

Análisis espacial para el manejo eficiente de cuencas hidrográficas mediante la implementación
de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Dexi Yaneth Basto Basto

Director

Oscar Johany Hernández Parada

Ingeniero civil

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Ambiental, Civil y Química

Programa Ingeniería Civil

Pamplona

2024

Análisis espacial para el manejo eficiente de cuencas hidrográficas mediante la
implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Dexi Yaneth Basto Basto

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniera Civil

Director

Oscar Johany Hernández Parada

Ingeniero civil

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Ambiental, Civil y Química

Programa Ingeniería Civil

Pamplona

2024

DEDICATORIA

A Dios primeramente porque me ha brindado la fortaleza, sabiduría y serenidad para afrontar cualquier desafío presente y por permitirme culminar con éxito mi meta personal.

A mi madre Emilce, por ser mi pilar, mi motivación, mi apoyo incondicional y mi amor infinito, su paciencia, esfuerzo, dedicación y amor me han llevado a construir la persona que soy hoy en día. A mis hermanos Mabel y Enrique por ser mi motivación.

A Juli, mi compañero de vida, por estar siempre presente, por apoyarme, creer en mí y vivir esta etapa conmigo.

Tabla de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	12
2.	ANÁLISIS ESPACIAL Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA....	13
2.1.	¿Qué es Análisis Espacial?	13
2.1.1.	Tipos de análisis espacial	13
2.1.2.	Modelo digital de elevación	15
2.2.	¿Qué son los SIG?	15
2.3.	Reseña histórica de los SIG	16
2.4.	SIG'S como integradores de información	18
2.5.	SIG's como integradores de tecnología	18
2.6.	SIG's como integradores de personas	19
2.7.	SIG's como integradores de teorías y fundamentos	19
2.8.	¿Qué no es un SIG?	20
2.9.	Elementos que componen los SIG	21
2.9.1.	Datos.....	21
2.9.2.	Análisis.....	29
2.9.3.	Visualización.....	30
2.9.4.	Tecnología.....	30
2.9.5.	Recurso humano	31
2.10.	Funcionalidades de los SIG	31
2.10.1.	Captura de datos	32
2.10.2.	Almacenamiento.....	32

2.10.3.	Manipulación.....	32
2.10.4.	Salida y presentación.....	32
2.11.	Información que manejan los SIG	32
2.12.	Sistema de coordenadas	33
2.12.1.	Coordenadas geográficas.....	33
2.12.2.	Coordenadas proyectadas	34
2.12.3.	Coordenadas verticales.....	36
2.13.	Programas SIG.....	37
2.14.	Aplicación de los SIG.....	38
3.	CUENCAS HIDROGRÁFICAS	40
3.1.	Definición de cuenca hidrográfica.....	40
3.2.	Ciclo del agua	41
3.2.1.	Evaporación:.....	42
3.2.2.	Precipitación:.....	42
3.2.3.	Infiltración:.....	42
3.2.4.	Escorrentía:.....	42
3.2.5.	Almacenamiento:	43
3.3.	Elementos de una cuenca hidrográfica	43
3.3.1.	Parteaguas o divisoria de aguas.....	43
3.3.2.	Nacimiento o cabecera	43
3.3.3.	Red de drenaje principal.....	43
3.3.4.	Afluentes	43
3.3.5.	Desembocadura	43

3.4.	Cuenca hidrográfica como sistema.....	43
3.5.	Tipos de cuencas.....	44
3.5.1.	Por su tamaño geográfico.....	44
3.5.2.	Por su sitio de desembocadura	45
3.6.	Funciones de las cuencas hidrográficas.....	46
3.6.1.	Funciones ambientales	46
3.6.2.	Funciones socioeconómicas	47
3.6.3.	Función ecológica	47
3.6.4.	Funciones hidrológicas.....	47
3.7.	Morfometría de una cuenca	47
3.7.1.	Parámetros de forma.....	48
3.7.2.	Parámetros de relieve	51
3.7.3.	Parámetros de drenaje	54
3.8.	Manejo de cuencas.....	56
3.9.	Diagnóstico de cuencas hidrográficas	56
3.9.1.	Recopilación de información y reconocimiento del área de estudio.....	57
3.9.2.	Análisis de la información recopilada.....	58
4.	APLICACIÓN DE LOS SIG AL MANEJO EFICIENTE DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	60
4.1.	Beneficios de la utilización de los SIG.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.	Procedimiento general para el manejo de cuencas hidrográficas	60
4.2.1.	Delimitación y caracterización de la cuenca	60
4.2.2.	Recopilación de datos hidrológicos y climáticos	61

4.2.3.	Análisis de vulnerabilidad de riesgos.....	62
4.2.4.	Gestión de recursos hídricos	62
4.2.5.	Monitoreo ambiental y evaluación de impacto	63
4.2.6.	Planificación de restauración y conservación	64
4.2.7.	Educación ambiental	64
5.	DISCUSIÓN	65
6.	CONCLUSIÓN.....	68
7.	REFERENCIAS.....	69

Lista de Tablas

Tabla 1. Comparación de los modelos ráster y vectorial	26
Tabla 2. Clasificación del Coeficiente de Compacidad o Gravelius.....	49
Tabla 3. Clasificación del Índice de Alargamiento.....	50
Tabla 4. Clases de pendiente del cauce (%).....	51
Tabla 5. Relación forma de Horton.....	53
Tabla 6. Factores de densidad de drenaje de cuencas	54

Lista de Figuras

Figura 1. Representación de un mapa generado con SYMAP -----	17
Figura 2. Esquema de una representación ráster de la información contenida en un mapa. -----	23
Figura 3. Representación esquemática en modelo vectorial de la información contenida en un mapa. -----	24
Figura 4. Esquema de un sistema de teledetección -----	28
Figura 5. Coordenadas geográficas. Latitud y longitud -----	34
Figura 6. Tipología de las proyecciones -----	35
Figura 7. Mapa de proyecciones UTM -----	36
Figura 8. Cuenca Hidrográfica -----	40
Figura 9. Ciclo Hidrológico -----	41
Figura 10. Subsistemas componentes del Sistema Cuenca Hidrográfica -----	44
Figura 11. Cuenca Exorreica -----	45
Figura 12. Cuenca Endorreica -----	46
Figura 13. Esquema de cálculo de la longitud axial -----	48
Figura 14. Tipos de curva hipsométrica -----	52

Resumen

Esta monografía aborda el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis espacial y el manejo eficiente de cuencas hidrográficas. Se examinan las principales herramientas y metodologías que permiten la recolección, procesamiento y visualización de datos geoespaciales, facilitando el análisis y la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos. A través de la implementación de SIG, se pueden identificar zonas críticas de la cuenca, evaluar la calidad del agua, monitorizar la erosión del suelo y analizar el uso del suelo, lo que contribuye a un manejo más sostenible y eficiente de los recursos hídricos. Además, se discuten los beneficios y retos de integrar esta tecnología en la gestión de cuencas hidrográficas, destacando su importancia en la planificación territorial, la conservación de ecosistemas y la reducción de riesgos ambientales. Este estudio demuestra cómo los SIG pueden ser una herramienta clave para optimizar la gestión del agua y promover prácticas de desarrollo más sostenible.

Abstrac

This monograph addresses the use of Geographic Information Systems (GIS) for spatial analysis and efficient watershed management. It examines the main tools and methodologies that allow the collection, processing and visualization of geospatial data, facilitating analysis and decision making in water resources management. Through the implementation of GIS, critical areas of the watershed can be identified, water quality can be assessed, soil erosion can be monitored, and land use can be analyzed, contributing to a more sustainable and efficient management of water resources. In addition, the benefits and challenges of integrating this technology into watershed management are discussed, highlighting its importance in territorial planning, ecosystem conservation, and environmental risk reduction. This study demonstrates how GIS can be a key tool for optimizing water management and promoting more sustainable development practices.

