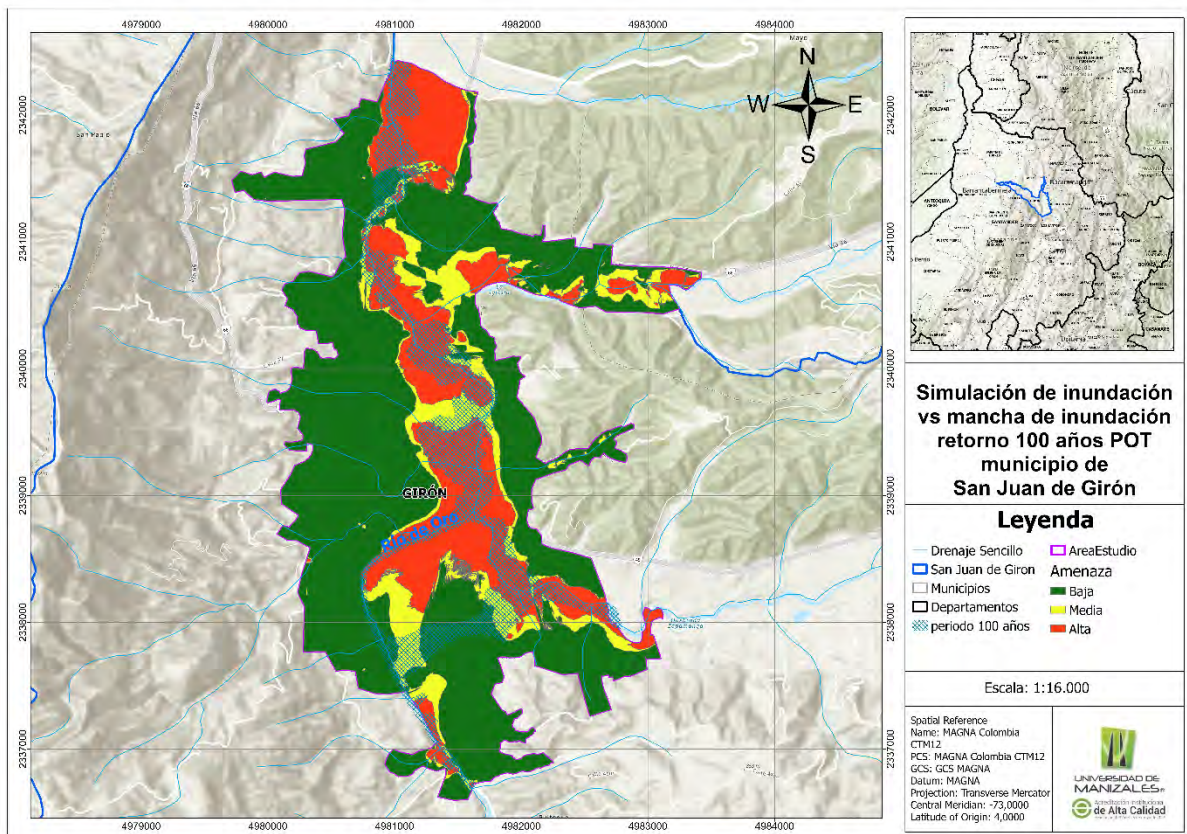
Tabla 5. Áreas por cada grado de amenaza

Amenaza	Área (Ha)	% Área estudio
Baja	592,87	62,57
Media	113,22	11,94
Alta	241,35	25,47
Total	947,45	100

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido estos resultados, se procede a superponer esta información con las manchas de inundación obtenidas del POT del municipio de San Juan de Girón para un periodo de retorno de 100 años, donde se logra evidenciar que la simulación realizada con ArcGis Pro, arroja valores similares, como se observa en la siguiente figura.

Figura 13. Superposición de la simulación vs mancha de inundación periodo de retorno 100 años POT San Juan de Girón 2010.



Fuente: Elaboración propia.

