

Aplicación De Los SIG En El Manejo De Cuencas Hidrográficas

Jesús Manuel Mena Mancilla

Departamento de Ingeniería civil, Universidad de Pamplona

Diplomado En Obras Hidráulicas

Pamplona, Norte de Santander, 2024

Aplicación de los SIG en el manejo de cuencas hidrográficas

Jesús Manuel Mena Mancilla

Monografía Necesaria Para Obtener El Diploma De Ingeniero Civil.

Director: Oscar Hernández Parada

Ingeniero Civil

Pamplona, Norte de Santander, 2024

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, agradezco a dios por ayudarme a concluir mi formación académica profesional. Agradezco a mis papás por su ayuda inquebrantable; este título les pertenece a ustedes. Agradezco a mis hermanos por su contante respaldo, así como a mi amiga Scheily Marilupe, que se ha preocupado para que todo me salga bien y poder lograr mi objetivo.

A mi abuelo, que siempre me preguntaba por mi progreso, y que en estos momentos no se encuentra con nosotros y que no podrá ver este logro en persona, pero sé que su espíritu me acompaña en cada paso que doy.

Asimismo, quiero resaltar a la universidad de pamplona y a mis profesores, porque ellos son la base de todos mis conocimientos adquiridos. Agradezco también a mis compañeros que alcancé a conocer y pude llevarme positivamente con ellos esos momentos quedaran en el recuerdo, al ingeniero Oscar Hernández por sus asesorías en este capítulo.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	12
2	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	13
2.1	Uso general de los SIG	14
2.1.1	Cartografía automatizada	15
2.1.2	En infraestructuras	15
2.1.3	Gestión territorial	16
2.1.4	Medioambiente	17
2.1.5	Equipamiento social	17
2.1.6	Recursos mineros	17
2.1.7	Tráfico	18
2.1.8	Demografía	18
2.2	Modelos de datos espaciales	20
2.2.1	Modelo de datos ráster.	20
2.2.2	Modelos de datos vectoriales.	21
2.2.3	Estructura de datos topológicos.	22
2.2.4	Modelo de datos de objetos.	23
2.2.5	Críticas de los modelos de datos espaciales.	24
2.2.6	Análisis y modelamiento espacial	25
2.3	Operaciones analíticas en los SIG.	25
3	APLICACIÓN DE LOS SIG EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS	26
3.1	Periodo de retorno	28

3.2	Modelo digital de elevación	28
3.3	Modelo digital del terreno	28
3.4	Tipos de software utilizados en la implementación de los SIG	29
3.4.1	Software comercial	29
3.4.1.1	ArcGIS™	29
3.4.1.2	MapInfo	30
3.4.1.3	AgiSoft Metashape	31
3.4.1.4	IDRISI	32
3.4.1.5	ERDAS	32
3.4.1.6	MiraMon	33
3.4.1.7	Ventajas del software comercial	33
3.4.1.8	Desventajas del software comercial	33
3.4.2	El software de código abierto	34
3.4.2.1	Quantum GIS	34
3.4.2.2	SavGIS	34
3.4.2.3	HEC-RAS	35
3.4.2.4	GvSIG	36
3.4.2.5	Grass	36
3.4.2.6	SAGAGIS	37
3.4.2.7	Ventajas del software libre	37
3.4.2.8	Desventajas del software libre.	37
4	IMPLEMENTACIÓN DE LOS SIG EN DISTINTAS CUENCAS	
	HIDROGRÁFICAS	38

4.1	Utilización de las herramientas SIG para el estudio de la cuenca hidrográfica del río Timaná, evaluando el riesgo de inundación	38
4.2	Enfoque de decisión multicriterio para identificar zonas de vulnerabilidad a inundaciones utilizando tecnología geoespacial en la cuenca Kemp-Welch, Provincia Central, Papua Nueva Guinea	47
4.3	Evaluación del riesgo de inundaciones basada en SIG mediante análisis de decisiones multicriterio de la cuenca del río Shebelle en el sur de Somalia	55
5	CONCLUSIONES	63
6	BIBLIOGRAFÍA	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Variables de un SIG</i>	15
Figura 2. <i>Cartografía automatizada</i>	16
Figura 3. <i>Esquema de infraestructura de datos</i>	17
Figura 4. <i>Implementación de SIG en modelado de tráfico</i>	19
Figura 5. <i>Variables demográficas</i>	20
Figura 6. <i>Píxeles de un modelo ráster</i>	22
Figura 7. <i>Modelos de datos vectoriales</i>	23
Figura 8. <i>Modelo de red irregular de triángulos</i>	24
Figura 9. <i>Modelo de mapa de objetos</i>	25
Figura 10. <i>Esquema de datos geográficos</i>	27
Figura 11. <i>Clasificación de cuencas, subcuencas y microcuencas</i>	28
Figura 12. <i>Modelo digital de terreno</i>	30
Figura 13. <i>Sistema ArcGIS</i>	31
Figura 14. <i>Software MapInfo</i>	32
Figura 15. <i>Software AgiSoft Metashape</i>	32
Figura 16. <i>Software IDIRISI</i>	33
Figura 17. <i>Software ERDAS</i>	33
Figura 18. <i>Software MiraMon</i>	34

Figura 19. <i>Software Quantum GIS</i>	35
Figura 20. <i>Software SavGIS</i>	36
Figura 21. <i>Software HEC-RAS</i>	36
Figura 22. <i>Software GvSIG</i>	37
Figura 23. <i>Software Grass</i>	37
Figura 24. <i>Software SAGAGIS</i>	38
Figura 25. <i>Ubicación de cuenca Timaná</i>	40
Figura 26. <i>Periodo de retorno de inundación Tr 2 años</i>	42
Figura 27. <i>Periodo de retorno de inundación Tr 50 años</i>	42
Figura 28. <i>Periodo de retorno de inundación Tr 100 años</i>	43
Figura 29. <i>Modelo digital de elevación de la cuenca Timaná</i>	44
Figura 30. <i>Mapa de coberturas y usos del suelo</i>	45
Figura 31. <i>Pérdida de banca producto de la socavación lateral</i>	46
Figura 32. <i>Levantamiento topográfico de la cuenca</i>	47
Figura 33. <i>Ubicación de la cuenca Kemp-Welch</i>	49
Figura 34. <i>Mapas de los parámetros de la cuenca de estudio</i>	51
Figura 35. <i>Diagrama de procesos</i>	52
Figura 36. <i>Mapa de zonas vulnerables</i>	54
Figura 37. <i>Ubicación de la cuenca del rio Shebelle</i>	57

Figura 38. <i>Mapa de inventario de inundaciones</i>	58
Figura 39. <i>Parámetros de peligro de inundación</i>	59
Figura 40. <i>Mapas de amenazas de inundaciones</i>	63

RESUMEN

Los sistemas de información geográficos (SIG) a lo largo de los años han tenido un desarrollo muy importante, en el cual se han alcanzado varios logros que convierten a esta tecnología en un sofisticado medio que facilita gestionar y analizar la información espacial. Es por esto que el objetivo de la presente monografía es investigar cómo se aplican los sistemas de información geográficas en las ingenierías, estimando la capacidad que tienen de recopilar y analizar datos geoespaciales relacionados con las cuencas hidrográficas. Asimismo, es importante enfatizar que aún existen desafíos y oportunidades que se requieren para mejorar los softwares que facilitan la obtención de datos de las cuencas hidrográficas. La investigación realizada ha permitido comprender cómo los SIG son herramientas efectivas que permiten visualizar, analizar y prevenir las problemáticas que se puedan presentar en las cuencas hidrográficas.

Palabras claves: Sistemas de información geográficas (SIG), geoespaciales, cuencas hidrográficas, recopilación y análisis de datos, software.

ABSTRACT

Geographic information systems (GIS) have had a very important development over the years, in which several achievements have been made that turn this technology into a sophisticated means that facilitates the management and analysis of spatial information. This is why the objective of this monograph is to investigate how geographic information systems are applied in engineering, estimating their capacity to collect and analyze geospatial data related to watersheds. It is also important to emphasize that there are still challenges and opportunities that are required to improve the software that facilitates the collection of watershed data. The research carried out has allowed us to understand how GIS are effective tools for visualizing, analyzing and preventing problems that may arise in watersheds.

Key words: Geographic information systems (GIS), geospatial, watersheds, data collection and analysis, software.

1 INTRODUCCIÓN

Esta monografía tiene como misión realizar una revisión bibliográfica de diversos estudios e investigaciones que han aplicado sistemas geográficos de información en el estudio de cuencas de un sistema hidrológico. Se busca comprender el comportamiento y la efectividad de estos sistemas en el ámbito de la ingeniería civil, así como su contribución para abordar las crecientes necesidades que surgen cada día. Además, se analiza su aporte en el desarrollo de causas relacionadas con las cuencas hidrográficas, como inundaciones y el impacto negativo causado por la actividad humana. Los SIG nos permiten visualizar y simplificar estas afectaciones que involucran a las cuencas hidrográficas, así como comprender cómo este sistema nos ayuda a enfrentar su complejidad y a identificar con precisión las causas subyacentes de dichas afectaciones.

Esta investigación se hizo con el fin de extraer conocimientos que ayuden a indagar en el desarrollo y estudio de las cuencas hidrográficas, generando conciencia sobre el valor que tienen los sistemas de información geográficas para abordar todos los desafíos que se presentan en este campo. Al finalizar este trabajo se espera tener un enfoque más completo y actualizado sobre los SIG, así mismo tener un aprendizaje más acertado acerca de la sostenibilidad de los recursos hídricos, el resguardo de las comunidades y el medio natural.

2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los (SIG), son una combinación de tecnología y conocimientos especializados que han ido evolucionado desde los años setenta, siendo capaces de trabajar con datos geográficos para capturar, almacenar, analizar y presentar información relevante (Gomes & Barredo, 2005). Así mismo el SIG tiene en cuenta cinco variables fundamentales como son: recolección de datos, personal capacitado, uso de hardware, software y, aplicación de los procedimientos. El personal capacitado involucra distintos roles, como profesionales de información geográfica que diseñan y gestionan el sistema, usuarios generales que lo utilizan en su trabajo diario y aquellos que exploran datos geográficos de forma ocasional. Esta diversidad de personal aporta una perspectiva humana al uso de los SIG (Warf, 2010).

El uso de hardware y software contribuyen al manejo de datos espaciales del sistema, con apoyo del funcionamiento de dispositivos y aplicaciones, los cuales facilitan el ingreso y extracción de los datos geográficos a través de los programas informáticos. Así mismos la finalidad de los SIG es hacer una recolección detallada de los datos obtenidos para realizar los procedimientos que definen la manipulación y el análisis correcto de datos con el fin de resolver problemas de aplicación de dominios específicos (Warf, 2010).

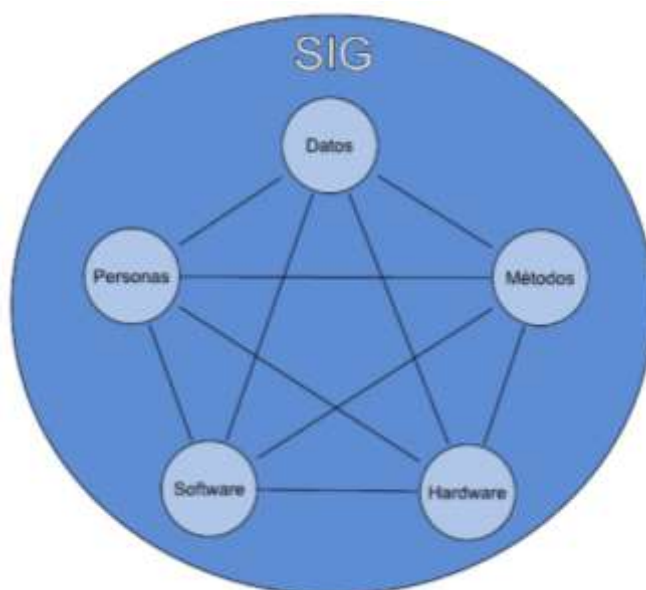
El objetivo de un (SIG) es transformar datos geográficos en información importante poder dar resultados a los problemas, mediante la conversión de esta información de manera cartográfica y otros tipos de datos. El componente fundamental de un SIG es su capacidad de procesamiento, que implica la creación de bases de datos coherentes, validadas y sujetas a edición y actualización. Estas bases de datos deben incluir información geográfica o datos georreferenciados, los cuales hacen referencia a una ubicación en relación con un sistema de coordenadas terrestres. La tecnología de los SIG busca integrar bases de datos gráficas con bases

de datos alfanuméricos que representen distintos elementos del territorio, como carreteras, cursos de agua, asentamientos humanos, actividades económicas, entre otros (Gaspari et al. 2019).