1. Introducción

Una cuenca o hoya hidrográfica es una zona geográfica la cual está definida o delimitada por un patrón natural de escurrimiento, en el cual el agua superficial existente fluye hacia la misma salida, que podría ser un río, embalse, el mar o un lago. Estas cuencas comprenden arroyos, ríos y otros depósitos o cuerpos de agua que se encargan de capturar el agua de lluvia y la escorrentía, transportándola a través del paisaje hasta el punto de salida.

La gestión de cuencas hidrográficas es fundamental para administración sostenible de recursos y reservas hídricas, ya que estas áreas geográficas contribuyen en la regulación y equilibrio de los ciclos hidrológicos, además en el mantenimiento de los ecosistemas. Las cuencas hidrográficas funcionan como colectores naturales del agua de lluvia, vital para abastecer ríos, lagos y acuíferos, y, por ende, para el abastecimiento de agua potable para el consumo humano, el riego agrícola y el aprovechamiento energético de fuentes hídricas. En el ámbito de la gestión o manejo de cuencas hidrográficas, la implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha venido convirtiendo en una herramienta esencial para realizar un análisis espacial detallado y eficaz. Estos sistemas permiten integrar y manipular datos geoespaciales, facilitando la visualización de información compleja relacionada con la distribución de recursos hídricos, las características del terreno, la calidad del agua y la gestión del suelo. A través del análisis espacial, los SIG no solo detectan patrones y tendencias clave en la dinámica de las cuencas, sino que también respaldan la toma de acciones y decisiones para la proyección de estrategias de gestión, conservación y restauración.

2. Análisis espacial y Sistemas de Información Geográfica

2.1. ¿Qué es Análisis Espacial?

El análisis espacial es el estudio y la exploración razonada que establece las características, dinámica y comportamiento de diversos procesos en un espacio determinado; definiendo los elementos que lo conforman y la manera como éstos se relacionan, con la finalidad de poder transformar los datos en información que sirva de apoyo para la formulación de propuestas y alternativas, encaminadas a favorecer el entorno espacial estudiado proporcionando una explicación objetiva de la dinámica espacial, basándose en los datos cuantitativos y cualitativos.(Lilia Ojeda Toche & Lizbeth Tovar Plata, 2016)

El análisis espacial se enfoca en estudiar los componentes del espacio de manera independiente, identificando sus aspectos fundamentales y su comportamiento en determinadas condiciones específicas. Para lograr esto utiliza un conjunto de herramientas técnicas las cuales, debido a su naturaleza, solo pueden abordar una parte del proceso evolutivo del espacio, pero no su totalidad.

2.1.1. Tipos de análisis espacial

Existen diversos procedimientos que nos permiten dar soluciones a cuestionamientos en cuanto al análisis de datos espaciales

- Consultas espaciales

Proporciona información inmediata de una base de datos, este procedimiento es esencial para analizar, visualizar y gestionar información geográfica de manera eficiente. Una consulta espacial puede encontrar qué puntos están contenidos dentro de un polígono o conjunto de polígonos, encontrar entidades dentro de una distancia especificada de una entidad, o encontrar entidades que son adyacentes entre sí.(Esri, 2024)

- Análisis topológico

Un modelo de datos topológico analiza la interacción, conectividad, contigüidad y relaciones espaciales entre objetos geográficos representados como un gráfico de primitivas topológicas.

- Medición

Se logran obtener otras características como área, perímetro, factores de forma, entre otros, utilizando los sistemas de información geográfica se miden y analizan referencias espaciales.

- Combinación y superposición de capas

El principio de la combinación y superposición espacial es comparar las características de la misma ubicación en ambas capas de datos y producir un resultado para cada ubicación en la capa de datos de salida. El resultado esperado lo determina el usuario.

- Transformaciones

Las transformaciones de datos espaciales se refieren a cambios realizados en la ubicación, forma, tamaño u orientación de los datos geoespaciales. Estos cambios pueden incluir rotaciones, traslaciones, escalados, proyecciones cartográficas, entre otros. Estas transformaciones son fundamentales en el análisis, interpretación y visualización de datos espaciales para poder interpretar la información de manera más efectiva.

- Análisis de superficies

El análisis de superficies estudia características y propiedades de las superficies en diferentes contextos. Este análisis puede medir pendientes, identificar modelos digitales de elevación y detectar cambios en la superficie con el tiempo, entre otros aspectos.

2.1.2. Modelo digital de elevación

Es un modelo o representación digital del relieve de la superficie terrestre, generada a partir de datos de elevación. Esta representación se puede realizar a partir de la recolección de datos de fotogrametría aérea para realizar modelos en 3D del terreno, mediante tecnología LIDAR la cual se basa en el empleo de láseres que permiten tomar medidas y modelar, mediante satélites y topografía tradicional.

Un modelo digital de elevaciones (MDE) se define como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno.(Felicísimo, s. f.)

Existen dos tipos de MDE:

Modelo digital de terreno (MDT)

Representación del terreno después de eliminar elementos extraños a el como lo son la vegetación, edificación y demás.

Modelo digital de superficie (MDS)

Es un modelo o representación de la superficie terrestre y comprende todos los elementos presentes sobre ella.

2.2. ¿Qué son los SIG?

Los sistemas de información geográfica son herramientas tecnológicas las cuales hacen posible visualizar, interpretar y analizar datos espaciales que suministran información sobre ubicaciones geográficas facilitando la comprensión de los mismos y de posibles patrones mediante el manejo de aspectos climáticos, topográficos, demográficos, entre otros.

La entrada de información a un SIG se hace a partir de imágenes, tablas, información digital lo cual ya con el debido procesamiento obtenemos los resultado o salidas graficas como

mapas. Estas salidas graficas lo que nos permiten es tomar decisiones, comunicar ideas, conceptos, planes y diseños para solucionar un problema específico.(Rangel Cañizares, 2019)

Los SIG se definen como un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas. En otras palabras, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos georreferenciados, como un conjunto de operaciones para trabajar con esos datos. En cierto modo, un SIG es un mapa de orden superior.(Olaya, 2014)

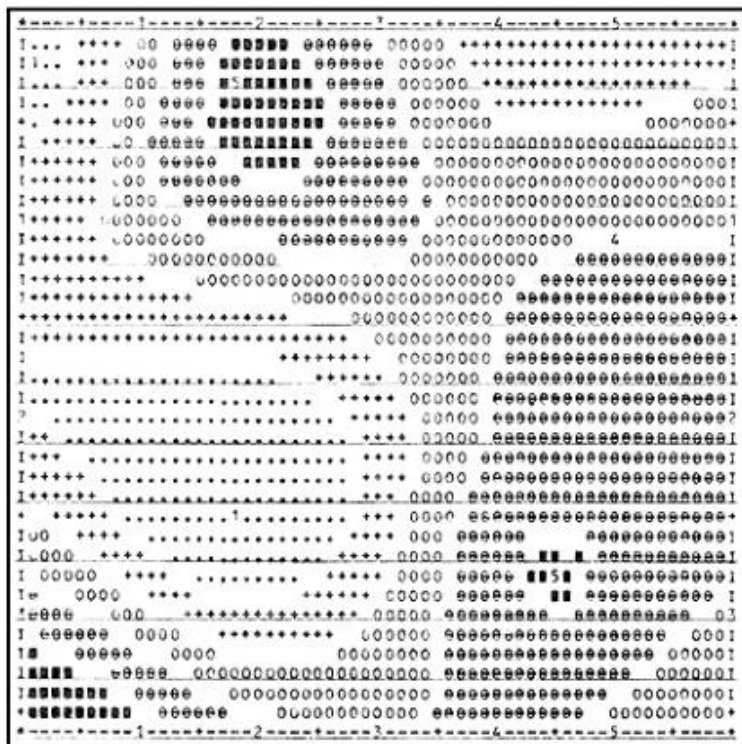
2.3. Reseña histórica de los SIG

El inicio de los sistemas de información geográfica se remonta a la década de 1960, con la aparición de la llamada segunda generación de ordenadores y con la aparición de conceptos de geografía cuantitativa y computacional; en el año 1963 Tomlinson creó un sistema computarizado avanzado para gestionar extensas cantidades de información, facilitando así el inicio del programa nacional de gestión del uso del suelo en Canadá y fue Tomlinson quien le dio nombre a los SIG.