## 7.5 Afectaciones a predios y construcciones

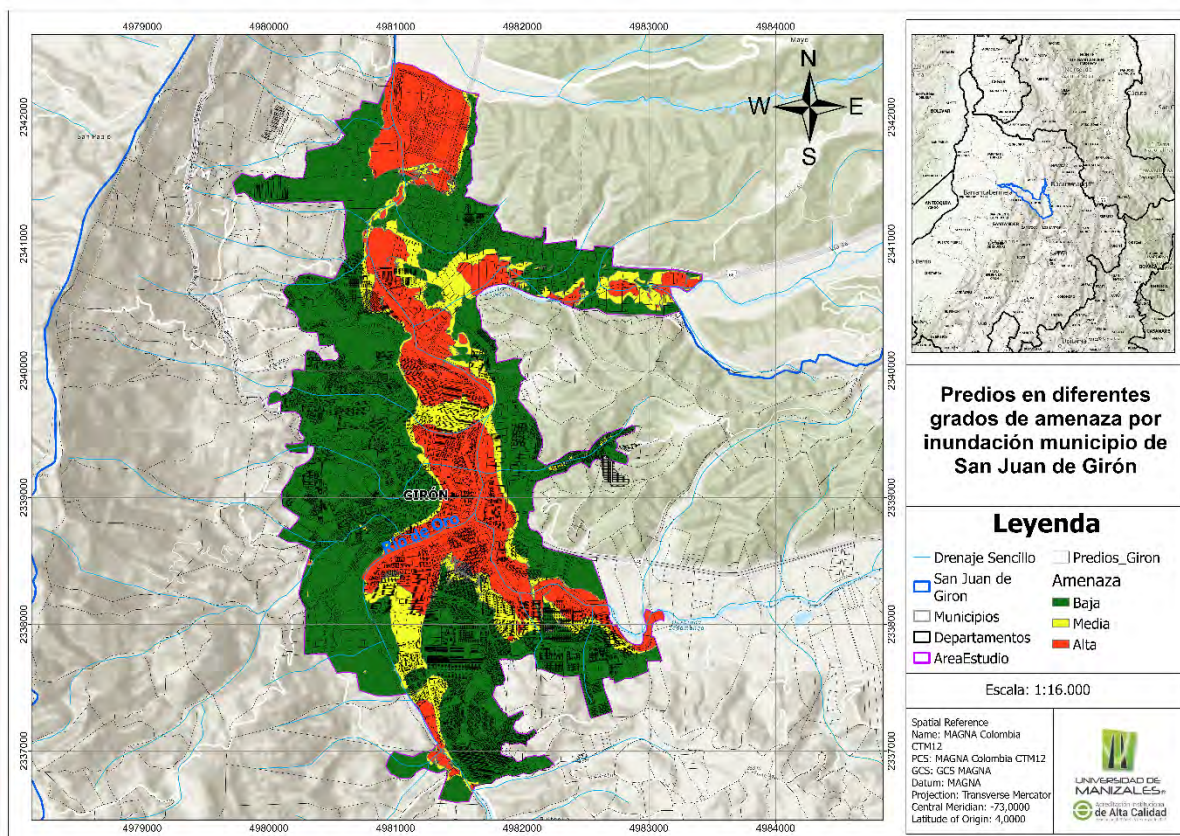
De acuerdo con lo planteado en la metodológica, se realizó el estimado del número de predios y construcciones que se encuentran en los diferentes grados de amenaza. La afectación en los predios se realizó primero separando la capa de la zonificación de inundación obtenida de la simulación en cada grado de amenaza, posteriormente por medio de la herramienta Select By Location, se realizó la selección de la capa de predios que fue unida anteriormente por cada grado de amenaza obteniendo los siguientes datos.

Figura 14. Predios afectados

Amenaza	No. Predios
Baja	17.274
Media	5.890
Alta	6.322

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Predios respecto a los grados de amenaza identificados.



Fuente: Elaboración propia.