Según se observa en la figura 1 se muestran los componentes de los SIG.

Figura 1.

Variables de un SIG



Nota. Secuencias de las variables para hacer buen uso de los SIG. Reproducida de (Calispa, 2014).

2.1 Uso general de los SIG

El enfoque del uso general de la información del sistema geográfico en las distintas ingenierías está dirigido en la mayoría de los sectores como un recurso esencial de gestión y toma de dictámenes, entre ellos se encuentran:

2.1.1 *Cartografía automatizada*

en los sistemas geográficos de información la cartografía automatizada es un componente dirigido a la información de los sistemas geográficos centrado en la construcción y el mantenimiento de los planos digitales, la utilidad de estos productos es puestos a disposición de las entidades públicas o empresas, las cuales están encargadas de proporcionar versiones de dichos productos actualizados periódicamente (Von, 2006). En la figura 2 se puede observar un ejemplo de cartografía automatizada.

figura 2

Cartografía Automatizada



Nota, imagen geoespacial de una cartografía automatizada. Reproducida de (Calispa, 2014).

2.1.2 *En infraestructuras*

En el inicio de la creación de los primeros SIG, almacenaban información alfanumérica de los distintos servicios, que a su vez eran implementados por las empresas encargadas de dar soluciones a cada una de las problemáticas presentadas en las distintas redes, como: alcantarillado, gas, gestión y mantenimiento de redes eléctricas, agua, teléfono, entre otros. La

finalidad de estos sistemas de información geográficos es almacenar la información relativa a la conectividad, permitiendo realizar análisis de redes y procesar diferentes tipos de consultas, representados a través de graficas o mapas alfanuméricos (Von, 2006). En la figura 3 se puede apreciar como esta constituido el departamento administrativo de planeacio.

Figura 3

Esquema de Infraestructura de Datos



Nota. Ordenamiento funcional de los datos de las oficinas de planeación. Reproducida de (Saavedra, 2019).

2.1.3 *Gestión territorial*

La implementación de los sistemas geográficos permite a la gestión territorial obtener una fácil obtención de datos numéricos y visuales, proporcionando tecnologías que favorecen el análisis espacial de la información. Lo cual permite realizar labores de mantenimientos en cada una de las infraestructuras territoriales, con el fin de optimizar los trabajos de las empresas de servicios generando documentos de información gráfica y alfanumérica (Von, 2006).

2.1.4 Medioambiente

Los sistemas de información geográficos son programas ejecutados por entidades del entorno natural, las cuales ayudan a evaluar el impacto medio ambiental que puede producir la ejecución de distintos proyectos. Estas aplicaciones están integradas a diferentes sistemas que posibilitan la evaluación de datos de forma instantánea para detectar la presencia de sustancias tóxicas, con la finalidad de brindar cada una de las medidas y precauciones de los casos, permitiendo favorecer a trabajos vitales como: análisis de descripción de ecosistemas, repoblaciones forestales, análisis de fragmentos, análisis de especies, planificación de explotaciones agrícolas, en otros (Von, 2006).

2.1.5 Equipamiento social

La gestión de servicios de impacto social, implementan de la información de los sistemas geográficos con el fin de suministrar información determinada de cada una de las zonas y sus centros existentes (centros escolares, hospitales, servicios sanitarios, etc), favoreciendo la ubicación de nuevos centros. Como anteriormente se ha mencionado una buena implementación y diseño de los SIG incrementa y optimiza la productividad de los recursos, permitiendo cubrir de manera eficiente y adecuada los centros necesarios a los usuarios (Von, 2006).

2.1.6 Recursos mineros

Los sistemas geográficos de información se encargan de facilitar en gran escala la información recaudada a través de los años de explotación intensiva, abasteciendo información directa de los diferentes tipos de elementos puntuales, lineales, superficies y volúmenes que están directamente relacionados con las capas y formaciones geológicas que son: sondeos

topográficos, estudios geotécnicos, tendido de eléctrico, zonas de extracción y extractos geológicos (Von, 2006).

2.1.7 **Tráfico**

El sistema del tráfico implementa los SIG para determinar y modelar el comportamiento, circulación y longitud de las redes viales existentes para evaluar las condiciones del tráfico. Ayudando a recolectar y analizar información útil de las redes de tráfico (Von, 2006). Según se observa en la figura 4 podemos apreciar como se modela un sistema de tráfico en los SIG.

Figura 4.

Implementación de SIG en Modelado de Tráfico



Nota. Fusión de dos modelos. Reproducida de (Varela et al. 2005).

2.1.8 **Demografía**

Las diferentes aplicaciones de los sistemas de información geográficos vinculan o utilizan variables de características demográficas, con el fin de correlacionar la distribución de los modelos espaciales y la correcta toma de decisiones. Algunas de las características o variables que se tiene en cuenta en los SIG son: zonificación electoral, evaluación para el establecimiento de negocios o servicios gubernamentales, entre otros. Estos datos pueden ser obtenidos a través de los censos poblacionales por entidades públicas (ejemplo: en Colombia la

entidad encargada es el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas “DANE”) (Von, 2006). Según la figura 5 se pueden apreciar las variables demográficas en Colombia.

Figura 5

Variables Demográficas

Temas	Variables
Ubicación	Departamento y municipio
	Clase
	De identificación Operativa y Ubicación geográfica
	Uso de la unidad
Vivienda	Tipo de vivienda y condición de ocupación
	Total de hogares
	Material de paredes y pisos
	Servicios públicos
	Tipo de servicio sanitario
Hogar	Total de los cuartos y cuartos usados para dormir
	Fuente de obtención de agua para preparar alimentos
	Personas fallecidas últimos doce meses
	Residentes habituales del hogar
Personas - Todas las personas	Información demográfica y relaciones de parentesco
	Autorreconocimiento étnico y multilingüismo
	Lugar de nacimiento
	Migración últimos cinco años
	Migración reciente - últimos doce meses
	Enfermedad o problema odontológico últimos treinta días
	Acción emprendida para atender la enfermedad
	Dificultades para realizar actividades
	Causa de la enfermedad que le ocasiona la limitación permanente
	Ayudas utilizadas para esa dificultad
Personas - Menores de 5 años	Cuidado de los niños la mayor parte entre semana
Personas - 5 años o más	Alfabetismo
	Asistencia escolar
	Nivel educativo más alto Y último año aprobado en ese nivel
Personas - 10 años o más	Actividad realizada la semana anterior al censo
	Estado civil
Personas - Mujeres de 10 años o más	Fecundidad

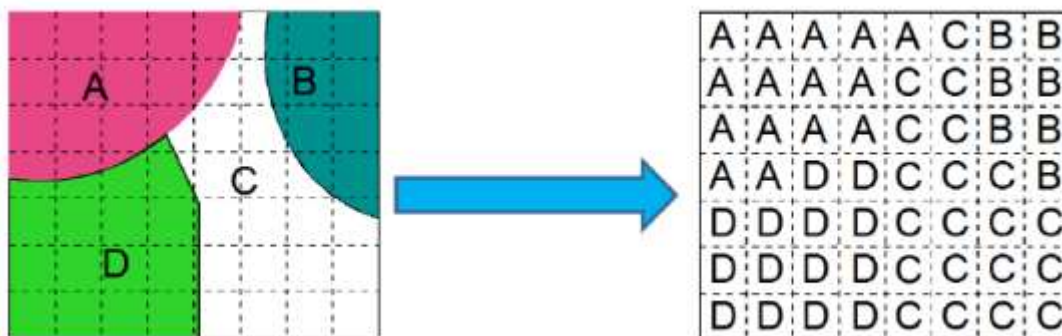
Nota. Variables utilizadas para censar a las familias en Colombia. Reproducida de (DANE, 2021).

2.2 Modelos de datos espaciales

Los modelos de datos espaciales al igual que los SIG, tienen la capacidad de acceder a la información espacial, representarla y guardarla en base de datos. Optando por recaudar información sobre los fenómenos, análisis, descripción y categorización de objetos. Estos datos anteriormente mencionados son extraídos de referencias espaciales basadas en los sistemas de coordenadas geográficas facilitando así la comunicación y la escala del análisis de manera segura (Warf, 2010). En un aspecto más general, este modelo hace referencia a esas ramas de interpretación de datos en donde la ilustración visual posee información crucial en diferentes campos, donde la toma de datos se distingue de otros casos, que en el momento de cambiar los índices puede perderse la información (Goodchild & Haining, 2005).

2.2.1 *Modelo de datos ráster.*

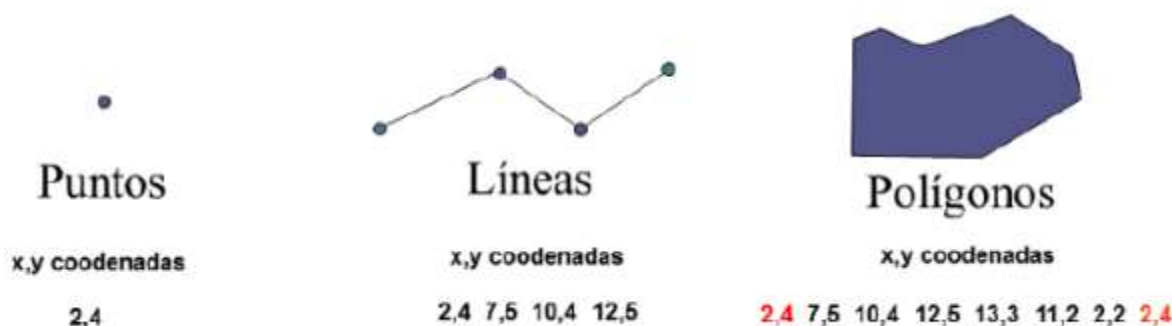
El modelo ráster es parecido a una cuadrícula o matriz el cual es subdividida por pequeñas unidades de celdas o píxeles. Cada una de estas divisiones tienen sus valores únicos los cuales representan sus datos de población, elevación y temperatura. Para tener en cuenta la escala, la representación y categorización de este modelo es importante hacer un ajuste a través de la resolución del tamaño de la cuadrícula de cada una de las celdas (Warf, 2010). Según un estudio hecho por la Universidad de Barcelona, pudieron evidenciar que este modelo es también conocido como modelo de sombra, ya que se pueden obtener las direcciones y elevaciones del sol para poder entender la morfología en varias perspectivas del área de estudio (Guinau, 2023). En la figura 6 se puede observar cómo funciona un modelo de datos ráster.

Figura 6*Píxeles de un Modelo Ráster*

Nota. Modelo de datos ráster observado por fuera de los SIG. Reproducida de (Alvarez, 2022).

2.2.2 **Modelos de datos vectoriales.**

Este modelo como su nombre lo sugiere está compuesto por puntos, líneas y polígonos que son utilizados de forma geométrica, precisa e importante en los sistemas geográficos de información para demarcar las áreas de estudiadas de forma espacial, el cual se diferencia del sistema ráster ya que está centrado en la representación de ríos, caminos, fronteras, cuencas, entre otros (Warf, 2010). En la Región de Maule en Chile, usaron este modelo para representar un error a partir de las mediciones hechas con GPS, utilizando una variedad de medidas de distintas zonas específicas. Las cuales arrojaron resultados de manera diferencial de la zona afectada, para luego hallar el error medio de la exactitud espacial y la desviación estándar (Mena et al. 2008). Tal y como se observa en la figura podemos encontrar la geometría de como son los sistemas vectoriales.

Figura 7*Modelos de Datos Vectoriales*

Nota. Geometría de los datos Vectoriales. Reproducida de (Alvarez, 2022).

- **Estructura de datos de espaguete**

Para hablar del modelo espaguete debemos tener en cuenta que se relaciona con el modelo vectorial, el cual está orientado y encargado de guardar las coordenadas o cadenas de puntos, líneas y polígonos. No obstante, este modelo espaguete no detalla si la información almacenada de datos específicos como la intersección, contigüidad y proximidad se relaciona entre sí (Warf, 2010).