En 1964, Howard Fisher creó uno de los primeros programas de software para el modelamiento cartográfico mediante computadora., conocido como SYMAP (Synagraphic Mapping Technique), una aplicación que permitía la entrada de información en forma de puntos, líneas y áreas, lo cual se corresponde a grandes rasgos con el enfoque que conocemos hoy en día como vectorial.(Olaya, 2014)

Figura 1.

Representación de un mapa generado con SYMAP



Fuente. (Olaya, 2014)

En 1969, Jack Dangermond, junto con su esposa Laura fundaron la consultoría Environmental Systems Research Institute (ESRI) la cual utilizó la cartografía digital y el uso de herramientas computacionales para realizar análisis espaciales que apoyen a los planificadores del uso del suelo y a los responsables de la gestión de recursos del mismo en la toma de decisiones sustentadas en evidencias.

Debido al alto reconocimiento académico ESRI desarrollo su primer producto del mercado ARC/INFO, donde mejora la capacidad de analizar proyectos y de manera más eficaz e inicia su comercialización en 1981 y desde entonces hubo una evolución considerable lo que llevo a que ESRI se convirtiera en una empresa de software.

En la actualidad su tecnología se emplea en diversas industrias como la gestión ambiental, la proyección urbana y la atención en situaciones de emergencia, los SIG facilitan el intercambio de datos, permiten a las personas crear sus propios mapas digitales y con el continuo avance de la tecnología, el surgimiento y utilización del GPS (Global Positioning System), el internet y telefonía móvil, se ha facilitado el desarrollo de aplicaciones mediante el manejo de datos basado en objetos y distribución descentralizada de la información en bases de datos.

2.4. SIG'S como integradores de información

La implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como integradores de información en el manejo de cuencas hidrográficas se destaca por su capacidad de consolidar y interpretar datos provenientes de diversas fuentes.

La información que los SIG's manejan tiene una orientación desde diferentes tipos de perspectiva lo cual dependen de la relevancia que se le pueden dar y las características de estos mismo. La principal parte de la integración de los SIG, consisten conceptualmente en la información geográfica la cual se trabaja.(Camacho, 2019)

2.5. SIG's como integradores de tecnología

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) no solo integran datos, sino también tecnologías diversas. El papel integrador de los SIG hace que sean la herramienta elegida para la gestión de resultados y elementos producidos por otras tecnologías, muchas de las cuales se encuentran actualmente en pleno desarrollo.(Olaya, 2014)

El notable crecimiento y desarrollo en diversas disciplinas ha incrementado el conocimiento sobre la relevancia de los sistemas de información geográfica (SIG) y sus diferentes funciones. La mayoría de las tecnologías operativas en el ámbito de los SIG se están

enfocando en la ventaja que proporciona la información espacial, aprovechando la conexión con los SIG para expandir sus capacidades y alcances.

2.6. SIG's como integradores de personas

Se sabe que la información georreferenciada suele ser extensa y diversa, lo que permite que muchas personas de distintos campos la utilicen. Por lo tanto, un SIG puede ser empleado por una variedad de usuarios para trabajar con dicha información. La presencia de los SIG como portal de accesibilidad a estos datos se considera un factor común para todos estos usuarios y, además, un Sistema de Información Geográfica desempeña su rol de integrador tanto a nivel profesional como nivel humano.

Con la aparición de los SIG, todos los profesionales dentro de esa cadena que va desde la creación del dato hasta las operaciones finales que se realizan sobre estos tienen una herramienta común de trabajo, pues un SIG puede utilizarse para desarrollar parcial o totalmente las tareas correspondientes a cada uno de ellos.(Olaya, 2014)

2.7. SIG's como integradores de teorías y fundamentos

Desde una perspectiva básica, podemos considerar a un SIG como la convergencia de dos disciplinas: la geografía y la informática. En este sentido, un SIG se percibe como una herramienta informática destinada a facilitar el trabajo en el campo de la geografía, el cual los define no solamente en la fundamentación descriptiva y de soporte a sus elementos, sino que también entender las características fundamentales. Por esta razón muchas disciplinas participan interactivamente en el ámbito de los SIG's, ya que son primordiales en el estudio de los componentes como las tecnologías.(Camacho, 2019)

2.8. ¿Qué no es un SIG?

Hay otras tecnologías que pueden utilizar la información geográfica directamente y aprovecharla de maneras diferentes. A medida que se ha ido redefiniendo el concepto de SIG, muchos elementos han ido entrando en el amplio paraguas actual del SIG, así como distintas disciplinas, según hemos visto y veremos más adelante. No obstante, esas propias disciplinas no han desaparecido como tales, y siguen existiendo de forma autónoma. Y cada una de ellas dispone de sus propias herramientas, las cuales pueden incluir también tecnologías o sistemas más complejos similares a los SIG pero con un enfoque distinto.(Olaya, 2014)

- CAD (Diseño Asistido por Ordenador): diseñado para modelar algo que aun no existe, almacena datos como dibujo ya que este es su enfoque fundamental. No está diseñado para manejar datos que abarquen superficies tan extensas como las de un país, un continente o todo el planeta.
- AM/FM (Automated Mapping/Facilities Management): Se refieren a aplicaciones creadas para la administración de infraestructuras, generalmente de carácter público, como redes de alcantarillado, tuberías de gas o carreteras, entre otras.

Las aplicaciones empleadas para estas tareas tienen dos bloques básicos: un bloque gráfico de visualización y otro de gestión de datos. Este último almacena los atributos asociados a los elementos gráficos, que son principalmente de tipo lineal.(Olaya, 2014)

Estas aplicaciones son un subconjunto de los SIG con funciones principales más limitadas de estos, con menos alcance. De algún modo, las aplicaciones AM/FM son similares a las aplicaciones CAD, se destacan en la parte visual de la información geográfica utilizada.

2.9. Elementos que componen los SIG

Un sistema de información geográfica está formado por diferentes elementos que trabajan juntos para alcanzar un objetivo común. Los componentes más relevantes son:

2.9.1. Datos

Estos datos son el elemento clave y la base inicial para la realización de análisis e interpretación con los SIG, los se obtienen mediante GPS, fotografías, archivos CAD, sensores remotos, etc. Es necesario que estos datos sean confiables para abordar correctamente los problemas existentes y responder preguntas de manera efectiva y precisa.