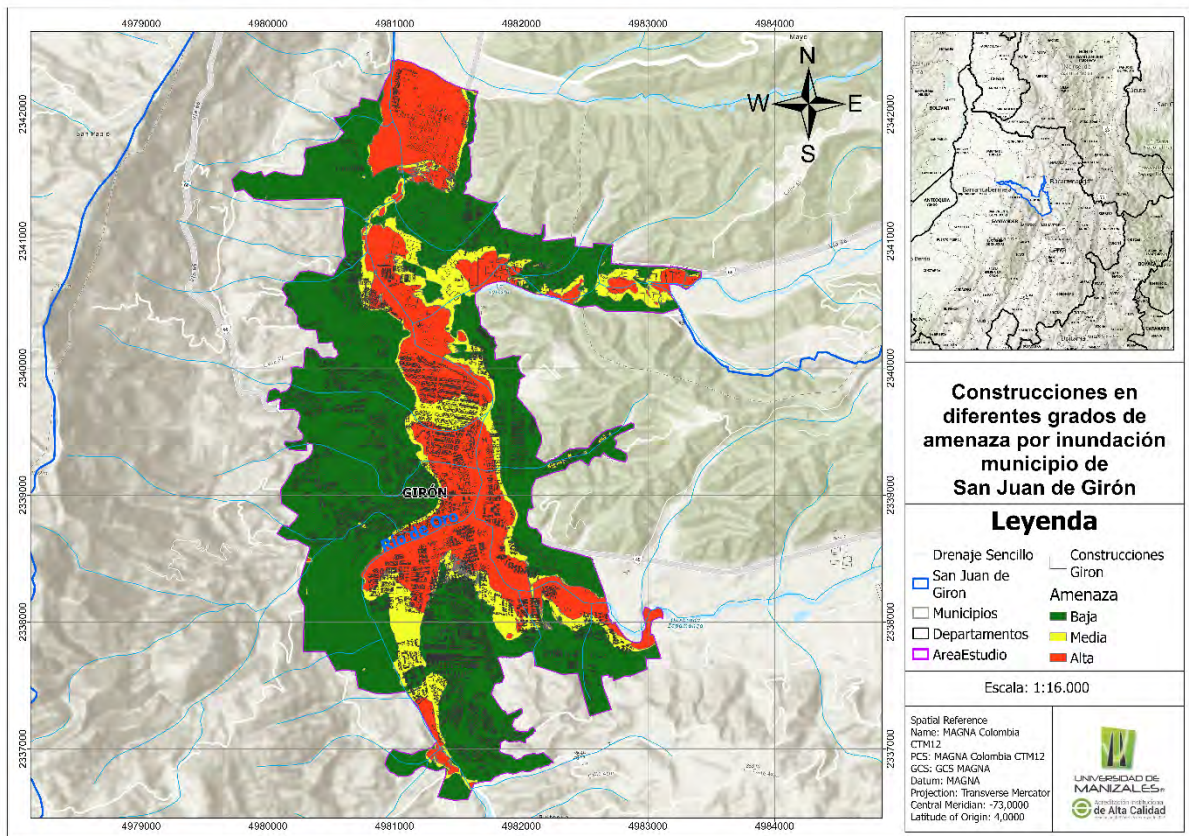
Para la identificación de las construcciones posiblemente afectadas se realizó el mismo proceso, solo que ahora con la capa de información de construcciones, obteniendo como resultado lo siguiente.

Figura 16. Construcciones afectadas

Amenaza	Construcciones
Baja	30.276
Media	11.320
Alta	14.747

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Construcciones respecto a los grados de amenaza identificados.

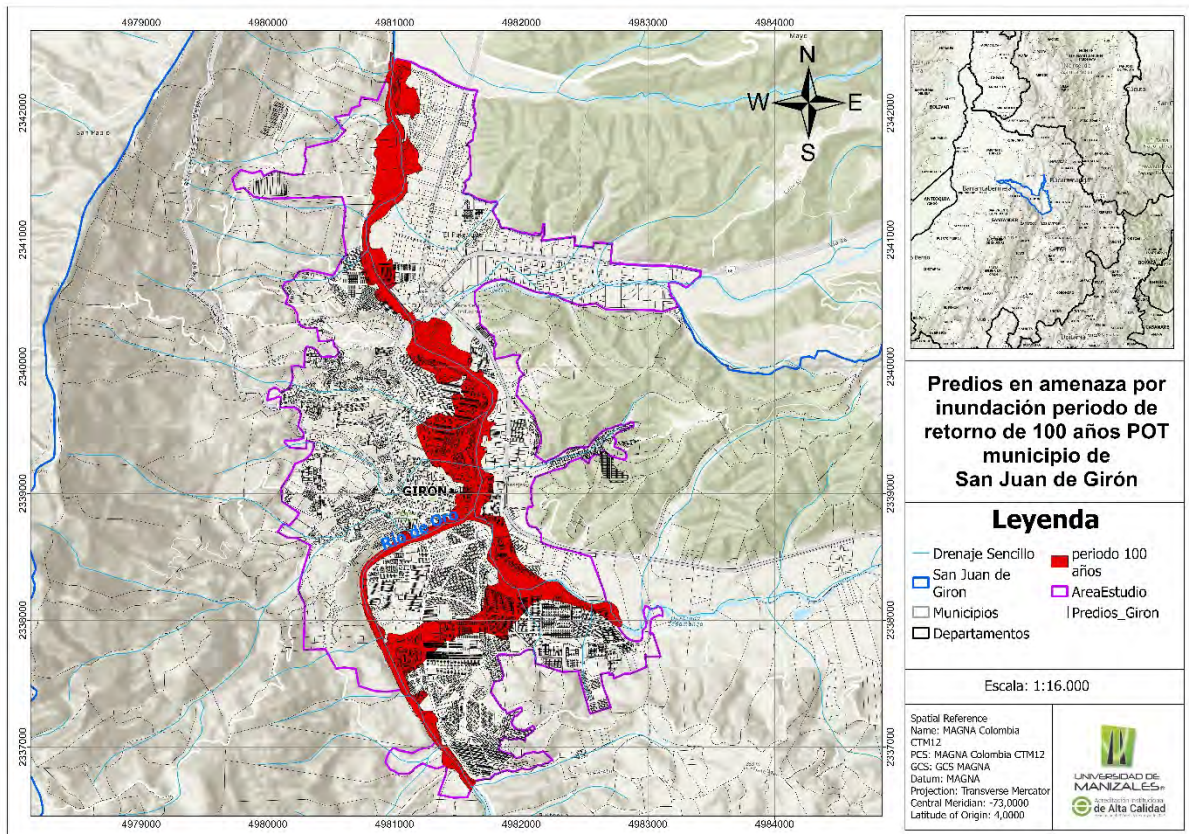


Fuente: Elaboración propia.