2.2.3 **Estructura de datos topológicos.**

La estructura de datos topológicos se caracteriza por ser una técnica mejorada que gestiona el almacenamiento de la información de datos de los modelos vectoriales. Estos tipos de datos están relacionados con un concepto que estudia las propiedades de las formas almacenando sus datos enfocados a la topología, líneas, polígonos y nodos. Esta estructura es la encargada de facilitar la recolección de datos permitiendo a los usuarios resolver sus preguntas sobre las relaciones espaciales de forma más efectiva (Warf, 2010). En una investigación que hicieron en Anoia (Cataluña), (Casasnovas, 1998), plantea que esta estructura de datos, llamada también

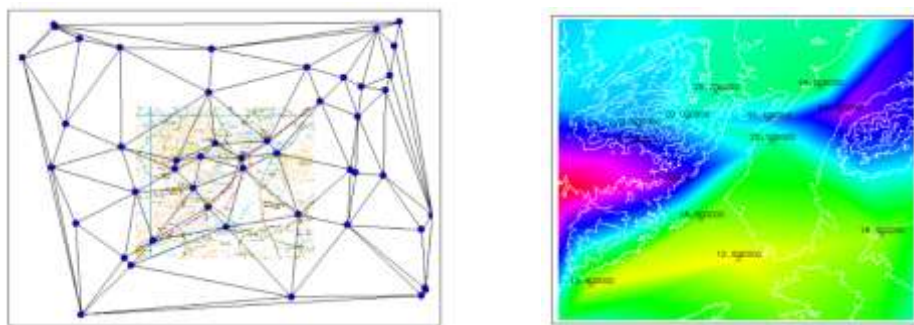
arco-nodo, la usaron para analizar las relaciones paisaje-suelo y desgastes provocados por barrancos y cárcavas basándose principalmente en adyacencia, conectividad y definición de las áreas.

- **Modelo de Red Integrada Triangulada (TIN).**

El modelo de red integrada triangulada es la encargada de mostrar los datos vectoriales, conectando sus puntos que las conforman con líneas rectas en forma de triángulos de un lugar o espacio. Dicho modelo es el encargado de visualizar y diferenciar las elevaciones de los terrenos, reduciendo los excesos en los datos recolectados en donde hay cambios bruscos en la elevación (Warf, 2010). La figura 8 nos muestra la conexión de puntos en un sistema triangulado.

Figura 8

Modelo de red Irregular de Triángulos



Nota. Modelo de una red integrada de triángulos. Reproducida de (Alvarez, 2022).

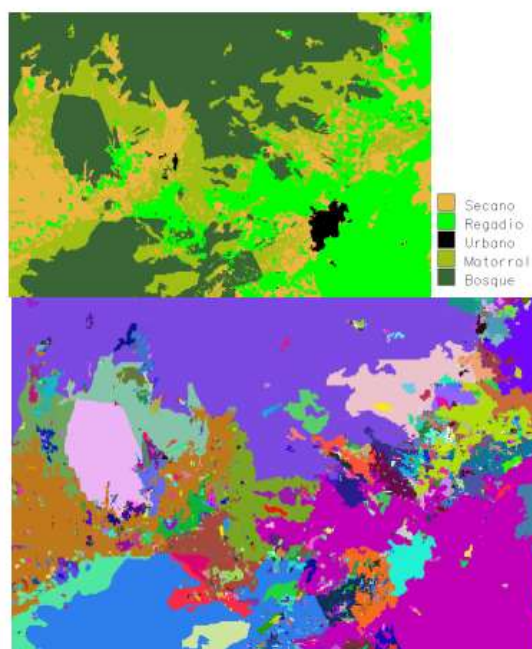
2.2.4 **Modelo de datos de objetos.**

Este modelo de datos objetos está ligado con los modelos ráster y vectoriales, sin embargo, este modelo no sigue una jerarquía en sí, lo cual permite incorporar diferentes entidades clasificándolas en intuitivas o entidades separadas y exclusivas. Esto no considera que las entidades tengan que ser aplicadas a diferentes datos de estructuras, sino que se deben relacionar a entidades con objetos a gran escala (carretas, edificios y lugares, entre otros), el

modelo de objetos nos ayuda a implicar diferentes sociedades en objetos más amplios el cual incluyen los tipos ráster y vectoriales (Warf, 2010). En la figura 9 se observa cómo es la agrupación con colores de los modelos de objetos en los SIG.

Figura 9

Modelo de Mapa de Objetos



Nota. Agrupación de los modelos de datos en los SIG. Reproducida de (Alvarez, 2022).

2.2.5 ***Críticas de los modelos de datos espaciales.***

En la representación del sistema de información geográfica pueden hallarse diferentes tipos de críticas implicando límites en el ejercicio de poder tanto en las personas como en la naturaleza, para decidir los diferentes modelos se tiene en cuenta la visión en la cartografía, es importante representar los modelos de datos espaciales en un SIG que simplifique, generalice e incorpore el conjunto de datos imperfectos que nos encontramos; el cual ha ido evolucionando a través del tiempo, mejorando la recolección de datos espaciales (Warf, 2010). Una de las

cuestiones más interesantes de este modelo es que permite medir correlaciones, y se pudo demostrar en un estudio que hicieron en la ciudad de Luján, identificando áreas diferentes y análisis del ordenamiento territorial (Principi & Buzai, 2020).

2.2.6 *Análisis y modelamiento espacial*

El análisis y modelamiento espacial es fundamental en el uso de la información de los sistemas geográficos, también es distinto de otros sistemas ya que este tiene otros rasgos diferenciadores al momento de procesar la información. Para resolver los problemas, preguntas y tareas debemos tener en cuenta que este modelo crea pequeños fragmentos en submodelos para ser analizados de forma individual, seguidamente se deben procesar y resolver el problema original; este análisis se basa en los datos provenientes de otras fuentes no almacenados y datos espaciales, esta herramienta utiliza su sistema de información para analizar imágenes de la realidad y simularlos según datos espaciales en un mapa digital de la misma. Para interactuar en el análisis de esta herramienta es necesario contar con un personal especializado en los distintos temas de que son; gestión de los recursos hídricos, manejo forestal o valoración de tierras (Mendoza & Reyes, 2007).

2.3 Operaciones analíticas en los SIG.

La evolución de los diferentes softwares para el uso de la información de los sistemas geográficos ha sido de forma compleja, en los cuales se incluyen nuevas funciones enfocadas a la entrada y salida de la gestión de datos y las operaciones analíticas, con la finalidad de generar nueva información en las bases de datos, las operaciones extraídas de los SIG van más allá de la información recolectada diferenciándose de otro tipo de consultas que únicamente restauran los datos que ya existen (Warf, 2010).

En este caso la información de los sistemas geográficos se posiciona en la operación ilustrándose en las recodificaciones y consultas de los nuevos aspectos encontradas primeramente en la base de datos. Estos aspectos se asemejan en sus características principales según las normas declaradas por cada usuario o sistema (Warf, 2010). En un trabajo de maestría por (Salamea, 2011), describe que los SIG los crearon para poder facilitar la integración de los datos procesados de manera computarizada, para adquirir la información que se necesitaba en cada estudio. En la figura 10 se pueden apreciar cuáles son los componentes analíticos de los SIG.

Figura 10.

Esquema de Datos Geográficos



Nota. Pasos correctos para poder usar los datos geográficos. Reproducida de (Salamea, 2011).

3 APLICACIÓN DE LOS SIG EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Los sistemas de información geográficos están enfocados en las cuencas hidrológicas para determinar los diferentes tipos de herramientas y sus características fisiográficas, el cual están constituidas por: red de drenaje, forma, pendiente y superficies, etc. También se conforman de otras variables tales como: los balances hidrológicos, gestión hidráulica y planeación, erosión del suelo contaminantes y transportes de sedimentos, zonas de inundación y sequías, fronteras agrícolas, cambios climáticos, deforestación y cambios en los usos del suelo entre otros (Contreras et al. 2016).

- ***Cuencas hidrográficas***

Una cuenca hidrográfica es la limitación de un espacio el cual se encuentra comúnmente en terrenos altos como: colinas, montañas y laderas; en él se forman los drenajes superficiales que dirigen sus aguas a los afluentes más cercanos conduciendo estas aguas al mar y a los ríos (Flores et al. 2003). Los espacios reducidos situados en las partes con baja pendiente de las cuencas también llamadas “zonas de Inter cuencas” son denominadas cuencas de llanos, praderas o pompas, en estas áreas planas de cuencas con extensiones grandes es difícil diferenciar las líneas divisorias de las aguas. Unas de las características de las zonas donde están ubicadas las cuencas está constituida por riquezas naturales que son: agua, suelos, plantas y otros recursos, en estos lugares el ser humano ejecuta sus tareas de infraestructura interviniendo directamente en las cuencas hidrográficas (Jimenez, 2000). Tal y como se muestra en la figura 11 podemos saber cuántos son los tipos de cuencas existentes.

Figura 11.

Clasificación de Cuencas, Subcuencas y Microcuencas

UNIDAD	Nº DE ORDEN	AREA (Km ²)
Microcuenca	1, 2, 3	10 – 500
Subcuenca	4, 5	500 – 2000
Cuenca	6, 7 ó más	Más de 2000

Nota. Tipos de cuencas. Reproducida de (Jimenez, 2000).

Los SIG son los encargados de analizar los procedimientos espaciales de las cuencas ya que esta herramienta sistemática se utiliza para determinar las dimensiones y facilitar los

problemas que se presentan. Teniendo en cuenta este orden de ideas se logró construir el sistema de información geográfico que permitió la posibilidad de interpretar resultados de manera cartográfica, siendo eficaz a la hora de tomar decisiones (Contreras et al. 2016).

3.1 Periodo de retorno

Se refiere a un periodo en el que ocurre un evento con referencia de una determinada magnitud, siendo también lo inverso ya que también puede registrar datos de un evento próximo a ocurrir, tomando en cuenta que los periodos anuales son individuales. Esta teoría la relaciona el experto Ven T. Chow con una fórmula matemática distinta a las que normalmente utilizaba para saber sobre la posible aparición de un evento (Baquero, 2019).

3.2 Modelo digital de elevación

El concepto de modelo de elevación digital es el encargado de tomar la información de los datos referentes a las mediciones de alturas absolutas de un datum generado por un modelo de utilidad. Este modelo es utilizado constantemente en los Estados Unidos detallando como es el arreglo de los valores de los puntos hexagonal o rectangular de elevación categórica y fotogramétricos (Fallas, 2007).

3.3 Modelo digital del terreno

Según Petrie y Kennie (1990) el modelo digital de terreno fue diseñado por Miller y La Flamme, dos Expertos del instituto tecnológico de Massachusetts, finalizando los años 50. Este tiene la función de representar estadísticamente una superficie de un terreno de forma digital mediante la unión infinita de puntos cuyos datos definen por medio de las coordenadas (X, Y, Z). Este modelo está generalizado en el eje Z, insertando su uso en las alturas visualizando los levantamientos topográficos, ríos, cañadas, los paisajes, la pendiente, orientación e intervisibilidad entre otros. También tiene la capacidad de crear sus modelos a través de las

líneas de nivel o de sus datos específicos según las coordenadas (X, Y, Z) (Fallas, 2007). En la figura 11 se observa como es un modelo de terreno en uno del software SIG.

Figura 12

Modelo Digital de Terreno



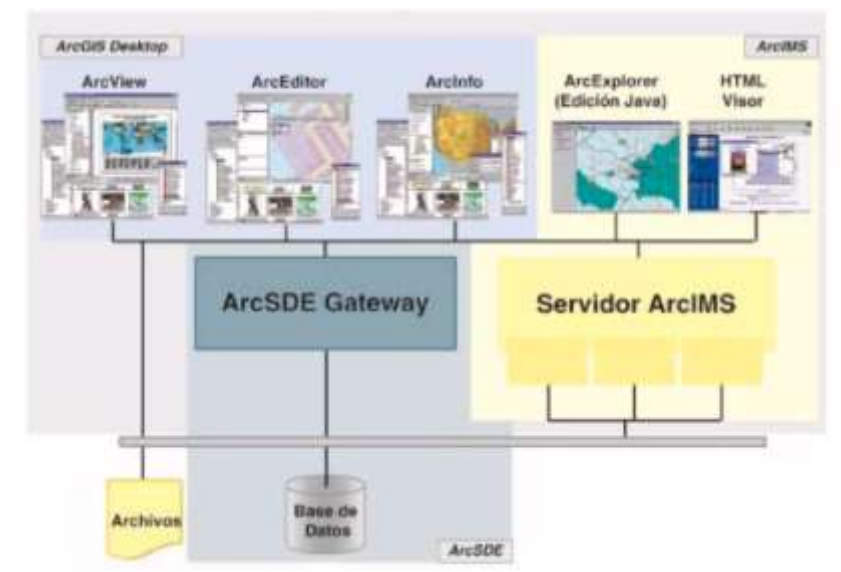
Nota. Bosquejo de un modelo digital de terreno. Reproducida de (Fallas, 2007).