Es necesario conocer las características fundamentales del dato geográfico que utilizamos en un SIG, es decir, su forma y sus propiedades. De ellas dependen, por ejemplo, los procesos que podremos o no realizar con los datos, y en general todo cuanto podemos esperar de ellos. (Olaya, 2014)

Aunque el componente espacial generalmente se expresa como un valor numérico ya que el sistema de coordenadas permite expresar una ubicación específica con esta estructura, esta componente espacial puede ser de tipos:

- **Númerica:** esta componente a su vez es nominal de tipo cualitativo, ordinal ya que la representación numérica cuenta con un orden específico, intervalos y razones ya que las discrepancias entre los valores de la variable son significativas.
- **Alfanumérica:** el tipo de variable condiciona las operaciones que pueden realizarse con un dato geográfico en función de cómo sea su componente temática. Por ejemplo, carece sentido realizar operaciones aritméticas con variables de tipo ordinal o nominal, mientras que es perfectamente lógico con los restantes tipos dentro de la categoría numérica. (Olaya, 2014)

Tipos de datos

Se puede señalar que el equivalente digital a un mapa topográfico, de papel, es un conjunto de capas (temas o coberturas) y un conjunto de gráficos (textos, leyendas y marcos). Cada capa de información de un mapa presenta información sobre un aspecto del territorio que interesa conocer. (Seco, 2010)

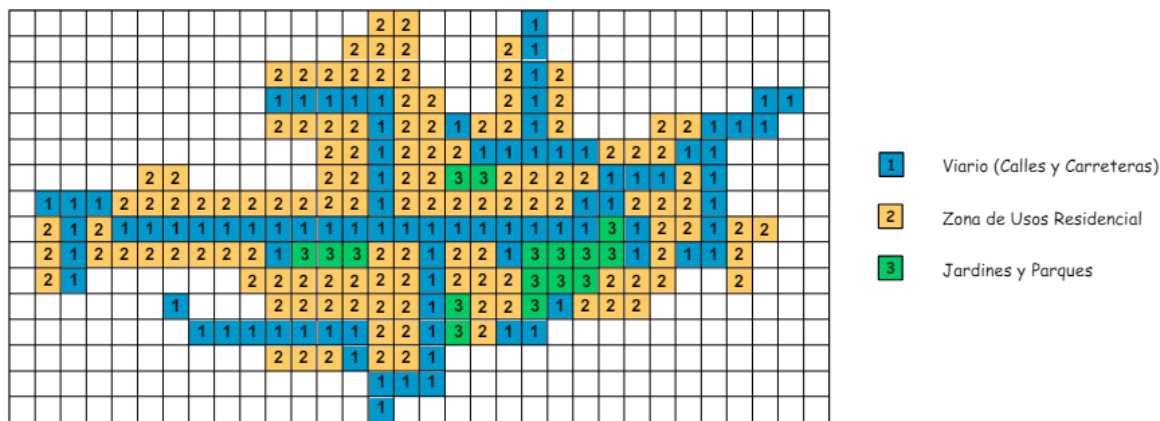
Cada capa se compone de entidades geográficas individuales, como polígonos, líneas o puntos, que están determinados por su ubicación geográfica y descripción. Las capas permiten organizar y gestionar datos geográficos de manera estructurada y facilitan la visualización y el análisis mediante una superposición y combinación de diferentes bases de datos sobre un mismo mapa. Los SIG se clasifican de acuerdo al método empleado al modelar la realidad geográfica, en otras palabras, la forma en que se modelan de manera grafica las características del territorio o del entorno que son de nuestro interés, se tienen dos tipos:

Modelo tipo ráster

Para este modelo de datos se almacena el contorno e interior de los objetos, se imita la realidad mediante la creación y aplicación de una rejilla o cuadrícula donde cada una de las celdas existentes tienen la misma forma y el mismo tamaño, celdas organizadas en filas y columnas. Los ráster pueden corresponder a imágenes satelitales y digitales, fotografías aéreas digitales o mapas escaneados.

Figura 2.

Esquema de una representación ráster de la información contenida en un mapa.



Fuente.(Martínez Solano, 2002)

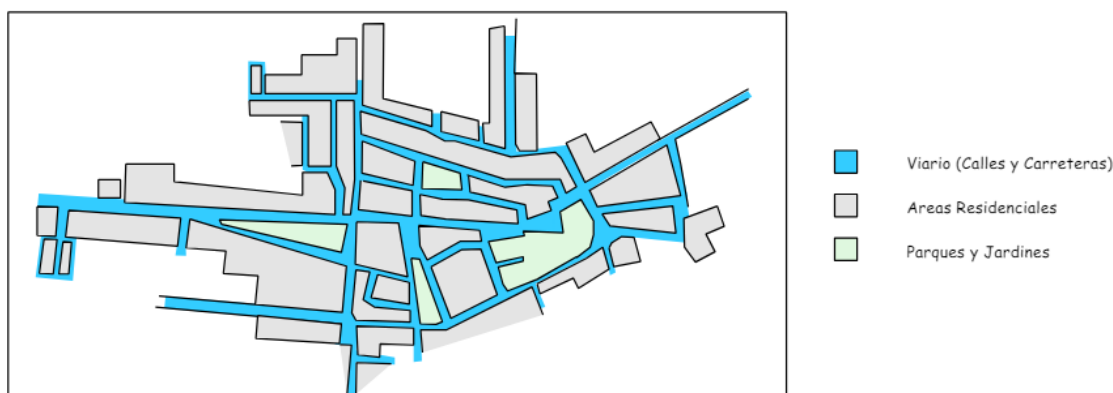
Debido al alto consumo de memoria, se fueron empleando estructuras alternativas para comprimir datos ráster. Por ejemplo, se usa quadtree la cual es una estructura de datos que divide un espacio en cuatro cuadrantes. Cada uno de esos cuadrantes puede contener información de los datos u otra rejilla con una mayor resolución de rejilla (es decir, con un menor tamaño de cada una de las celdas), y continúa subdividiendo cada cuadrante de manera similar hasta que son uniformes o se alcanza la resolución básica de los datos.(Martínez Solano, 2002)

Modelo tipo vectorial

La información gráfica en este tipo de formatos se representa internamente por medio de segmentos orientados de rectas o vectores. De este modo un mapa queda reducido a una serie de pares ordenados de coordenadas, utilizados para representar puntos, líneas y superficies. La captura de la información en el formato vectorial se hace por medio de: mesas digitalizadoras, convertidores de formato ráster a formato vectorial, sistemas de geoposicionamiento global, entrada de datos alfanumérica, entre otros.(Carmona & Monsalve, 1999)

Figura 3.

Representación esquemática en modelo vectorial de la información contenida en un mapa.



Fuente. (Martínez Solano, 2002)

En términos geográficos, un mapa es una representación o modelo de la realidad donde se tienen dos dimensiones (X y Y), y la tercera se describe como atributo y generalmente es la altura o variable Z, mientras que, la realidad cuenta con tres dimensiones. Otra condición, es que se convierte de una superficie que es casi esférica a una superficie plana mediante proyecciones con una mínima transformación o deformación, utilizando meridianos y paralelos en un plano. Además, es necesario definir una escala para el mapa lo cual es la relación que hay entre la realidad que representada y el mismo. Los mapas dan respuesta diferentes cuestionamientos como pueden ser la distribución espacial de un objeto o características de localización incluidas en determinada área.

En un SIG vectorial, los objetos básicos se agrupan según sus dimensiones:

- Punto o nodo: su dimensión es 0 y su almacenamiento es en el ordenador mediante sus coordenadas para indicar su posición.
- Líneas o arcos: Dependiendo del tipo de objeto, una línea puede ser representada como al menos las coordenadas de sus nodos finales (objeto geométrico) o como

una función (recta o cualquier otra función) que conecta dos objetos del tipo nodo (objeto topológico).(Martínez Solano, 2002)

- Polígono: En términos de representación, los polígonos pueden ser una secuencia de líneas cerradas, una fórmula matemática de una superficie, o un conjunto organizado de puntos.