Se procede a realizar la cuantificación de las posibles afectaciones causadas por la inundación del rio de Oro teniendo en cuenta la información del POT para un periodo de

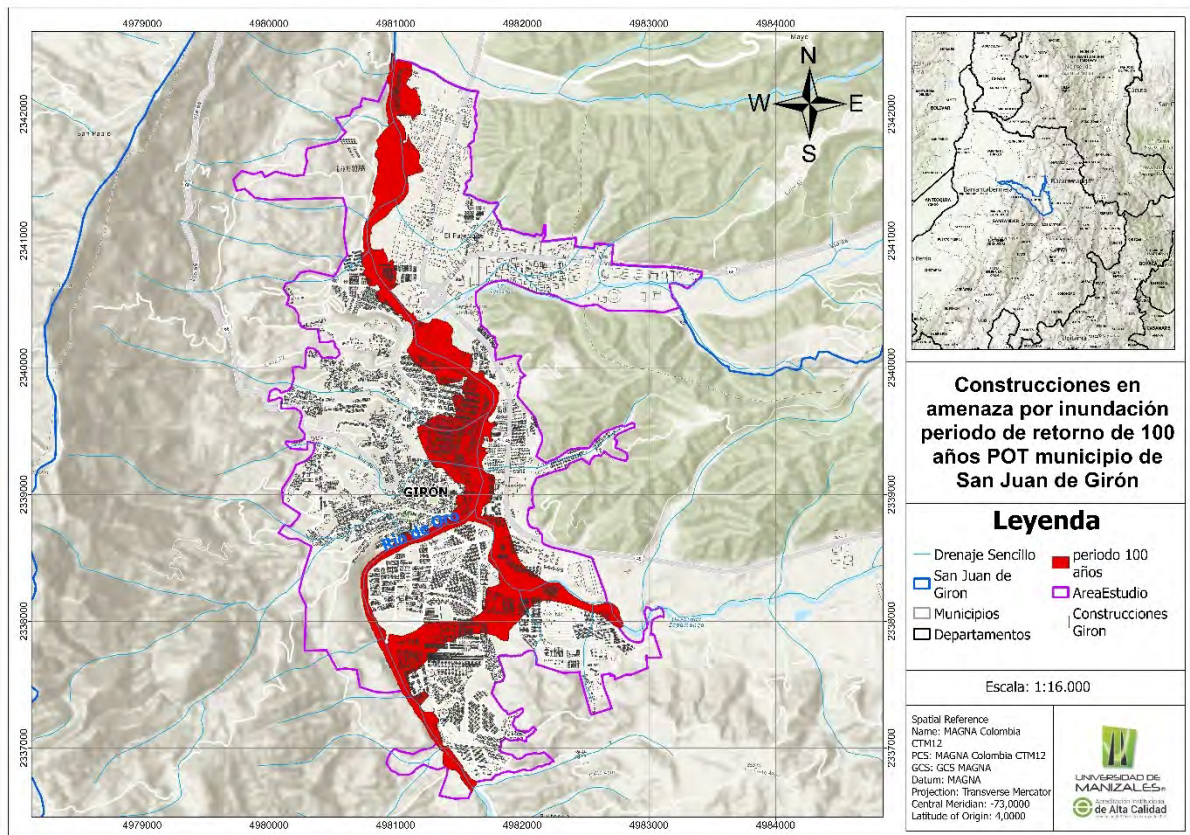
retorno de 100 años. El proceso se realizó igualmente con la herramienta Select By Location, obteniendo como resultado un total de 5.182 predios y 10.911 construcciones que presentan una alta amenaza por inundación.

Figura 18. Predios afectados por la mancha de inundación periodo de retorno de 100 años POT Girón.



Fuente: Elaboración propia.