3.4 Tipos de software utilizados en la implementación de los SIG

Hoy en día existen diferentes tipos de tecnologías o software que nos ayudan realizar modelos de elevación digital y almacenar información relevante. Los tipos de software que se implementan son los comerciales y los de códigos abiertos con fácil acceso.

3.4.1 *Software comercial*

3.4.1.1 **ArcGIS™**. El sistema de información geográfica ArcGIS, facilita a los usuarios grupales o individuales a analizar, recopilar, organizar, administrar, compartir y distribuir toda información geográfica almacenada, permitiendo experimentar el aprendizaje de cada uno de los programas de esta familia que está conformado por tres partes fundamentales (ESRI, 2002). En la figura 13 se puede apreciar como las ventanas de los SIG anteriormente.

Figura 13*Sistema ArcGIS*

Nota. Ventanas de los primeros SIG. Reproducida de (ESRI, 2002).

- **ArcGIS™ Desktop:** este software está unificado por múltiples aplicaciones SIG progresistas
- **El software ArcSDE™ Gateway:** utiliza un panel de control de manera concisa de la base de datos geográficos (DBMS).
- **El software ArcIMS:** Es un sistema de información centrado en la web compartiendo servicios y datos.

3.4.1.2 **MapInfo.** Esta herramienta se usa bastante en el entorno de los sistemas de información geográfico para crear mapas temáticos de manera sencillos y complejos, también puede visualizar puntos, regiones gráficas de barra entre otras tareas (Marcoach, 2014). En la figura 14 se puede observar la portada del software.

Figura 14.

Software MapInfo



Nota. Portada de la figura del software MapInfo. Reproducida de (Software, 2020).

3.4.1.3 AgiSoft Metashape. Es un software comercial que trabaja de manera independiente, el cual realiza la recolección fotogramétrica de imágenes digitales, generando con ellas datos espaciales en 3D permitiendo visualizar en diferentes escalas, por medio de nube de puntos los modelos poligonales, ortomosaicos georreferenciados entre otras formas (Roncancio, 2021). En la figura 15 se observa la porta del software anteriormente descrito.

Figura 15

Software AgiSoft Metashape



Nota. Imagen de portada del *Software AgiSoft Metashape*. Reproducida de (www.AgiSoftMetashape.com).

3.4.1.4 **IDRISI**. Está compuesto de un programa de interfaz con diferentes módulos que permiten la visualización, sensores remotos y análisis de la recolección de datos geográficos (Eastman, 2009). Tal y como se muestra en la figura 16 podemos saber cómo es la imagen de porta del software IDRISI.

Figura 16

Software IDRISI



Nota. Imagen de portada del software IDRISI. Reproducida de (www.idrissi.com).

3.4.1.5 **ERDAS**. Es una herramienta que permite realizar estudios y monitoreo de los recursos humanos (Pasada, 2012). En la figura 17 se observa la imagen de portada de este software.

Figura 17

Software ERDAS



Nota. Imagen de portada del software erdas. Reproducida de (www.erdas.com).

3.4.1.6 **MiraMon.** El sistema de información geográfica MiraMoan nos ayuda a visualizar, consultar, editar y examinar las capas ráster, orto fotos y modelo digitales de terreno entre otros (Morales, 2014). La figura 18 nos muestra como es la portada de este software.

Figura 18

Software MiraMon



Nota. Imagen de portada del software Miramon. Reproducida de (www.miramon.com)

3.4.1.7 **Ventajas del software comercial.** El software comercial tiene ventajas de otras herramientas ya que están compuestos de interfaces intuitivas, como son las curvas de aprendizaje poco evidentes y tienen un soporte más amplio compuesto de (bugs, fallos en la aplicación) (Calispa, 2014).

3.4.1.8 **Desventajas del software comercial.** Las desventajas de este software es que suelen ser costosos a la hora de obtenerlos, también que puedan estar desactualizados, no se pueden personalizar y además pueden presentar problemas en la distribución de sus comandos (Calispa, 2014).

3.4.2 *El software de código abierto*

3.4.2.1 **Quantum GIS.** El software de información geográfica Quantum GIS es un software de código abierto que fue creado en mayo del 2002, en la actualidad aún se utiliza como proyecto en SourceForge (Athan et al. 2010). Tal y como podemos observar en la figura 19 de esta forma es la imagen de portadas de este software.

Figura 19

Software Quantum GIS



Nota. Portada del software QGIS. Reproducida de (www.qgis.com).

3.4.2.2 **SavGIS.** Es una herramienta virtual de acceso libre en idiomas (español, inglés, francés), está diseñado para crear alternativas del sistema de información geográficas a científicos, universitarios y personal planificador de las entidades territoriales (Demoraes & Serrano, 2016). La figura 20 nos muestra como es la portada del software SavGis.

Figura 20

Software SavGIS



Nota. Imagen de portada del software SavGis. Reproducida de (www.savgis.com).

3.4.2.3 **HEC-RAS.** Este software es una extensión para ArcGIS diseñado para procesar datos geo-referenciados, modelar los flujos de los cauces naturales, artificiales como también zonas de inundación (Polo, 2024). En la figura 21 se puede apreciar cómo es la portada del software HEC-RAS.

Figura 21

Software HEC-RAS



Nota. Imagen de portada del software HEC-RAS. Reproducida de (www.hec-ras.com).

3.4.2.4 **GvSIG**. Este software de información geográfica fue creado en el 2004 y desde entonces se ha aplicado en el análisis, orientación, edición y representación de la información de datos espaciales (gvSIG, 2015). Tal y como se aprecia en la figura 22 de esta manera es la imagen de portada del software GvSIG.

Figura 22

Software GvSIG



Nota. Portada del software gvSIG. Reproducid de (www.gvsig.com).

3.4.2.5 **Grass**. Este software tiene como función alancear la información recolectada a partir de una proyección cartográfica y fronteras geográficas en directorio que se conoce como “database o GISDBASE” (Martinez, 2005). En la imagen 23 se ve reflejada como es la portada del software.

Figura 23

Software GRASS GIS



Nota. Portada del software GRASS GIS. Reproducida de (www.grassgis.com).

3.4.2.6 **SAGAGIS.** Es una herramienta de fuente libre creada para juntar y unificar una serie de procesos como modelado de servicios y tiempo (Fisher, 2016). En la figura 24 se observa cómo es la portada del software.

Figura 24

software SAGA GIS



Nota. Imagen de portada del Software SAGA GIS. Reproducida de (www.sagagis.com).

3.4.2.7 **Ventajas del software libre.** Estos softwares se pueden encontrar en las plataformas digitales de manera gratuitas o en algunos casos a un bajo costo, su tecnología es independiente y funcionalidad es duradera (Calispa, 2014).

3.4.2.8 **Desventajas del software libre.** Suelen ser software un tanto difíciles de manejar por sus idiomas o por sus interfaces graficas en el desarrollo de sus tareas (Calispa, 2014).

4 IMPLEMENTACIÓN DE LOS SIG EN DISTINTAS CUENCAS

HIDROGRÁFICAS

Para indagar el uso de las diferentes aplicaciones de los sistemas de información geográficas en cuencas hidrográficas, se realizó una búsqueda bibliográfica con diferentes autores en el cual se detalla cómo es la aplicación de los SIG en distintas cuencas; es de vital importancia incluir los diferentes casos de estudios donde se enfatizan como es la aplicación de estos sistemas en los diferentes espacios de estudios.

4.1 Utilización de las herramientas SIG para el estudio de la cuenca hidrográfica del río Timaná, evaluando el riesgo de inundación

En esta revisión hicieron varios estudios con la finalidad de especificar la amenaza de este río en la ruta que conecta el municipio de Altamira con municipio de Timaná-Huila, el cual presenta socavación en la parte lateral de la vía obteniendo parámetros de esfuerzo cortante, manchas de inundación, energía y velocidad, asimismo la profundidad del cauce en distintos periodos de retorno (Alvarez, 2022).

La zona de estudio está ubicada al sur del departamento del Huila, entre los municipios de Timaná y Altamira, el río Timaná es un afluente del río Magdalena que pertenece a las ramificaciones de la cordillera oriental y central, esta cuenca hidrológica tiene una altura mínima de 847 msnm y una altura máxima de 1630 msnm más o menos con una temperatura media de 24°C (Alvarez, 2022). Tal y como se muestra en la figura 25 se puede ver la cuenca de estudio.

Figura 25

Ubicación de Cuenca Timaná



Nota. Imagen de la cuenca de estudio obtenida con el software ArGis. Reproducida de (Alvarez, 2022).

Realizaron estudios en diferentes puntos, teniendo en cuenta la caracterización de la cuenca hidrológica del Río Timaná en el Departamento del Huila, también se hizo un modelado hidráulico de un punto en específico de esta cuenca (Alvarez, 2022). Para realizar los estudios a esta cuenca hidrológica se tuvieron en cuentas diferentes etapas que son:

- **Recolección de la información**

Para estudiar las distintas estaciones pluviométricas, recolectaron información importante del Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM). Correspondiente al área y a las capas (en formato shp) de la cuenca hidrológica del río Timaná, para el revestimiento y utilización de los suelos conforme con la metodología Corine Land Cover (CLC) para Colombia 2010-2012, y la capa (shp) de la geología de

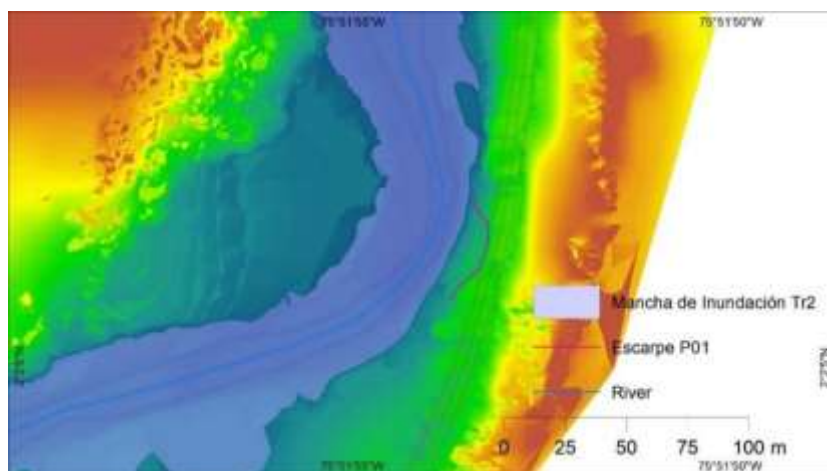
esta zona de estudio del servicio colombiano (SGC). Esta información se obtuvo con drones y topografías a través de encuentros técnicos del equipo de trabajo de la empresa QUASAR ingenieros consultores S.A.S en esta zona de estudio (Alvarez, 2022).

- **Procesamiento de datos**

La información recolectada la organizaron según las incógnitas que obtuvieron a través de los vuelos realizados por los drones, para luego ser procesadas debidamente en el software Agisoft Metashape generando a través de las nubes de puntos una imagen que se puede visualizar en 3D. Teniendo en cuenta que tomaron un modelo digital de terreno para caracterizar la cuenca, de EOS Land Viewer y analizado Arcgis 10.5 desktop, para realizar la creación del despiece de la topografía de cada una de las capas lo realizaron a través del software Arcgis 10.5, donde también crearon el modelo digital de elevación de todos los puntos hidráulicos que luego tuvo que pasar al software HEC-RAS 6.0. Una vez hicieron todos los pasos anteriores procedieron a generar los planos de coberturas, mapas de geología y usos del suelo, pendientes, coeficientes de escorrentía, número de curva, dirección y acumulación del flujo, densidades de flujo para la hidráulica y la hidrología, se obtuvieron también las velocidades, manchas de inundación y esfuerzo cortantes para los diferentes periodos de retorno (2, 50 y 100 años) empleando las coordenadas MAGNA Origen Nacional (CTM12) (Alvarez, 2022). En las siguientes figuras se puede apreciar el periodo de retorno de 2, 50 y 100 años de la cuenca.