Comparación de modelos ráster y vectorial

El modelo ráster se usa para modelos altamente variables, tales como modelos de elevación digital, modelos hidrológicos de esorrentía o modelos de cubierta vegetal. Por otra parte, el modelo vectorial se usa para aplicaciones donde se requiere un análisis de las líneas de la red, tales como las redes eléctricas, de suministro de aguas o de recogida de agua de lluvia.(Martínez Solano, 2002)

Tabla 1.*Comparación de los modelos ráster y vectorial*

SIG Ráster	SIG Vectorial
Ventajas	Ventajas
1. Estructura de datos simple 2. Fácil superposición de capas y cálculos 3. Adecuado para gran variedad de modelos de elevación digital 4. Adecuado para escaneo, software de análisis de imagen y teledetección	1. Estructura de datos compacta 2. Eficiente codificación espacial de datos 3. Potente análisis espacial, propio de aplicaciones de redes 4. Salida grafica de alta calidad
Desventajas	Desventajas
1. Estructura de datos que consume almacenamiento, resolución fija 2. Perdidas de información a cualquier resolución 3. Dificultades con relaciones topográficas entre datos 4. Cualquier transformación de datos debe aplicarse a cada celda	1. Estructura de datos compleja 2. No apropiada para descripción del terreo o superficies continuas 3. Operaciones algebraicas espaciales difíciles, como superposición de capas 4. Manipulación de la imagen difícil en modelo vectorial

Fuente.(Martínez Solano, 2002)**Fuentes de datos espaciales**

El origen de los datos utilizados en un SIG es muy diverso y además se presenta en múltiples formatos. La metodología empleada en la obtención de los datos influye directamente en cómo estos nos llegan y, por ende, en la utilización que se les puede dar dentro del SIG y en las operaciones necesarias para adaptarlos a un trabajo específico.

Inicialmente los datos que se utilizan dentro de un SIG, surgían de mapas físicos tradicionales (en papel), los cuales debían acoplarse para de este modo adaptarse a la tecnología actual. Los SIG empezaron a desarrollarse y con esto trajeron nuevos programas, pero era

necesario los datos para poder utilizarlos, realmente los datos no se encontraban de forma digital por lo que era imposible usarlos dentro de un SIG, la digitalización de cartografía eran tareas básicas para que así un SIG las pudiera manejar.(Camacho, 2019)

Datos digitales y datos analógicos

La principal diferencia que se presenta desde la aparición de los SIG es la necesidad de utilizar datos digitales. Un SIG implica una aplicación informática, y esta se alimenta en última instancia exclusivamente de datos digitales. Esta es la razón por la que debemos alimentar nuestro SIG con una serie de valores numéricos.(Olaya, 2014)

Los datos geográficos en formato digital ofrecen una gran ventaja sobre los datos analógicos. Además de poder integrarlos en nuestro SIG, comprender estas ventajas nos ayuda a entender mejor el funcionamiento de los SIG y su relevancia en la gestión de datos geográficos.

- **Facilidad de actualización:** los medios digitales nos brindan la capacidad de corregir errores utilizando herramientas de edición. Por lo tanto, la cartografía digital se puede editar, lo cual facilita enormemente la incorporación de cambios.
- **Fácil distribución:** distribuir de manera analógica requiere mucho tiempo y es costoso económicamente, pero con los datos digitales es más fácil y económico distribuir cartografía, ya que se puede hacer rápidamente a través de un navegador web.
- **Almacenamiento:** el almacenamiento digital ha aumentado debido a la necesidad de espacio que algunos datos o programas requieren. Un medio digital es capaz de almacenar gran cantidad de información utilizando solo una sección del espacio físico necesario.

- Análisis fácil y preciso: es posible la automatización de análisis y además, alta precisión porque depende solamente de los datos mas no de la operación.
- Fácil mantenimiento: el formato digital facilita la preservación de los datos, ya que el soporte no degrada directamente la información como ocurre con las formas analógicas, como el papel. Además, los datos digitales pueden replicarse fácilmente, lo que asegura su persistencia en mayor medida.

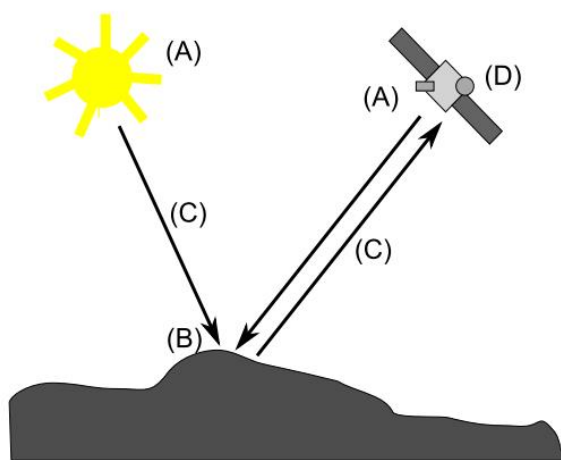
Teledetección

Entendemos por teledetección el estudio y medida de las características de una serie de objetos (en nuestro caso elementos de la superficie terrestre) sin que exista contacto físico.(Olaya, 2014)

La teledetección inicialmente se centraba en fotografías aéreas, pero en la actualidad existen otros métodos que, siguiendo la misma idea de captura de datos, son utilizados como fuentes de datos espaciales en los SIG.

Figura 4.

Esquema de un sistema de teledetección



Nota.(Olaya, 2014)

Imágenes georreferenciadas

Las imágenes georreferenciadas son imágenes que tienen asociada información espacial precisa que permite ubicarlas en un sistema de coordenadas geográficas específico. Esto significa que cada píxel de la imagen está vinculado a coordenadas geográficas exactas en la Tierra.

Plataformas

Este se puede definir como el transporte del sensor, lo cual limita las condiciones de las mediciones realizadas por este. Ya que se puede definir una distancia a la cual el sensor se sitúa del elemento establecido (Capa terrestre), las plataformas con mayor uso son los aviones, para fotografías aéreas a escalas pequeñas, en segundo orden son los satélites para imágenes satelitales con gran escala. (Camacho, 2019)

Sensores

Son responsables de analizar la radiación electromagnética procedente de un lugar específico y capturar imágenes. Hay sensores activos los cuales no están sujetos a las condiciones atmosféricas ni a la hora del día y los sensores pasivos que utilizan la radiación natural, principalmente la del sol, y están limitados a captar las radiaciones reflejadas por los elementos del entorno.

2.9.2. Análisis

La utilidad principal de un Sistema de Información Geográfica radica en su capacidad para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales y para utilizar esos modelos en la simulación de los efectos que un proceso de la naturaleza o una acción antrópica produce sobre un determinado escenario en una época específica. La construcción de modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que las influyen, así como para evaluar las posibles consecuencias de las

decisiones de planificación sobre los recursos existentes en el área de interés.(Carmona & Monsalve, 1999)

2.9.3. Visualización

Visualizar la información geográfica es una parte fundamental del trabajo con un SIG. Aunque no es un aspecto imprescindible, y es posible incluso encontrar SIG enfocados al análisis en los cuales no existe forma de visualizar la información con la que se trabaja, la gran mayoría de soluciones, especialmente las de escritorio, incluyen las funcionalidades de visualización como elemento básico, y estas resultan imprescindibles para la inmensa mayoría de usuarios.(Olaya, 2014)

Existen varias características de los componentes visuales que podemos usar, donde algunas resultan más convenientes que otras dependiendo de la situación. Estas características son conocidas como variables visuales y son aplicadas a los componentes básicos de la representación. Estas propiedades son: posición, tamaño, forma, textura, color y orientación.

2.9.4. Tecnología

Este elemento abarca tanto el software como el hardware en el que son ejecutadas las aplicaciones SIG. Ambos conforman un binomio tecnológico con múltiples alternativas, enriquecido continuamente por la rápida evolución del mercado tecnológico.

Hardware

Dispositivos o equipos informáticos como computadores necesarios para ejecutar los softwares SIG y, además, debe contar con un rendimiento optimo al momento de procesar los datos.

Software

Son programas y aplicaciones diseñadas para la realización de capturas, almacenamiento, manipulación, análisis y representación de datos espaciales. Existe una gran variedad de estos programas y herramientas que brindan diferentes enfoques para interpretar y modelar el espacio y los fenómenos que se encuentran en él.