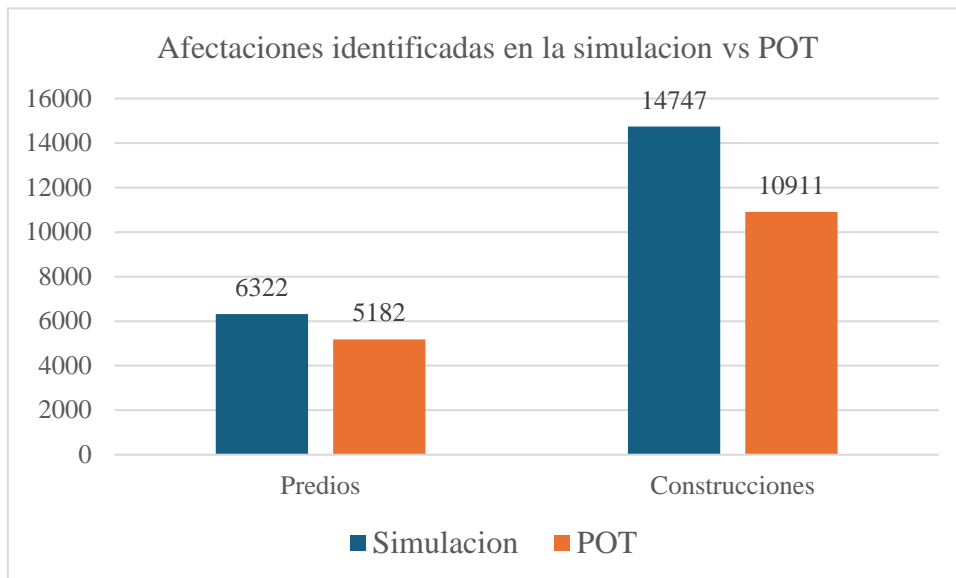
Figura 19. Construcciones afectadas por la mancha de inundación periodo de retorno de 100 años POT Girón.



Fuente: Elaboración propia.

Por último, se realizó la comparación de los resultados obtenidos en los dos procesos, identificando que aumenta el número de predios y construcciones que se ve afectados por el polígono o área de zonificación de amenaza respecto al que presenta el POT de 2010 con un periodo de retorno de 100 años. Por lo que se considera que los dos enfoques no son excluyentes, sino complementarios. Usarlos en conjunto permite planificar a gran escala y al mismo tiempo, priorizar intervenciones en las áreas más críticas.

Tabla 6. Comparación de los resultados obtenidos entre la simulación y la información del POT de Girón.



Fuente: Elaboración propia.

## 8. Conclusiones

El análisis de las manchas de inundación en la cuenca hídrica del Río de Oro en el municipio de San Juan de Girón, específicamente en el área urbana y periferia ha revelado que la mayor parte del área de estudio, con 592,87 hectáreas, representando el 62,57% del total. Esto indica que la mayoría del área urbana y periférica de San Juan de Girón tiene un riesgo relativamente bajo. Estas zonas son relativamente seguras y tienen una menor probabilidad de inundación, lo que sugiere que pueden ser priorizadas para el desarrollo y la inversión en infraestructura.

Sin embargo, La amenaza media abarca 113,22 hectáreas, representando el 11,94% del área de estudio. Esto sugiere que una parte significativa del área tiene un riesgo moderado de inundaciones, lo que implica que se deben considerar en la planificación y gestión tales como medidas de vigilancia, prevención, monitoreo y preparación. Es crucial que las autoridades locales implementen estrategias de amenaza por inundación y educación comunitaria para mitigar posibles impactos.

Por otro lado, La alta amenaza cubre 241,35 hectáreas, lo que equivale al 25,47% del área total. Aunque es la categoría menos representada, sigue siendo importante, ya que estas áreas podrían estar en mayor riesgo de inundaciones severas y requieren medidas de atención inmediata y medidas de mitigación. La identificación de estas áreas vulnerables no solo proporciona una base sólida para la planificación urbana y la gestión del riesgo, sino que también subraya la necesidad de implementar medidas preventivas y de mitigación efectivas. Esta zonificación se convierte en una herramienta esencial para las autoridades locales, permitiéndoles tomar decisiones informadas sobre el uso del suelo en el área urbana y periferia del Río del Oro y controlar las construcciones de edificaciones cercanas.

La evaluación de los predios afectados por la cuenca hídrica del río de Oro en el área urbana y periferia del municipio de San Juan de Girón muestra una distribución notable de

los niveles de amenaza. La mayoría de los predios están en la categoría de amenaza baja con un número de predios de 17,274, lo que indica que, en términos generales, el impacto de la cuenca hídrica es menos severo en una amplia extensión de la zona. Sin embargo, es crucial prestar atención a los predios en las categorías de amenaza media con un número de predios de 5,890 y alta con un número de predios 6,322, que representan áreas con mayor riesgo potencial y que podrían requerir medidas de mitigación más urgentes y significativas para prevenir daños futuros.