Figura 26.

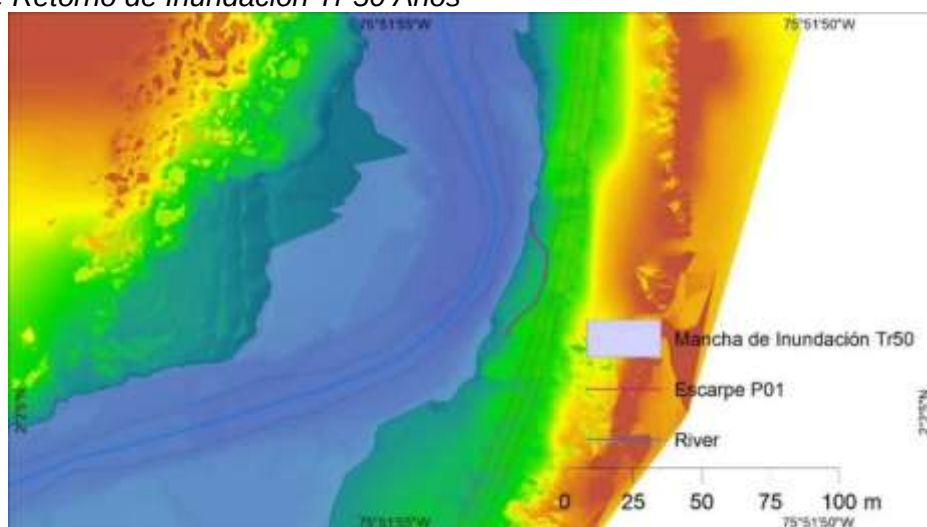
Periodo de Retorno de Inundación Tr 2 Años



Nota. Resultados del procesamiento de datos para un Tr de 2 años. reproducido de (Alvarez, 2022).

Figura 27

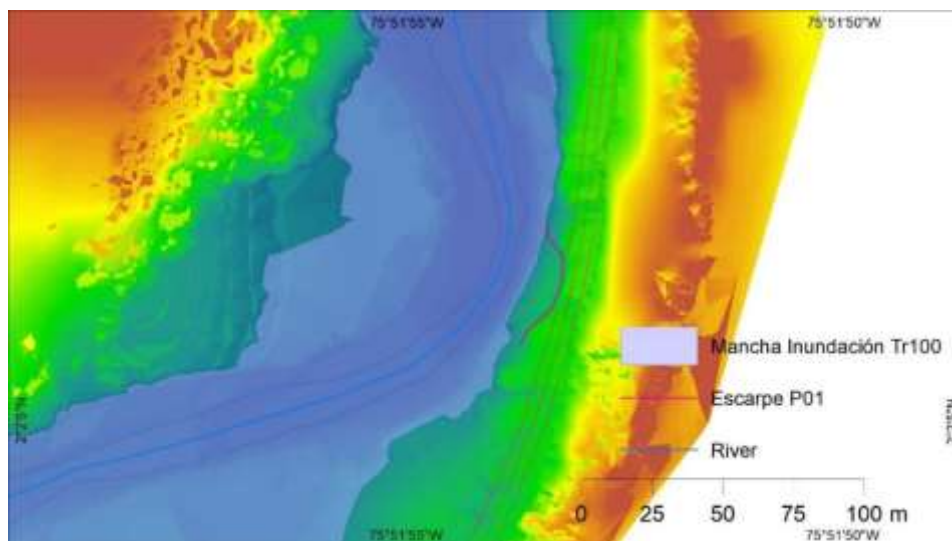
Periodo de Retorno de Inundación Tr 50 Años



Nota. Resultados del procesamiento de datos para un Tr de 50 años. Reproducido de (Alvarez, 2022).

Figura 28

Periodo de Retorno de Inundación Tr 100 Años



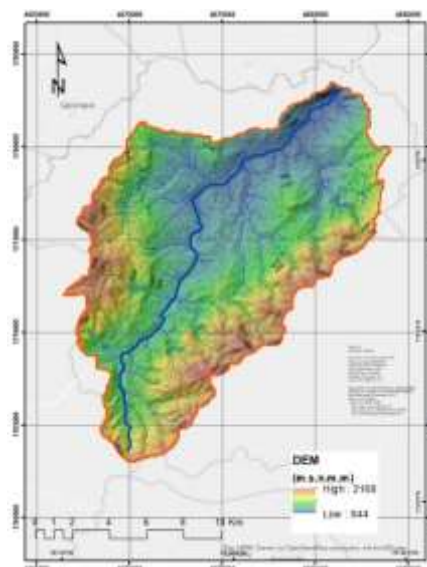
Nota. Resultados del procesamiento de datos para un Tr de 100 años. Reproducido de (Alvarez, 2022).

- **Procesamiento del modelo de elevación digital (MED)**

Asimismo realizaron un modelo de elevación digital (MED) con apoyo del software ArcGis 10.5 desktop, con el que primeramente corrigieron los errores que podía tener el (DEM) con las herramienta “Fill”, siguiendo este proceso obtuvieron el modelo ráster de acumulación del flujo, dirección del flujo y densidades de acumulación del flujo para luego determinar la cuenca y las líneas de drenaje (Alvarez, 2022). En la figura 29 se puede observar el MDE de la cuenca.

Figura 29

Modelo Digital de Elevación de la Cuenca Timaná



Nota. Figura del modelo digital de elevación de cuenta de estudio. Reproducido de (Alvarez, 2022).

- **Coberturas y usos del suelo**

En el estudio realizado a esta cuenca también analizaron los elementos alusivos a la cobertura y usos del suelo, con el propósito de establecer los parámetros requeridos para la estimación de caudal. Esta información la obtuvieron del mapa de coberturas y usos de suelo 2010-2012 Escala 1:1000000 hecho por el IDEAM, IGAC, SINCHI, IAvH, INVEMAR; CORMAGDALENA y la UAESPNN; en el cual se caracteriza el uso del suelo y se describen las coberturas del territorio nacional (Alvarez, 2022). Tal y como se muestra en la figura 30 así se observa un MDE de los suelos de la cuenca.

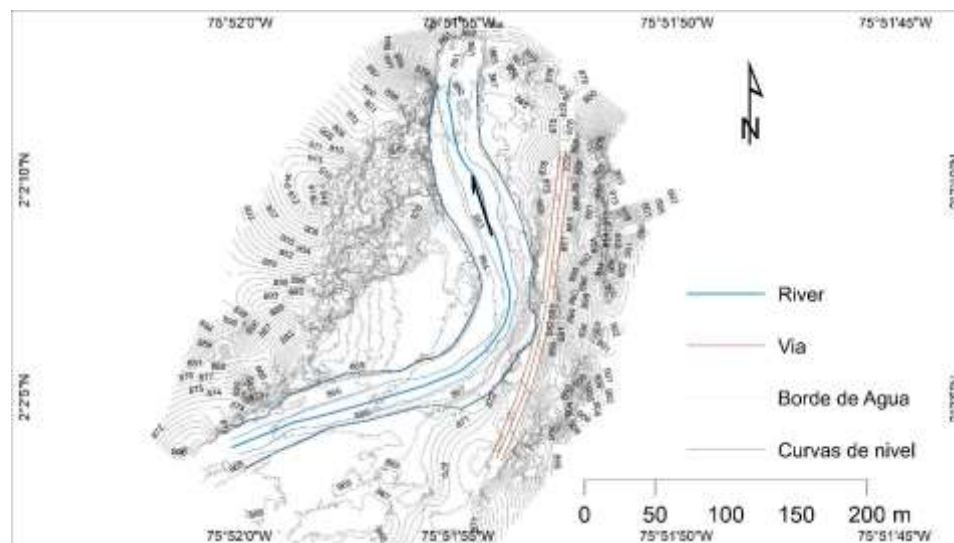
diferentes levantamientos topográficos para extraer las características geométricas, para hacer los estudios pertinentes y desarrollar un modelo de entrada sobre las condiciones del terreno. De este modelo se extrajeron las características tales como: líneas de quiebre, curvas de nivel, estructuras existentes, superficie de agua en momento del levantamiento, entre otros. Una vez ubicados en esta parte del proyecto y con el modelo ya obtenido a partir de la topografía pudieron crear un TIN, con esta información lo que buscaban era determinar el canal, las bancas, Llanura de Inundación (Flowpath) y Secciones transversales (XS Section) (Alvarez, 2022). Tal y como se muestra en las siguientes figuras se observa cual es la problemática de este caso de estudio por medio de levantamientos topográficos.

Figura 31

Pérdida de Banca Producto de la Socavación Lateral



Nota. Pérdida de banca producto de la socavación del río. Reproducida de (Alvarez, 2022).

Figura 32*Levantamiento Topográfico de la Cuenca*

Nota. Levantamiento topográfico de la zona de estudio. Reproducida de (Alvarez, 2022).

- **Estudio de los resultados**

Teniendo en cuenta el software Arcgis 10.5 y HEC-RAS 5.0, pudieron obtener resultados, donde pudieron dar sugerencias y conclusiones más eficientes acerca la amenaza de inundación, identificándolos como puntos críticos sobre el Río Timaná (Alvarez, 2022).

- Unos de los problemas que presenta esta cuenca, tiene que ver con el tipo de litología el cual genera una gran influencia y genera erosiones y volúmenes de sedimentos en el este tipo de suelo.
- El tipo de vegetación que hay en esta cuenca son mosaicos de pastos y cultivos estos ayudan a que el suelo se mantenga fijo, pero a su vez permiten altas probabilidades de erosión y degradación.

- La gran cantidad de aguas en estas zonas planas alrededor del río Timaná hacen que en época de lluvias hallan amenazas de inundaciones.
- Según los resultados de la modelación hidráulica del cauce pudieron determinar la gran amenaza de inundaciones que se pueden presentan de acuerdo con los estudios realizados en los periodos de retorno de 50 y 100 años.
- Teniendo en cuenta los sistemas de información geográfica, pudieron generar recursos cartográficos para los estudios de la cuenca del río Timaná.

- **Recomendaciones**

Conforme a las dificultades de estabilidad que presenta el río Timaná es indispensable adelantar labores de estabilidad de la vía y con ello poder evitar la socavación del río, además proteger la ladera que causo la socavación, revisar constantemente los niveles del río y hacer las protecciones del cauce (Alvarez, 2022).

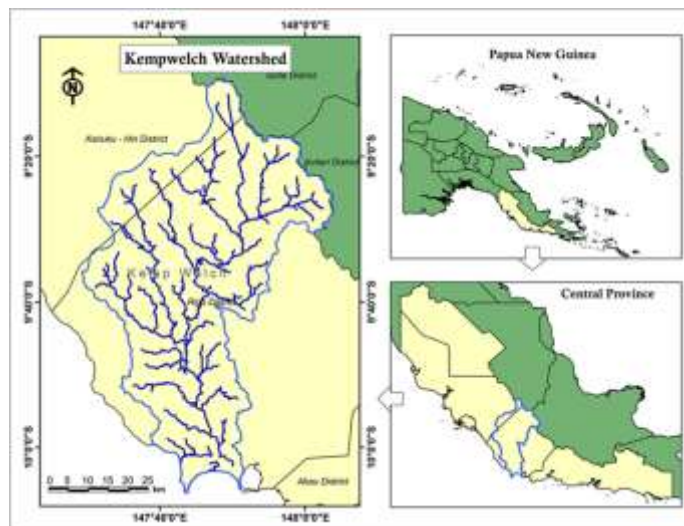
4.2 Enfoque de decisión multicriterio para identificar zonas de vulnerabilidad a inundaciones utilizando tecnología geoespacial en la cuenca Kemp-Welch, Provincia Central, Papua Nueva Guinea

Esta zona de estudio es una provincia central que está localizada en la costa sur de PNG en las coordenadas 9° 30'S, 147° 40'E, con una extensión de 29.998 km². Esta cuenca es conocida como Kemp-Welch y está ubicada en la provincia, entre los distritos de Kairuku-Hiri y

Rigo y alcanza un área de más o menos 3082,34 km² (Morea & Sailesh, 2020). En la figura 33 se puede observar la ubicación de la cuenca Kemp-Welch.

Figura 33

Ubicación de la Cuenca Kemp-Welch



Nota. Imagen satelital de la cuenca de estudio. Reproducida de (Morea & Sailesh, 2020).