Tipos de aplicaciones

Algunas herramientas resultarán más útiles que otras, pero no hay que olvidar que todas tienen su valor, ya que comparten el objetivo común de trabajar con información geográfica y georreferenciada. Podemos distinguir tres grupos principales: herramientas de escritorio, repositorios de datos, y clientes y servidores que permiten en conjunto el trabajo remoto con todo tipo de datos SIG. Las herramientas de escritorio son la tecnología informática fundamental en el campo SIG. Los repositorios de datos y los clientes y servidores han ido cobrando día a día más importancia hasta convertirse en elementos fundamentales y muy representativos del mundo SIG actual. (Olaya, 2014)

2.9.5. Recurso humano

Es necesario contar con personas especializadas con la habilidad de gestionar correctamente la información, aptos para solucionar problemas de entrada de datos, en conclusión, capaces de manejar las tecnologías SIG y la capacidad de implementar tecnologías y/o herramientas nuevas.

2.10. Funcionalidades de los SIG

Los Sistemas de Información Geográfica cuentan con diferentes funcionalidades las cuales permiten realizar diferentes tareas y análisis geoespaciales con la finalidad de crear modelos utilizando bases de datos digitales.

2.10.1. Captura de datos

Facilita la recolección de datos geoespaciales tomados desde diferentes fuentes como GPS, imágenes satelitales, fotografías aéreas, estudios de campo, entre otras.

2.10.2. Almacenamiento

Se refiere a la capacidad de almacenar datos geográficos y organizarlos de manera eficiente para facilitar su análisis y visualización dentro del sistema.

2.10.3. Manipulación

Se realiza una manipulación de datos para generar información relevante a partir de los datos registrados en el sistema, incluyendo así, dos tipos de operaciones las cuales son las destinadas a corregir errores y a editar o actualizar conjuntos de datos existentes y las operaciones que están destinadas a la aplicación de técnicas analíticas para responder a preguntas específicas.

2.10.4. Salida y presentación

Proceso de representar datos geográficos de manera gráfica en forma de mapas y otros tipos de gráficos espaciales que dan una mejor comprensión y análisis específico de cada contexto de la información.

2.11. Información que manejan los SIG

En un Sistema de Información Geográfica (SIG), es posible manejar una gran variedad de datos que se organizan y analizan en función de su referencia espacial, es decir que tienen su ubicación definida según un tipo de coordenadas. Se dice que un elemento en un SIG es cualquier pieza referente a la superficie terrestre que tiene tamaño, es decir, que presenta una dimensión física (alto - ancho - largo) y una situación espacial o una perspectiva medible en el espacio relativo a la superficie terrestre.(Navarro, 2019)

A estos elementos se le asocian características graficas las cuales se trata de las representaciones de entidades geográficas vinculadas a ubicaciones concretas en el espacio físico. Estas entidades se representan mediante puntos, líneas o polígonos, dependiendo de su naturaleza y extensión. Y las características no graficas se refieren a las descripciones o atributos que identifican y definen los elementos o entidades geográficas.

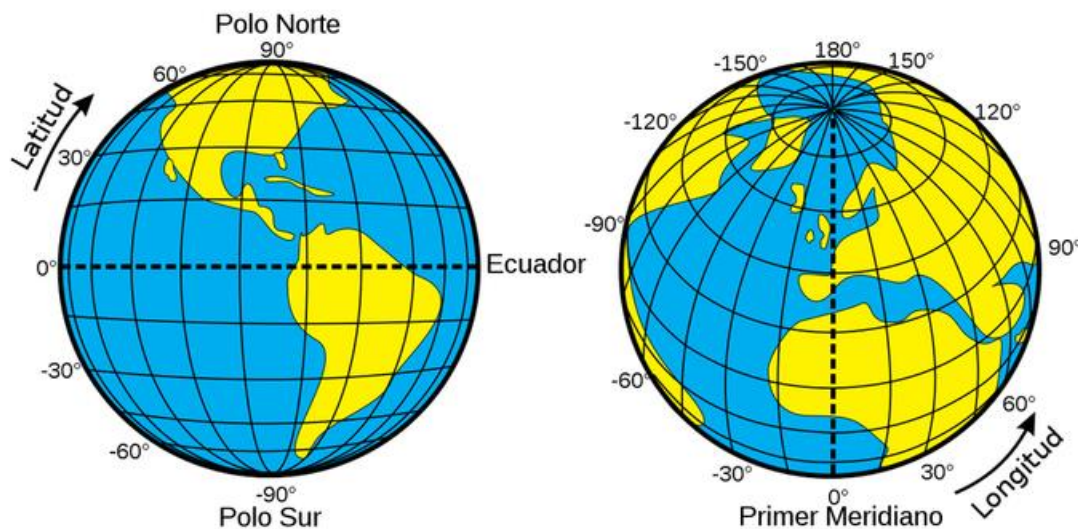
2.12. Sistema de coordenadas

Marco utilizado para definir y medir la ubicación de entidades en la superficie terrestre. El sistema de coordenadas estandariza la referencia e integración de datos espaciales de diversas fuentes, asegurando relaciones espaciales precisas. Incluye un punto de referencia, ejes de coordenadas y unidades de medida. Los SIG utilizan los siguientes sistemas de coordenadas:

2.12.1. Coordenadas geográficas

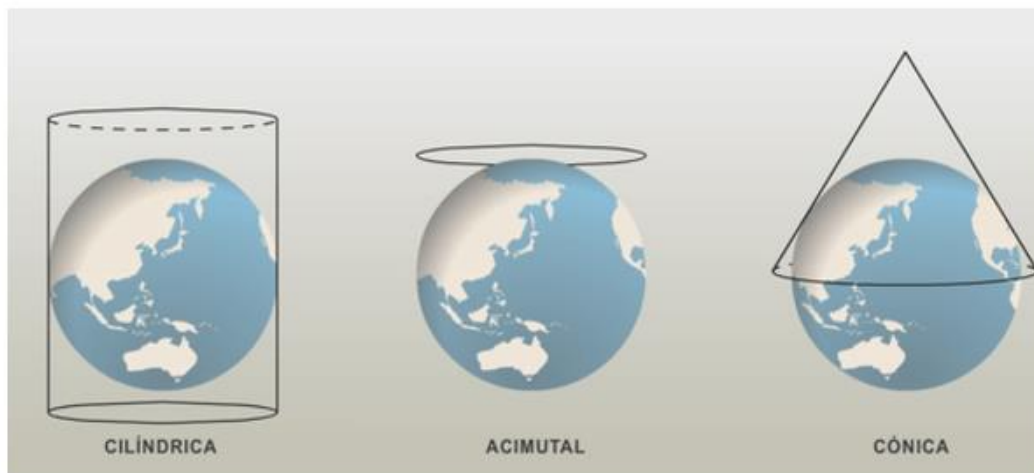
Son sistemas de referencias utilizados para definir ubicaciones en la tierra y medir elementos geográficos, utilizando dos ángulos: la latitud y longitud en unidad sexagesimal (grados, minutos y segundos) indicando primero latitud y después longitud.

La longitud varia de 0 a 180 grados en el hemisferio Este y de 0 a -180 grados en el hemisferio Oeste de acuerdo con las líneas imaginarias denominadas meridianos. La latitud varia de 0 a 90 grados en el hemisferio norte y de 0 a -90 grados en el hemisferio sur de acuerdo con las líneas imaginarias denominadas paralelos o líneas ecuatoriales. El origen de este sistema de coordenadas queda determinado en el punto donde se encuentran la línea ecuatorial y el meridiano de Greenwich.(Navarro, 2019)

Figura 5.*Coordenadas geográficas. Latitud y longitud***Fuente.**(Morales, 2022)**2.12.2. Coordenadas proyectadas**

Sistema de coordenadas planas que transforma la superficie curva de la Tierra en un plano bidimensional mediante una proyección cartográfica, representando distancias horizontales (x) y verticales (y). Los sistemas de coordenadas proyectadas se definen por coordenadas geográficas, una proyección y sus parámetros, y una unidad de medición. Existen tres tipos de proyecciones: cilíndricas, cónicas y planas.