El estudio de las construcciones que podrían verse afectadas por las inundaciones de la cuenca hídrica del río de Oro en el área urbana y periferia de San Juan de Girón revela que una gran parte de ellas se encuentra en la categoría de amenaza baja, con un total de 30,276 edificaciones. Esto sugiere que muchas construcciones pueden enfrentar un impacto moderado en caso de una inundación. No obstante, es importante destacar que las construcciones en las categorías de amenaza media (11,320 edificaciones) y alta (14,747 edificaciones) representan una proporción significativa y plantean un riesgo potencialmente elevado para estas áreas.

Es fundamental que las autoridades locales implementen estrategias efectivas de gestión de riesgos y medidas de mitigación en las zonas con mayor nivel de amenaza, con el objetivo de minimizar los daños y garantizar la seguridad de los residentes y sus propiedades.

El análisis comparativo de las afectaciones identificadas utilizando el software ArcGIS Pro y las registradas en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del año 2010, debido a la inundación de la cuenca hídrica en el área urbana y periferia del municipio de San Juan de Girón, revela que las afectaciones detectadas por la simulación son mayores en ambas categorías (Predios y Construcciones) en comparación con las del POT. Esto sugiere que los datos utilizados en la simulación con ArcGIS Pro están más actualizados y son más precisos, lo que permite una identificación más exhaustiva de las áreas afectadas. En relación con las

construcciones, desde 2010, pueden haberse producido cambios en el uso del suelo y una expansión urbana que haya llevado al desarrollo de nuevas infraestructuras, nuevos predios, aumentando así las áreas afectadas por inundaciones. Además, el POT de 2010 podría haber subestimado las afectaciones potenciales debido a limitaciones tecnológicas o metodológicas de análisis disponibles en esa época.

De igual forma, se logró identificar a partir de la información de precipitaciones multianuales de las estaciones meteorológicas del IDEAM, los eventos extremos que podrían ocurrir en la cuenca del Río de Oro en su paso por el municipio de San Juan, cuyos datos fueron usados como insumo básico para correr la herramienta de simulación de Arcgis Pro, para un evento de precipitaciones extraordinario como lo sería una lluvia constante con una duración de 12 horas y una intensidad de 83.03 mm/hr, evidenciado que las inundaciones se comportan de forma parecida a lo establecido en el mapa de riesgos que reposa en el POT del municipio de San Juan de Girón. Así mismo se logra observar mediante la figura 19, que prácticamente la mitad del área urbana del municipio se encontraría en zonas de amenaza alta. Esto dadas las características geomorfológicas de donde se encuentra localizado el municipio, ya que en esta zona las pendientes son clasificadas entre planas y ligeramente inclinadas lo que propicia un escenario de importancia ante estos fenómenos naturales.

A partir de esta información, se puede complementar los estudios para desarrollar estrategias de prevención y mitigación, como la construcción de sistemas de drenaje, gaviones y la implementación de planes de evacuación en la comunidad. Estas medidas son fundamentales para reducir el riesgo de inundaciones y proteger a la población. Los resultados indican que las inundaciones en esta región son influenciadas por factores climáticos y geográficos, lo que sugiere que es crucial desarrollar estrategias adaptativas que consideren el cambio climático y su impacto en la frecuencia e intensidad de estos eventos.

Además, la colaboración entre autoridades locales, comunidades y expertos en gestión de riesgos es fundamental para fomentar una cultura de prevención y resiliencia. En conclusión, la zonificación de amenaza por inundación en San Juan de Girón es una herramienta valiosa que no solo ayuda a identificar áreas de riesgo, sino que también proporciona una base para la implementación de medidas preventivas y de mitigación. La colaboración entre diferentes actores y la consideración de factores climáticos y geográficos son esenciales para desarrollar estrategias efectivas que protejan a la comunidad y promuevan una cultura de resiliencia.

## 9. Recomendaciones

Dado que existen diferentes asentamientos y barrios en el municipio de San Juan de Girón ubicados en zonas de alto riesgo por inundación, es crucial identificar y clasificar las áreas según su nivel de riesgo, facilitando la toma de decisiones y la planificación de medidas preventivas.

Es fundamental concientizar a la comunidad sobre los riesgos asociados a vivir en estas zonas y promover la participación en los programas contemplados en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) y el Plan de Ordenamiento Territorial (POT). Estos programas deben incluir campañas educativas, simulacros de evacuación y la difusión de información sobre las medidas de seguridad a seguir en caso de emergencia.

Los entes gubernamentales deben continuar con las obras de mitigación en las zonas de alto riesgo, como la construcción de diques, canales de drenaje y sistemas de alerta temprana. Además, es esencial incentivar a la comunidad a participar en proyectos de construcción en áreas idóneas que cumplan con las condiciones de uso de suelo y las normas de construcción colombianas. Esto no solo reducirá el riesgo de desastres, sino que también mejorará la seguridad y la calidad de vida de los habitantes.