- **Metodología de investigación**

Para que pudieran hacer los respectivos estudios en esta cuenca fue necesario que el Departamento de Topografía y Estudios Territoriales suministrara datos complementarios como imágenes de satélite, fotografías aéreas y otros metadatos ya que esta era su fuente confiable como también del Sistema de Información de Recursos de PNG y el Departamento de Teledetección de la UPNG (Morea & Sailesh, 2020).

Así mismo para iniciar con la investigación optaron por escoger nueve parámetros para posteriormente hacer el respectivo estudio y saber cuál era el

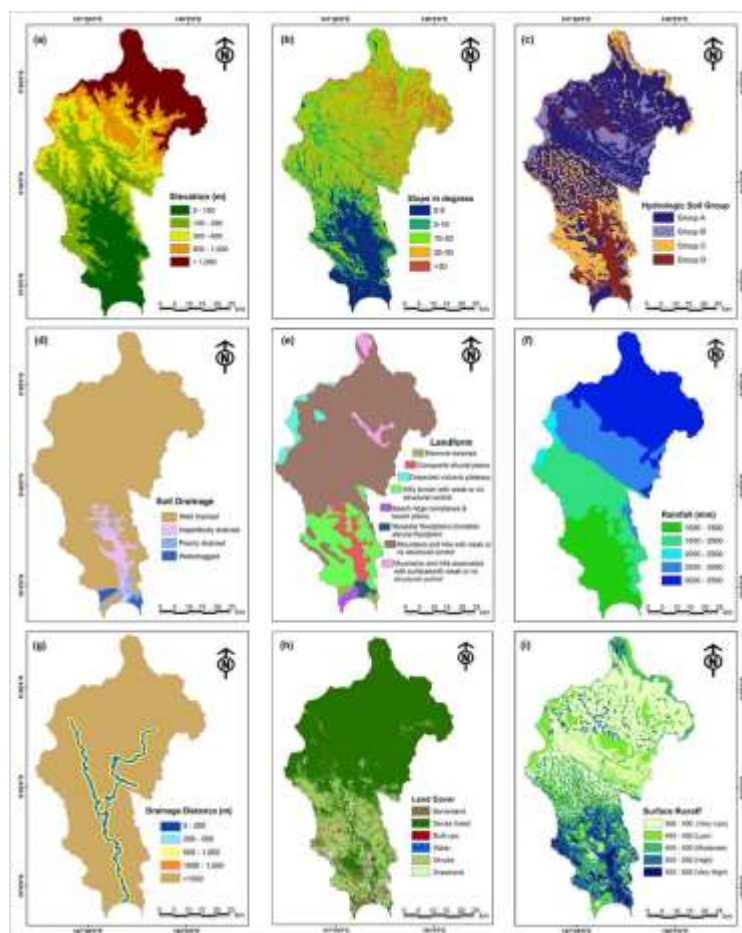
uso/cobertura del suelo, la pendiente, la elevación, la escorrentía superficial, precipitaciones, distancia del río, la textura del suelo, la forma del terreno, el drenaje del suelo. Una vez que tuvieron todos los parámetros ya mencionados, hicieron la mejora y corrección de imágenes el cual es muy importante para poder detectar los errores geométricos y radiométricos, para después poder extraer la información del procesamiento de dato; la imagen del satélite Landsat 8 OLI la mejoraron para que los píxeles y gran parte de los datos sin procesar los pudieran interpretar de la mejor manera. Antes de procesar la imagen satelital de la zona de interés tuvieron que recortar la imagen con la herramienta ArcMap, que a su vez en ella pudieron crear un archivo con la forma del área de estudio (Morea & Sailesh, 2020). Tal y como se observa en la figura 34 son los nueve parámetros evaluados en la cuenca de estudio.

- **Procesamiento de datos**

En esta etapa del estudio hicieron las capas de elevación y pendientes el cual fue extraído del DEM utilizando las herramientas ArcGIS versión 10. También crearon las capas de suelo, relieve con otra herramienta llamada PNRIS por medio de su contenido de metadatos (Morea & Sailesh, 2020).

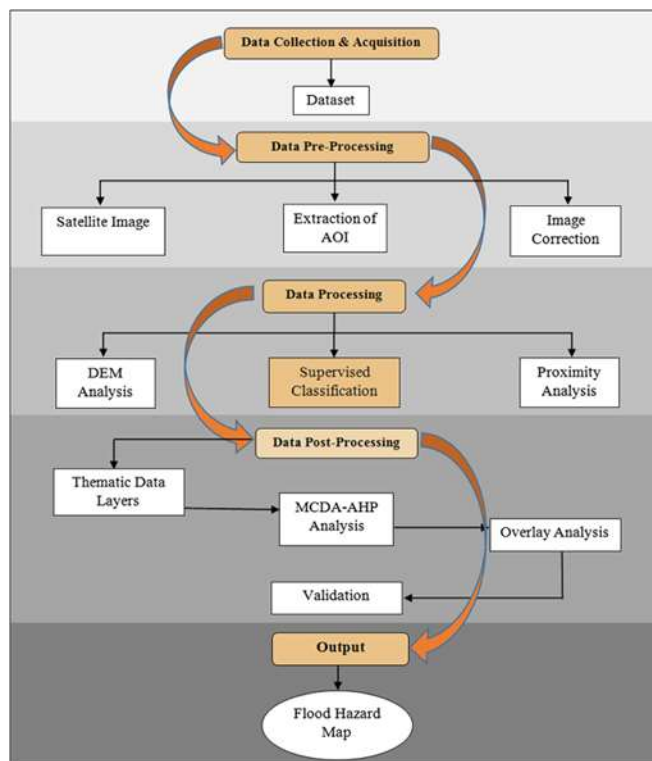
Figura 34

Mapas de los Parámetros de la Cuenca de Estudio



Nota. Parámetros de la cuenca de estudio obtenidos del software PNRIS. Reproducido de (Morea & Sailesh, 2020).

También pudieron clasificar los suelos según su textura dependiendo del grupo hidrológico de los suelos (HSG), pudiendo determinar que los suelos de granos finos presentan una tasa de permeabilidad más alta que los granos de suelos inalterados o voluminosos como suelos del grupo; A, B, C y D (Morea & Sailesh, 2020). En la figura 35 se aprecia el procedimiento que se utilizó para el procesamiento de datos de la cuenca.

Figura 35*Diagrama de Procesos*

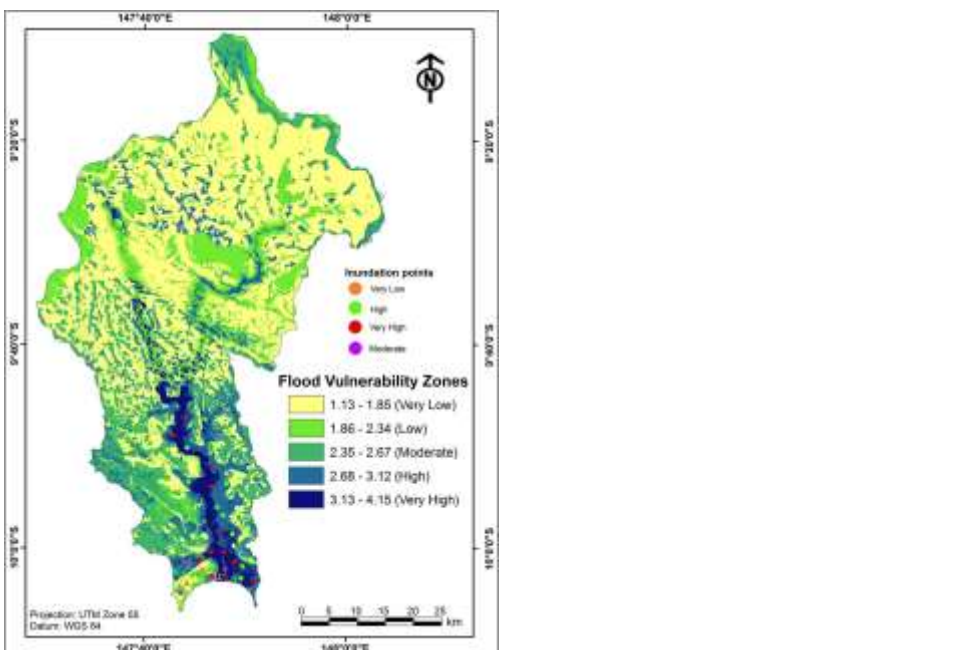
Nota. Procedimiento correcto para extraer los datos de la cuenca de estudio. Reproducida de (Morea & Sailesh, 2020).

Para este estudio tuvieron en cuenta la información de los datos de inundaciones que afectaron esta zona en años anteriores, con cada uno de sus datos como; fechas, ubicaciones espaciales, coordenadas en (X, Y). También tomaron información de PNGRIS para dar validez al mapa de peligro de inundaciones. Esta investigación se hizo con el objetivo de revelar cuáles eran los pueblos, así como las infraestructuras viales que están en amenaza de inundaciones (Morea & Sailesh, 2020).

- **Resultados y discusiones**

Para poder crear los valores de acuerdo con el registro de vulnerabilidad a inundaciones tuvieron que procesar la información en ArcGIS, para asimismo crear un mapa con una resolución de 30 m donde se puede observar esta cuenca con todas áreas expuestas o propensas estas inundaciones que se presentan a través de los años (Morea & Sailesh, 2020).

Con estos resultados pudieron determinar los rangos de inundaciones en la zona de estudio el cual las pudieron clasificar según el método de clasificación de basura natural, de acuerdo el registro de vulnerabilidad las siguientes oscilaciones como son 1.13 (menos vulnerable), 1.85 (muy baja), de 1.86 – 2.34 (baja), 2.35–2.67 (moderado), 2.68–3.12 alta, más de 3.13 muy alta vulnerabilidad y 4.15 (el más vulnerable) (Morea & Sailesh, 2020). En la figura 36 se pueden apreciar las zonas vulnerables de la cuenca de estudio.

Figura 36*Mapa de Zonas Vulnerables*

Nota. En los puntos de rojo se pueden apreciar las zonas más vulnerables a las inundaciones. reproducido de (Morea & Sailesh, 2020).

Teniendo en cuenta los nueve parámetros nombrados en esta investigación se pudieron dar los resultados de este análisis. Sin embargo, también pudieron determinar que las zonas con posibilidades de inundación alta y muy alta están relacionadas con la hidrología de los suelos de los grupos D y C. Estos tipos de suelos presentan una capacidad para dejar infiltrar agua de 0.15 pulgadas/h por lo tanto es más propenso que hallan inundaciones en estas zonas ya que no hay sistemas de drenajes suficientes para dejar evacuar el agua (Morea & Sailesh, 2020).

Las zonas con pendientes menos pronunciadas que van de 0 y 100 m; 100m y 300m son las más analizadas en este estudio, ya que son las que más están afectadas por

la alta escorrentía superficial que circula por estas zonas acumulándose en estas áreas. También analizaron que las zonas que están entre 200m y 500m del río son de las que mayormente son afectadas ya que el agua del río supera su capacidad esta se desborda e inunda estas áreas que las que están más retiradas del río (Morea & Sailesh, 2020).

- **Conclusiones**

Los sistemas de información geográficas se usaron en esta investigación para estimar cuáles eran las zonas de que estaban en amenaza de inundaciones basándose en áreas que han sido afectadas por inundaciones pasadas para que así los encargados de este estudio pudieran ayudar a los planificadores y a los responsables de tomar decisiones a la hora de diseñar las soluciones estructurales y no estructurales para resolver el problema (Morea & Sailesh, 2020).

El hecho de que Papúa Nueva Guinea aun sea un país que aún está en desarrollo, en términos de economía se da un hecho de que aún no se puedan dar las mejores soluciones estructurales para evitar las inundaciones, pero se pueden tomar las acciones necesarias para salvar muchas vidas y evitar daños a las propiedades, la vulnerabilidad de la zona, la población y medio ambiente (Morea & Sailesh, 2020).