En el caso de proyecciones cilíndricas o cónicas, la figura envuelve al elipsoide y, tras desenvolverla, el resultado será un plano en el que una parte de la Tierra se representan mediante un sistema de coordenadas cartesiano. En el caso de las proyecciones planas, el plano es tangente al elipsoide en un punto y no necesita por tanto ser desenvuelto.(Francisco Alonso Sarria, s. f.)

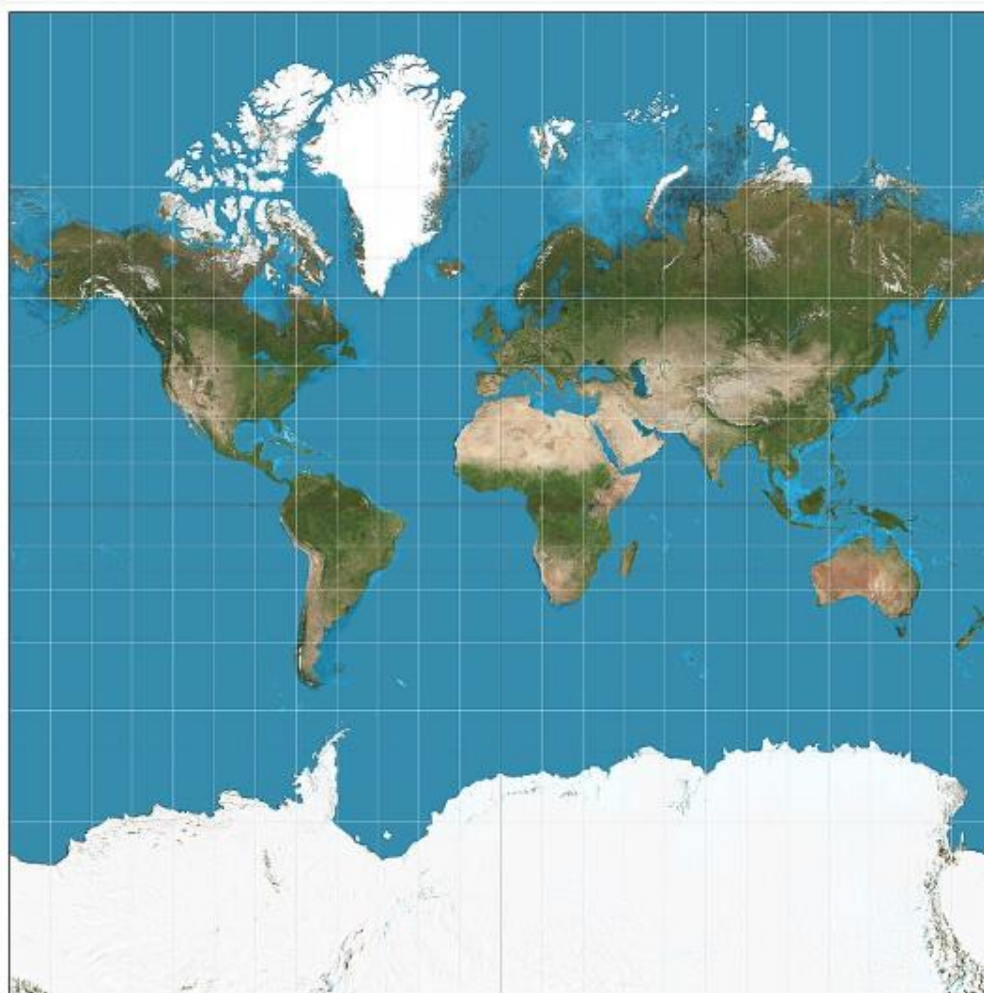
Figura 6.*Tipología de las proyecciones***Fuente.**(Morales, 2022)**Proyeccion UTM (Universal Transversal de Mercator)**

El planeta Tierra está segmentado en 60 husos horarios, cada uno abarcando 6 grados de longitud, comenzando desde el meridiano de Greenwich. Se define un huso como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos.(Francisco Alonso Sarria, s. f.)

Cada huso se divide en cuadriláteros de 8 grados de latitud, marcados con una letra. La combinación de huso y latitud crea las Zonas UTM.

Figura 7.

Mapa de proyecciones UTM



Fuente. (Morales, 2022)

2.12.3. Coordenadas verticales

Este sistema mide las posiciones teniendo en cuenta una referencia vertical como lo es la altura sobre o bajo el nivel del mar, en unidades de metros o pies.

2.13. Programas SIG

Los softwares SIG son herramientas esenciales en el análisis, gestión y visualización de datos espaciales, los cuales pueden ajustarse según las necesidades de los usuarios o proyectos.

Los SIG más conocidos son:

- **ArcGIS**

Desarrollado por Esri, es uno de los SIG más populares en el mundo. Proporciona una plataforma completa para gestionar datos espaciales y apoyar decisiones geográficas. Su versatilidad permite aplicaciones en diversos sectores como urbanismo, gestión ambiental y logística, además se enfoca en los análisis avanzados y profesionales y su licencia es comercial. Cuenta con diferentes opciones:

- **ArcGIS Desktop:** Está diseñada para usuarios que necesitan realizar análisis detallados, modelado avanzado y generación de mapas temáticos en un entorno local (en la computadora del usuario). Cuenta con dos opciones: ArcMap la cual es la aplicación clásica y permite trabajar datos geoespaciales en 2D y ArcGIS Pro el cual cuenta con capacidades más avanzadas como lo es el análisis en tiempo real y el modelamiento en 3D, además cuenta con un procesamiento más rápido.
- **ArcGIS Online:** Servicio basado en la nube que permite compartir mapas, colaborar en proyectos y realizar análisis básicos sin necesidad de instalación local.
- **ArcGIS Enterprise:** Versión para organizaciones que permite la implementación de servicios SIG en servidores propios, garantizando control sobre los datos.

- **QGIS (Quantum GIS)**

Es un sistema de información geográfica profesional, donde su principal ventaja es ser gratuito y de código abierto, que permite crear, editar, analizar, visualizar y publicar información geoespacial en 2D y 3D. Permite crear mapas con múltiples capas en diversos formatos según la aplicación.

- **GRASS GIS**

Software SIG con código abierto enfocado en análisis espacial avanzado y modelado geoespacial. Se caracteriza por su procesamiento eficiente de grandes volúmenes de datos, análisis de datos de tipo ráster y vectorial con herramientas generalmente para modelado hidrológico y análisis de terreno.

- **gvSIG**

Software SIG de código abierto desarrollado en España, conocido por su enfoque en interoperabilidad con soporte para datos en 2D y 3D, con herramientas de análisis espacial y geoprocésamiento. Con complejidad media en su utilización.

- **Google Earth Pro**

Esta es una herramienta gratuita de Google la cual permite la visualizar y explorar imágenes satelitales y de datos geoespaciales en 3D, la cual permite la visualización de capas personalizadas. Utilizada generalmente en el análisis visual y mapeo inicial.

2.14. Aplicación de los SIG

Estos sistemas cuentan con una amplia gama de aplicaciones permitiendo así la mejora en la eficiencia de la gestión y planificación, facilitando la toma de decisiones en diferentes sectores como, por ejemplo:

- ✓ Creación y actualización de cartografía.