Los líderes comunitarios juegan un papel crucial en la gestión de la legalización de los asentamientos. Esta legalización es necesaria para la instalación de servicios públicos básicos, como agua potable, electricidad y alcantarillado, que optimicen la calidad de vida de los habitantes de estos sectores. Además, la legalización permitirá a las autoridades locales implementar de manera más efectiva las medidas de zonificación y mitigación de riesgos.

## 10. Referencias

- Aldabe, Y. R. (2018). Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/4b86e0c0-5892-4783-be81-472ea5d1615e/content>
- Alvarado Bello, 2. (2014). USO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL ANÁLISIS DE AMENAZA POR INUNDACIONES EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ-MUNICIPIO DE COTA-LÍMITES LOCALIDAD DE SUBA. *trabajo de grado*. Bogota.
- Arias, K. J. (2018). Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/7a023396-b2e3-40a1-a8cf-01f11b9ef080/content>
- Badillo, A. &. (2009). *Articulo*. Obtenido de Revista Humanidades: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistahumanidades/article/view/969/1332>
- Barragan, M. L., & Garcia, N. L. (2023). Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/52738/2023MildredMonsalveNancyUribe.pdf?sequence=1&form=MG0AV3>
- BID, 2. (2012). *Minambiente.gov.co*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/[https://archivo.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Plan\\_nacional\\_de\\_adaptacion/3.\\_Da%C3%B1os\\_y\\_p%C3%A9rdidas\\_ola\\_invernal.pdf](https://archivo.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Plan_nacional_de_adaptacion/3._Da%C3%B1os_y_p%C3%A9rdidas_ola_invernal.pdf)
- Blackie, 1. (1996). *Vulnerabilidad: El Entorno Social, Politico y Economico de los Desastres*. Lima, La red.
- Castrillon, J. G. (2017). *Gestion de Catastrofes Naturales*. <https://geoinnova.org/blog-territorio/gestion-de-catastrofes-naturales/>.
- Codazzi, I. G. (2019). *IGAC*. Obtenido de <https://mapas.igac.gov.co/server/rest/services/ordenamientoterritorial/pendientescolombia/MapServer>
- Cortes, F. l., Perez, M. L., & Mogollon, H. M. (Septiembre de 2016). *Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua*. Obtenido de <https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/1267/pdf>
- DANE. (2024). *DANE*. Obtenido de <https://geoportal.dane.gov.co/servicios/descarga-y-metadatos/datos-geoestadisticos/?cod=111>
- El-Behiry, Shedid, A., Abu-Khadra, A., & El-Hunseiny. (2005). *Integrated GIS And Remote Sensing For Runoff Hazard Analysis in Ain Sukhna Industrial Area, Egypt*. *ReasearchGate*.

- FAO, 2. (2017). The impact of disasters and crises on agriculture and food security.
- Fernandez & Rodriguez, 1. (1996).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/5898a789-5f8e-4253-ac4a-b2b464726c3a/content>
- Giron, A. d. (2010). *Alcaldia San Juan de Giron*. Obtenido de <https://giron-santander.gov.co/MiMunicipio/Mapas/Identificaci%C3%B3n%20de%20fen%C3%B3menos%20-%20amenaza%20inundaci%C3%B3n.pdf>
- GOV.CO. (2024). Obtenido de <https://www.amb.gov.co/datos-abiertos-catastro/>
- IDEAM. (2024). *IDEAM*. Obtenido de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- IDEAM, 2. (2019). *Informe del Estado del Clima en Colombia*.
- Jiménes, K. D. (30 de 06 de 2023). <https://repository.javeriana.edu.co/>. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/65056>
- MinTIC. (2019). *Datos Abiertos Colombia*. Obtenido de <https://herramientas.datos.gov.co/sites/default/files/Guia%20de%20Datos%20Abiertos%20de%20Colombia.pdf>
- Miteco, 2. (2023). *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es.html>.
- NASA. (2024). *Earth Data*. Obtenido de <https://search.asf.alaska.edu/>
- Navarro, M. A. (2007). *Universidad de Talca*. Obtenido de [https://www.cuhs.otalca.cl/exc/ta/Docs/pdf/Publicaciones/tesis\\_de\\_grado/aguilera\\_a.pdf](https://www.cuhs.otalca.cl/exc/ta/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/aguilera_a.pdf)
- ONU. (2015). Naciones Unidas.
- PNACC, 2. (2016). *Colaboracion.dnp.gov.co*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/PNACC%202016%20linea%20accion%20prioritarias.pdf>
- Poveda, 2. (2020). *El Niño y La Niña, extremos climáticos globales y su impacto en Colombia*. BOGOTÁ: Universidad Nacional de Colombia.
- Restrepo y Escobar, 2. (2018). *Restrepo, Estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático en Colombia*. MEDELLÍN: Editorial Universidad de Antioquia.
- Rodríguez-Becerra y Espildora, 2. (2019). Deforestación en Colombia. *Fundación Alejandro Ángel Escobar*.
- Sanchez, J. C. (2014). *Hidrojing*. Obtenido de <https://www.hidrojing.com/wp-content/uploads/2014/04/CALCULO-DE-CAUDALES-DE-AVENIDA.pdf>