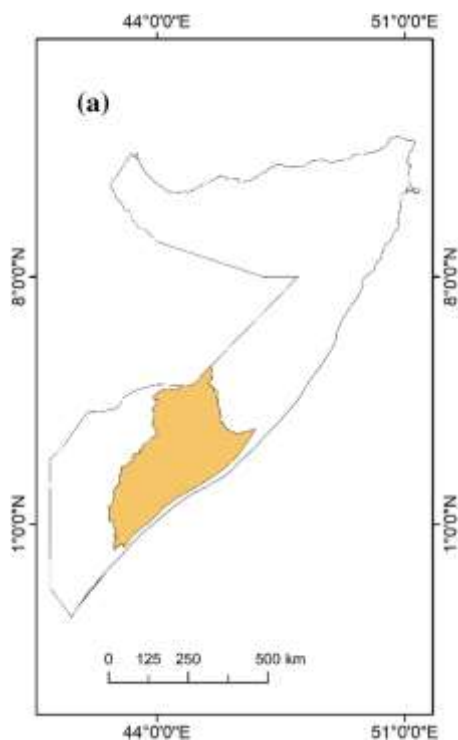
Esta investigación tiene como objetivo reconocer las áreas que estaban en riesgo de inundaciones, el cual la determinaron por medio de la herramienta ArcGIS y una planificación cuidadosa de las zonas con mayor vulnerabilidad a inundaciones que las zonas moderas o muy baja (Morea & Sailesh, 2020).

4.3 Evaluación del riesgo de inundaciones basada en SIG mediante análisis de decisiones multicriterio de la cuenca del río Shebelle en el sur de Somalia

Durante año 1981, las inundaciones en Somalia causaron daños en las infraestructuras y viviendas en este país. Para los años 1997 – 1998 las inundaciones relacionadas con el fenómeno de El Niño causaron afectaciones a una cantidad de más de un millón de personas en el mundo. Seguidamente para los años 2006 – 2007 las inundaciones en Somalia causaron destrucción de viviendas y desplazamientos. Ya para el año 2010 las inundaciones en Somalia en el río Shabelle causaron el desplome del puente Belet Weyne, impidiendo el acceso a diferentes poblaciones del país. La cuenca del río Shebelle (SRB) se encuentra ubicada entre los 2° 00'00"N y 6° 00'00"N, y entre 42° 00'00"E y 48° 00'00"E, en las tierras altas de Etiopía y circula hacia el sureste hacia Somalia, llegando a Mogadiscio, siguiendo las costas debajo de Mogadishu, el río de esta cuenca se vuelve estacional debido a su naturaleza transfronteriza. Este estudio tuvo como objetivo especificar cuáles son las áreas expuestas a inundaciones en la cuenca del río Shebelle en Somalia usando el método AHP fundamentado en los sistemas de información geográfica (Jayanta & Shuayb, 2023). En la figura 37 se pudo observar la ubicación de la cuenca del río Shebelle

Figura 37

Ubicación de la Cuenca del río Shebelle



Nota. Ubicación de la cuenca de estudio. Reproducido de (Jayanta & Shuayb, 2023).

- **Recolección de la información**

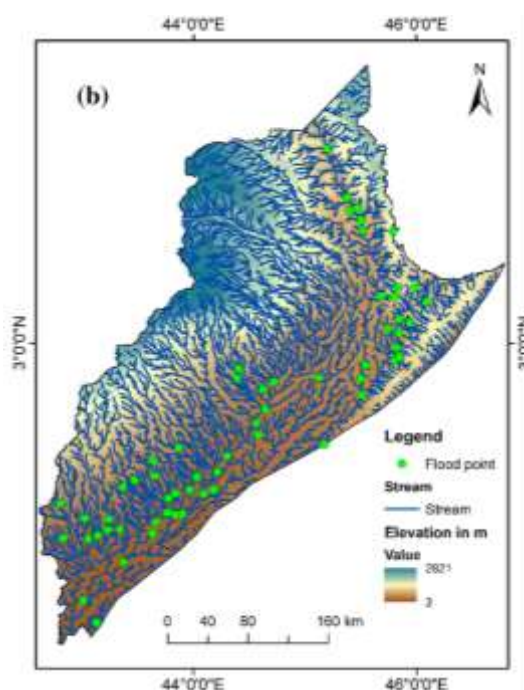
En la obtención de la información tuvieron en cuenta fuentes de datos complementarios extraídos de oficinas como el Ministerio de Energía y Recursos Hídricos, fuentes satelitales de la FAO, SWALIM y USGS. Para poder conseguir los resultados exactos en esta investigación. Para Generar los mapas geoespaciales con vulnerabilidad a amenazas de inundaciones utilizaron dos bases de datos (GMIS y HBASE), con la finalidad de modelar mapas temáticos a través de Arc. GIS (Jayanta & Shuayb, 2023).

- **Mapa de inventario de inundaciones**

Para realizar el mapa del área de estudio se identificaron 59 puntos los cuales los analizaron e hicieron un inventario de las inundaciones del área (Jayanta & Shuayb, 2023). En la figura 38 se observa con claridad las inundaciones de la cuenca.

Figura 38

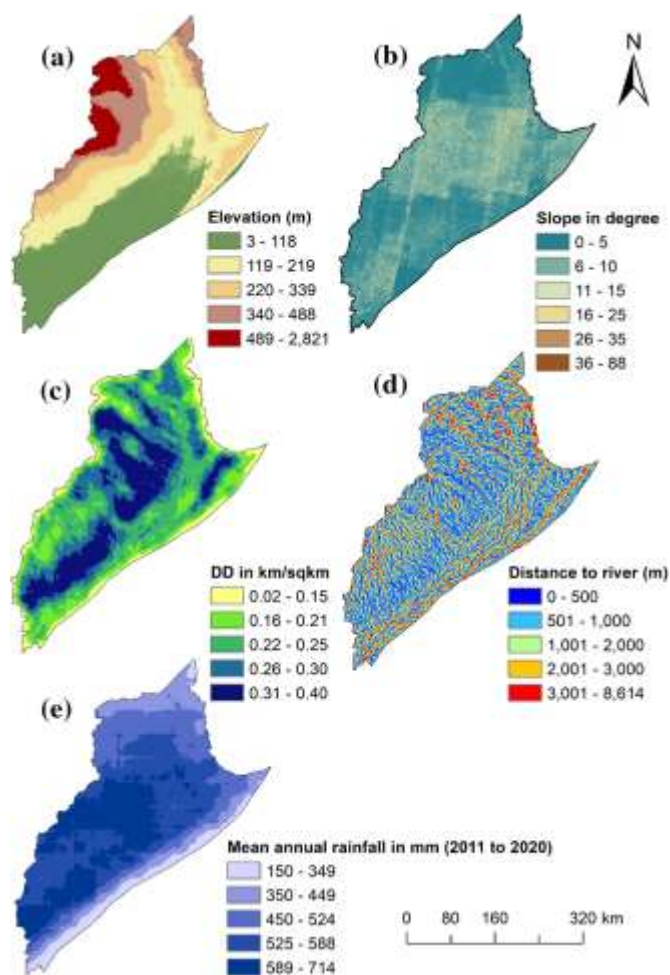
Mapa de Inventario de Inundaciones

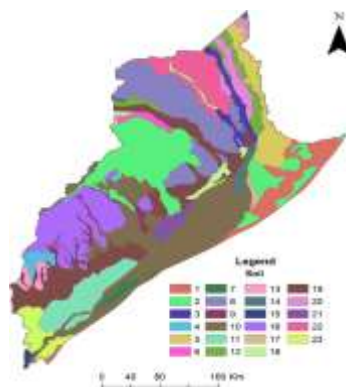


Nota. Inventario de las inundaciones en la cuenca. Reproducida de (Jayanta & Shuayb, 2023).

- **Parámetros de peligro de inundación**

Tiendo en cuenta de que la envergadura de las inundaciones se da por la topografía, por la geología, la textura del suelo y por la ineficiencia de los sistemas de drenaje, consideraron la importancia de 7 como se observan en la figura 39.

Figura 39*Parámetros de Peligro de Inundación*



Nota. Representación espacial ten base a los 6 paramentos importantes de la cuenca.

Reproducida de (Jayanta & Shuayb, 2023).

- **Elevación:** Teniendo en cuenta el plano de elevación, la topografía de la cuenca del río Shebelle que va de 3 a 1821m, pudieron crear el modelo de elevación digital para el análisis en ráster de un SIG, por lo que también pudieron observar que en la parte más alta de la cuenca después de fuertes lluvias se genera una gran escorrentía que provoca inundaciones en la parte más baja generando desbordes del rio (Jayanta & Shuayb, 2023).
- **Pendiente:** Este parámetro tiene un impacto directo la cuenca de estudio ya que está presente en el drenaje, la accesibilidad de escorrentía, esta inclinación altera la velocidad y el volumen de agua que fluye sobre la superficie (Jayanta & Shuayb, 2023).
- **Densidad de drenaje:** Con el uso de una herramienta SIG determinaron la densidad del escurrimiento de la cuenca del río Shebelle además estimaron que tiene 0,40 km/km², lo que señala que la cuenca de estudio es pequeña y no presenta tendencia de sufrir inundaciones, también crearon un mapa el cual lo dividieron en cinco clases según el peligro que van como se muestran en los

siguientes rangos; de (0,31-0,40 km/km²), peligro muy alto, de (0,26-0,30 km/km²) peligro alto, de (0,22-0,25 km/km²) peligro moderado, de (0,16-0,21 km/km²) peligro bajo, y de (0,02– 0,15 km/km²) peligro muy bajo (Jayanta & Shuayb, 2023).

- **Distancia al río:** Este parámetro es crucial para determinar las zonas de inundaciones ya que entre más cerca estén al río es más probable de pueda sufrir por el peligro a inundaciones según el mapa hecho en ArcMap 10.4.1 (Jayanta & Shuayb, 2023).
- **Precipitaciones:** En este estudio con ayuda de la distribución espacial crearon un mapa donde se muestra que la precipitación a largo plazo hace que los ríos se desborden provocando las inundaciones (Jayanta & Shuayb, 2023).
- **Suelo:** Mediante el uso de la herramienta de conversión ArcGIS “To Ráster”, convirtieron las entidades del suelo en una capa ráster y hallaron 23 tipos de suelo en esta cuenca el cual las clasificaron por grado hasta llegar a la inundación de la siguiente manera; escala 1 (Fluvisoles), escala 2 (Vertisoles), escala 3 (Leptosoles, Luvisoles), escala 4 (Nitosoles), y en escala 5 que son (Calcisoles, Cambisoles, Solonchaks) (Jayanta & Shuayb, 2023).
- **Geología:** La geología del área analizada tiene un impacto negativo ya que favorece la presencia de inundaciones, a través de la geología también se puede hacer un monitoreo de las paloinundaciones que pueden usarse para estimar con qué frecuencia ocurren las inundaciones (Jayanta & Shuayb, 2023).

- **Resultados**

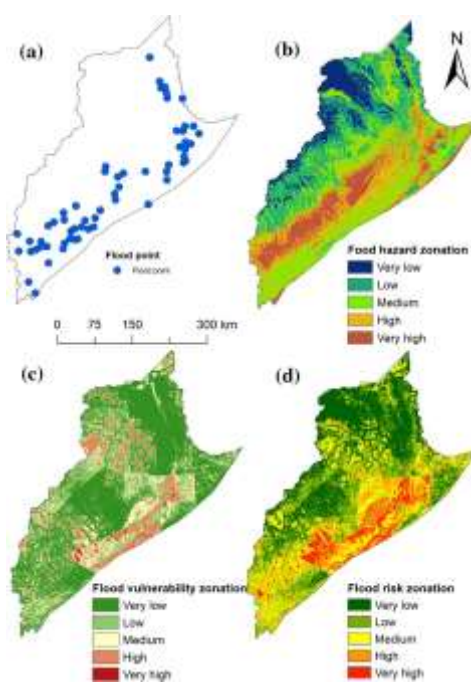
Para dar resultados precisos usaron la herramienta Arc GIS con la cual crearon los mapas de amenazas de inundaciones de la cuenca, además pudieron determinar que es un factor importante para saber cuáles son las zonas vulnerables a inundaciones por medio de la elevación. Así mismo existen también otras características que son importantes para determinar las zonas propensas a inundaciones como son; la pendiente, la distancia ente el río y la zona afectada, la densidad del drenaje, las precipitaciones, la geología y el suelo. Teniendo en cuenta los datos secundarios y con ayuda de la técnica de reclasificación AHP-GIS para crear los mapas de peligro de inundaciones, el cual se clasificó en 5 subcriterios, además pudieron crear un mapa final en que clasificaron las áreas como muy alto, alto, moderado, bajo y muy bajo. Otros parámetros que tuvieron en cuenta para desarrollar el mapa de exposición a las inundaciones son la densidad de la población distancia a la carretera, uso y cobertura del suelo, superficie impermeable hecha por el hombre y las urbanizaciones y asentamientos humanos (Jayanta & Shuayb, 2023).

La finalidad del presente estudio era crear los mapas de zonificación de riesgos de inundaciones (FRZ) que está compuesto por mapas expuestas a inundaciones además el mapa de las zonas vulnerables a inundaciones la cual se puede observar en la ilustración c el cual fue crearon con la herramienta AHP-GIS que abarca 5 niveles que se extienden desde muy bajo hasta muy alto determinando que las zonas más vulnerables con amenazas de inundaciones son zonas costeras y se encuentran en especialmente en los distritos de Jilib, Baraawe, Marka y Wanlaweyne. En los resultados del río Shebelle obtenido del AHP con la ayuda de la herramienta ROC-AUC la cual la usaron para verificar la zonificación del riesgo de inundaciones (FRZ) con los 59 puntos de amenaza de inundación utilizando la herramienta ArcSDM en el

software ArcGIS. Todo esto lo hicieron para para poder obtener un buen resultado del modelo realizado el cual tuvo como resultado una buena precisión (Jayanta & Shuayb, 2023). Tal y como se observa en la figura 40 se obtuvieron los resultados de las amenazas de inundaciones de la cuenca

Figura 40

Mapas de Amenazas de Inundaciones



Nota. Resultados obtenidos de la cuenca de estudio. Reproducida de (Jayanta & Shuayb, 2023).

5 CONCLUSIONES

La investigación realizada ha permitido comprender cómo los SIG son herramientas efectivas para visualizar y analizar las problemáticas presentes en las cuencas hidrográficas. Como conclusión, se pudieron identificar las altas probabilidades de inundaciones en época de lluvias en las zonas planas que rodean el río Timaná. En este caso de estudio, se hicieron recomendaciones acerca de las actividades que pueden llevarse a cabo para estabilizar la vía, previniendo que el río siga socavando esta importante vía y afectando las laderas. Es importante que monitoreen los niveles del río para poder proteger la cuenca.

En conclusión, el estudio utilizó un enfoque de decisión multicriterio y tecnología geoespacial para identificar las zonas de vulnerabilidad a inundaciones en la cuenca Kemp-Welch, Provincia Central de Papua Nueva Guinea. Se recopilaron datos complementarios, como imágenes de satélite y fotografías aéreas, y se seleccionaron nueve parámetros para el análisis, que incluyeron el uso del suelo, la pendiente, la elevación, la escorrentía superficial, las precipitaciones, la distancia al río, la textura del suelo, la forma del terreno y el drenaje del suelo.

Los resultados mostraron áreas de diferentes niveles de vulnerabilidad a las inundaciones, clasificadas según el método de clasificación de base natural. Las zonas con suelos de los grupos D y C fueron identificadas como más propensas a las inundaciones debido a su capacidad limitada de infiltración y drenaje insuficiente. Las zonas cercanas al río y con pendientes menos pronunciadas también presentaron mayor riesgo de inundación debido a la alta escorrentía superficial y el desbordamiento del río.

Las inundaciones han sido un problema recurrente en Somalia, causando daños significativos en infraestructuras y viviendas a lo largo de los años, es por eso que se optó por usar los SIG y análisis de decisiones multicriterio, en particular el método AHP (Analytic

Hierarchy Process), es efectivo para evaluar y zonificar el riesgo de inundaciones en la cuenca del río Shebelle. Se crearon mapas geospaciales utilizando bases de datos como GMIS y HBASE, y se utilizaron herramientas de análisis espacial en ArcGIS para modelar y visualizar las áreas expuestas a inundaciones. Los resultados mostraron que la elevación es un factor importante en la determinación de las zonas vulnerables a las inundaciones. Otros factores, como la pendiente, la distancia al río, la densidad de drenaje, las precipitaciones, la geología y el suelo, también desempeñan un papel significativo.

Las cosas más importantes que están sujetas en la implementación de los SIG aplicados a las cuencas hidrográficas son: la capacidad que tienen para facilitarnos la vida al momento de extraer información acerca del análisis espacial, la gestión de datos y el modelado hidrológico. Con respecto a innovaciones y trabajos futuros, Se pretende que los SIG sigan evolucionando y aportando información precisa para determinar por medio de tecnologías de teledetección, como satélites y drones, para monitorear cambios en el terreno y la vegetación que puedan afectar la escorrentía y la dirección del flujo en una cuenca, con esto para poder realizar un diseño optimo que nos permita prevenir inundaciones en zonas afectadas con anticipación antes de que ocurran desgracias y daños irreversibles.

6 BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, R. M. (2022). *IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y EL ANÁLISIS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN*. Manizales.

Obtenido de

https://repositorio.ucaldas.edu.co/bitstream/handle/ucaldas/17496/Manuela_AlvarezRincon_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Athan et al. T. (2010). *MANUAL DE USUARIO – QUANTUM GIS v. 1.6.0*. Guatemala:

Quantum GIS Development Team. Obtenido de

https://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.6.0_user_guide_es.pdf

Calispa, M. (2014). *Sistemas de información geográfica*. Colombia: Facultad de ingeniería civil y ambiental.

Casasnovas, M. J. (1998). *Suelo-Paisaje-Erosión. Erosión por cárcavas y barrancos en el Alt*

Penedès – Anoia (Cataluña). Anoia (Cataluña). Obtenido de

<https://es.scribd.com/document/401739324/Martinez1998-pdf>

Contreras et al. U. R. (2016). Sistemas de Información Geográfica vía Internet, para el manejo de cuencas y los desastres naturales. *Reaxion*, 5-12.

DANE. (Mayo de 2021). *Dirección de censos y demografía (DCD)*.

Demoraes & Serrano, F. T. (2016). *Capacitación - Iniciación al uso de SavGIS© para la elaboración de mapas temáticos*. Brasil: eectureType_7. Obtenido de

<https://hal.science/cel->

01282038/file/Demoraes_Serrano_2009_Iniciacion_uso_SavGIS_ANR_METAL_Sao_Paulo_Instituto_Polis.pdf

Eastman, J. R. (2009). *IDRISI Taiga Guide to GIS and Image Processing*. IDRISI Production.

Obtenido de <https://web.pdx.edu/~nauna/resources/TaigaManual.pdf>

ESRI. (2002). *¿Qué es ArcGIS™?* New York : Redlands. Obtenido de

https://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_/what-is-arcgis-spanish.pdf

Fallas, J. (2007). Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones. 5-6.

Fernanda Julia Gaspari, A. M. (2019). *Manejo de cuencas hidrográficas*. universidal de la plata.

Fisher, R. (2016). Travel time analysis tools for SAGA GIS. *Wordpress.*, 1 - 8. Obtenido de

https://rohanfisher.files.wordpress.com/2015/10/travel-time-analysis-in-saga-gis_feb2016.pdf

Flores et al. M. M. (2003). Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca hidrográfica de Tepatitlán, jalisco, Mexico. *Terra Latinoamericana*.

Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57315595010.pdf>

Gomes & Barredo, M. D. (2005). *Sistema de informacion geografica y evaluacion multicriterio en la ordenacion del territorio*. Mexico: 2. Obtenido de <http://www.alfaomega.com.mx>

Goodchild, & Haining, M. F. (2005). SIG y análisis espacial de datos: perspectivas.

Investigaciones Regionales, 4-28. Obtenido de

<https://www.redalyc.org/pdf/289/28900609.pdf>

Guinau, S. M. (27 de Septiembre de 2023). *Dipòsit Digital de la Universitat de Barcelona*.

Obtenido de Dipòsit Digital de la Universitat de Barcelona:

<https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/202230>

gvSIG, A. (2015). *Manual de usuario: gvSIG 2.2*. Valencia - España. Obtenido de

<https://downloads.gvsig.org/download/gvsig-desktop/dists/2.2.0/docs/gvsig-2.2.0-doc-0.1.0-es.pdf>

Jayanta & Shuayb, D. A. (2023). Evaluación del riesgo de inundaciones basada en SIG mediante análisis de decisiones multicriterio de la cuenca del río Shebelle en el sur de Somalia.

Springer. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05360-5>

Jimenez, F. J. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Turrialba, Costa Rica: Centro agronomico tropica de investigación y enseñanza.

Marcoach. (2014). *Geologia y mapas un mundo de mapas*. Obtenido de

<https://geologiaymapas.com/2014/05/que-es-mapinfo/#>

Martinez, G. (2005). *GRASS 6: Una guía de inicio*. Merida - Venezuela: Universidad de Los Andes, de Mérida. Obtenido de [https://neteler.org/wp-](https://neteler.org/wp-content/uploads/neteler/osg05/neteler_grass6_nutshell2005_spanish.pdf)

[content/uploads/neteler/osg05/neteler_grass6_nutshell2005_spanish.pdf](https://neteler.org/wp-content/uploads/neteler/osg05/neteler_grass6_nutshell2005_spanish.pdf)

Mena et al. O. R. (2008). Exactitud espacial en la creación de bases de datos SIG. *Ingeniare*.

Revista Chilena de Ingeniería, 4-11. Obtenido de

<https://www.redalyc.org/pdf/772/77216205.pdf>

Mendoza & Reyes, M. E. (2007). Los sistemas de información geográfica. *ResearchGate*, 18.

Obtenido de

<file:///C:/Users/User/Downloads/SIGparamanejadoresderecursosnaturales.pdf>

Morales, A. (2014). *MappingGIS*. Obtenido de <https://mappinggis.com/2014/12/el-software-miramon-cumple-20-anos/>

Morea & Sailesh, H. S. (2020). Enfoque de decisión multicriterio para identificar zonas de vulnerabilidad a inundaciones utilizando tecnología geoespacial en la cuenca Kemp-Welch, Provincia Central, Papua Nueva Guinea. *Springer*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s12518-020-00315-6>

Pasada, E. (2012). *MANUAL DE PRÁCTICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA con el programa ERDAS IMAGINE 2011*. Bogota D.C: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Obtenido de https://www.un-spider.org/sites/default/files/ManualERDAS_web.pdf

Polo, R. (2024). *GEASIG. Especialistas en SIG y Medio Ambiente*. Obtenido de <https://www.geasig.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve/>

Poveda y Pulgarin. (2014). Estimación de curvas IDF basadas en las propiedades de escala de la lluvia. *ResearchGate*, 2-12. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/237046111>

Principi & Buzai, N. C. (2020). Análisis espacial de la vulnerabilidad socioeconómica de la ciudad de Luján (Argentina): interpretación modelística a partir de su mapa social para la identificación de áreas prioritarias de planificación. *Repositorio Institucional CONICET Digital*. Obtenido de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/169016>

Ramirez y Baquero. (2019). *EVALUACIÓN DEL CONCEPTO DE PERIODO DE RETORNO Y DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE EVENTOS EXTREMOS BAJO CONDICIONES NO ESTACIONARIAS*. Bogota D.C: Trabajo de Grado Universidad Santo Tomas.

Obtenido de

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15602/2019williambaquero.pdf?sequence=1>

Roncancio, A. (2021). *Agisoft Metashape*. UNICISO. Obtenido de

<https://www.portaluniciso.com/info/AGISOFT.pdf>

Saavedra, M. C. (2019). *EL SISTEMA DE INFORMACION INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES DE SANTIAGO DE CALI, INSTRUMENTO DE GESTIÓN PÚBLICA PARA EL PERÍODO 2008 A 2017*. Cali, Colombia: MAESTRIA EN POLITICAS PÚBLICAS, FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ADMINISTRACIÓN, UNIVERSIDAD DEL VALLE.

Salamea, I. (2011). *Introduccion Conceptual a los Sistemas de Informacion Geografica*.

Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32303247/P0_Introduccion_SIG-libre.pdf?1390985752=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIntroduccion_Conceptual_a_los_Sistemas_d.pdf&Expires=1708395185&Signature=Ml12QWnuQb6M~kmLf3HBwcAiUxTv06PQYrgckpNG2x

Software, P. B. (2020). *StatWoyks*. Obtenido de <https://www.statwks.com/products/big-data-analytics-data-science/mapinfo/>

- Varela et al. G. f. (2005). Gestión de tráfico mediante la integración de un GIS con un sistema de navegación realista en 3D. *ResearchGate*, 8.
- Von, H. A. (2006). LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA. *Geoenseñanza*, 9-11.
- Warf, B. (2010). *Diseño SIG*. Enciclopedia de geografía. Obtenido de <https://sk-sagepub-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/reference/geography/n1061.xml>