- SGC. (2012). *Servicio Geologico Colombiano*. Obtenido de <https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx#Default={%22k%22:%22k%22}%22}#5b6e701c-f4f2-4f6c-91ae-a069d1dfb028=%227B%22k%22%22%3A%22Geomorfolog%20C3%ADa%20plancha%20120%22%22%7D>
- Tucci, C. (2004). *Scientific Reaserch*. Obtenido de <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3615098>
- UNDRR, 2. (2019). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. UNDRR. *United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR)*.
- Uriza, A. P. (2009). *Revista UIS Humanidades*. Vol. 37, No. 2. Bucaramanga: Revista UIS Humanidades. Vol. 37, No. 2. Julio-diciembre de 2009, pp. 137-152 ISSN 0120-095X.
- Vasques, E. L., Garduño, M. L., & Argandar, G. D. (2015). Obtenido de <https://psicologiaysalud.uv.mx/index.php/psicysalud/article/view/1826/3339>
- Velandia, J. C. (2014). *Universidad Catolica*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/014beaf1-cbc3-406d-a744-a8aa0ee619a6/content>
- Youssef, A. M., Pradhan, B., & Hassan, A. M. (Abril de 2011). *Springer Link*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-010-0551-1>

# 11. Anexo

## 11.1. MODELO DE DATOS DE LA GEODATABASE (GDB)

El presente anexo describe el modelo de datos de la Geodatabase (GDB) utilizada en el estudio de zonificación de amenaza por inundación en San Juan de Girón, Santander. Este modelo define la estructura y organización de los datos geoespaciales dentro del SIG, incluyendo capas vectoriales, ráster, tablas de atributos y relaciones establecidas entre ellas.

### 11.1.1. Estructura de la Geodatabase

La Geodatabase contiene las siguientes clases de entidades y datos:

### 11.1.2. Feature Datasets (Conjuntos de Datos Geoespaciales)

Los datos se agrupan en los siguientes conjuntos temáticos:

- **Datos Base:** Contiene la información geográfica fundamental del municipio.
- **Procesamiento SIG:** Capas generadas a partir de análisis SIG.
- **Resultados del Análisis:** Información final generada tras la zonificación de la amenaza por inundación.

### 11.1.2. Feature Classes (Capas Vectoriales)

Nombre de la Capa	Tipo	Descripción
Área Estudio	Polígono	Delimitación del área de estudio
Localización_AreaUrbana	Polígono	Límites del área urbana del municipio
Localización_Giron	Polígono	Delimitación administrativa del municipio de Girón
Construcciones Girón	Polígono	Base de datos de edificaciones en Girón
Predios_Giron	Polígono	Base de datos de predios urbanos y rurales
Reclass_Simulacion	Ráster	Reclasificación del resultado de la simulación de inundación
ResultadoSimulacion	Ráster	Resultado del modelado de inundación utilizando SIG

Simulación_vs_POT	Polígono	Comparación entre la simulación SIG y la cartografía del POT
Zonificación_AmenazaInun	Polígono	Zonificación final de la amenaza por inundación
Construcción_Amenaza_POT	Polígono	Construcciones afectadas según el POT
Construcciones_Amenaza	Polígono	Construcciones afectadas según SIG
Predios_Amenaza_POT	Polígono	Predios en zonas de riesgo según el POT
Predios_Amenaza	Polígono	Predios en zonas de riesgo según SIG

### 11.1.3. Tablas de Atributos y Relaciones

Cada capa vectorial contiene atributos específicos. Algunas de las principales tablas de atributos son:

Capa	Atributos Principales
AreaEstudio	ID, Nombre, Extensión
Construcciones_Giron	ID, Área, Uso del suelo, Material
Predios_Giron	ID, Propietario, Uso, Área
ResultadoSimulacion	ID, Profundidad agua (m), Periodo retorno
Zonificación_AmenazaInun	ID, Nivel de amenaza (Baja, Media, Alta)

Las relaciones establecidas en la GDB permiten vincular predios y construcciones con la información de amenaza por inundación, facilitando el análisis espacial.

Este modelo de datos garantiza la estructuración organizada de la información geoespacial utilizada en el estudio, permitiendo la generación de resultados precisos para la toma de decisiones en la prevención de amenaza por inundaciones en San Juan de Girón.