- ✓ Gestión y seguimiento de redes de servicio público como, por ejemplo: redes de acueducto, alcantarillado, energía, gas, entre otros.
- ✓ Planificación urbana y regional, así como uso del suelo, redes de transporte, crecimiento urbano.
- ✓ Atención a emergencias como: incendios, terremotos, inundaciones, etc.
- ✓ Monitorización y gestión de los recursos naturales, análisis de impactos ambientales
- ✓ Gestión de recursos agrícolas en la planificación de riegos, control de plagas y análisis de suelos.

3. Cuencas hidrográficas

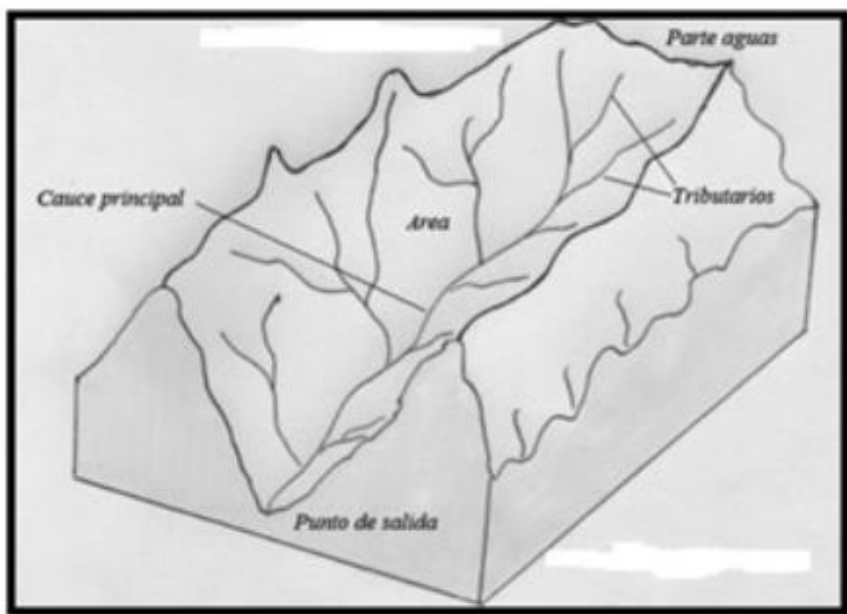
3.1. Definición de cuenca hidrográfica

La cuenca es el espacio del territorio en el cual naturalmente discurren todas las aguas (aguas provenientes de precipitaciones, de deshielos, de acuíferos, etc. que discurren por cursos superficiales o ríos) hacia un único lugar o punto de descarga (que usualmente es un cuerpo de agua importante tal como un río, un lago o un océano).(Núñez, 2011)

Las cuencas hidrográficas son áreas geográficas de captación definidas por líneas divisorias de aguas o parteaguas (las zonas más altas de las montañas).

Figura 8.

Cuenca Hidrográfica



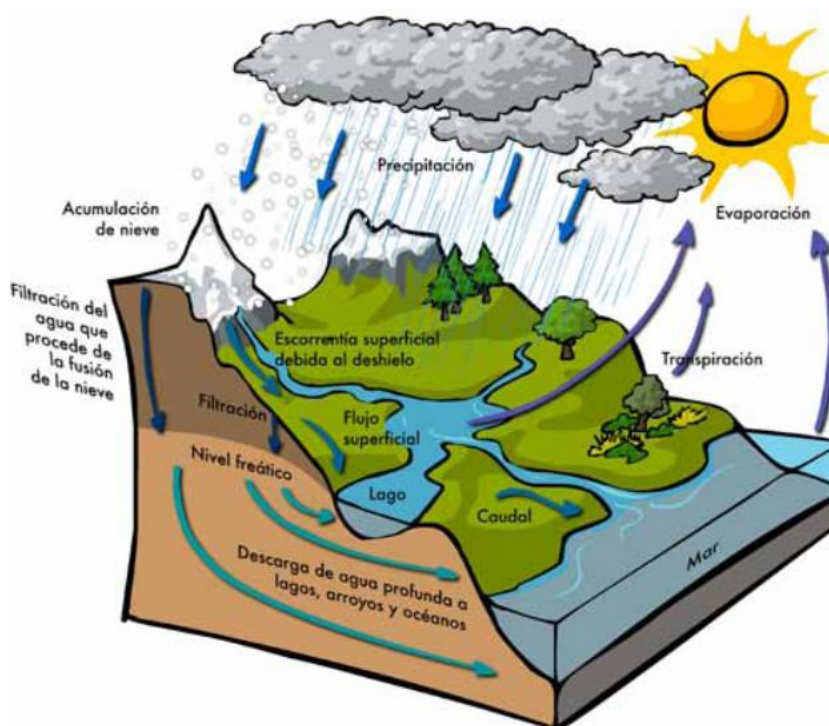
Fuente.(Michelle Vásconez et al., 2019)

3.2. Ciclo del agua

Para poder entender el comportamiento de una cuenca, es importante conocer el ciclo hidrológico ya que este es el proceso continuo de circulación del agua en la tierra. El ciclo hidrológico se define como un fenómeno global de circulación cerrada del agua entre la superficie terrestre y la atmósfera, impulsado por la energía solar asociada a la gravedad y la rotación terrestre. En otras palabras, el ciclo hidrológico representa el camino recorrido por el agua en sus tres estados físicos (sólido, líquido y gaseoso). (Michelle Vásquez et al., 2019)

Figura 9.

Ciclo Hidrológico



Fuente. (CICLO HIDROLOGICO, s. f.)

Las etapas principales de este ciclo son:

3.2.1. Evaporación:

La evaporación es el proceso físico, por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en almacenamientos, conducciones, en el suelo, en las capas cercanas a la superficie, a estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera.(Barco et al., 2000)

3.2.2. Precipitación:

Cuando el vapor de agua en la atmosfera se enfría, se condensa para formar gotas de agua y posteriormente nubes, cuando estas gotas se vuelven suficientemente grandes, caen a la superficie en forma de lluvia, granizo, nieve. La precipitación es parte fundamental dentro del ciclo hidrológico ya que es la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y provee de agua dulce para el desarrollo de la vida.(Carrera-Villacrés et al., 2016)

3.2.3. Infiltración:

De la lluvia que llega a la superficie del suelo, una fracción de ella infiltra, otra escurre y una pequeña fracción queda en charcos, que termina evaporándose o infiltrando. Sin embargo, la única fracción de lluvia con potencial a infiltrarse es la que llega a la superficie del suelo. Otra fracción de lluvia a considerar; es la interceptada por el follaje de las plantas.(Schosinsky & Losilla, 2000)

3.2.4. Escorrentía:

La escorrentía se puede definir como la cantidad de agua de una tormenta que drena o escurre sobre la superficie del suelo. Cuando se produce, fluye a los cauces incrementando su volumen; a medida que llega agua de las partes más lejanas comienza suavemente a decrecer el caudal al poco tiempo de terminada la lluvia.(Gaspari et al., 2007)

3.2.5. Almacenamiento:

Acumulación del agua en glaciares, lagos, humedales, embalses, acuíferos subterráneos o en varias de las etapas del ciclo hidrológico.

3.3. Elementos de una cuenca hidrográfica

3.3.1. Parteaguas o divisoria de aguas

Se refiere a una línea imaginaria la cual delimita las fronteras entre cuencas hidrográficas vecinas. Este límite natural está situado en las partes más elevadas de las montañas, donde las aguas superficiales se separan hacia diferentes vertientes cuando ocurren precipitaciones.

3.3.2. Nacimiento o cabecera

Es el punto con más altura de la cuenca hidrográfica donde inicia el flujo de agua y está ubicado generalmente en las montañas.

3.3.3. Red de drenaje principal

Está compuesta por un río que recoge y transporta el agua de todos los afluentes hacia un punto común de salida de la cuenca hacia el océano, lago o mar.

3.3.4. Afluentes

Son los ríos y arroyos más pequeños que alimentan al río principal dentro de la cuenca.

3.3.5. Desembocadura

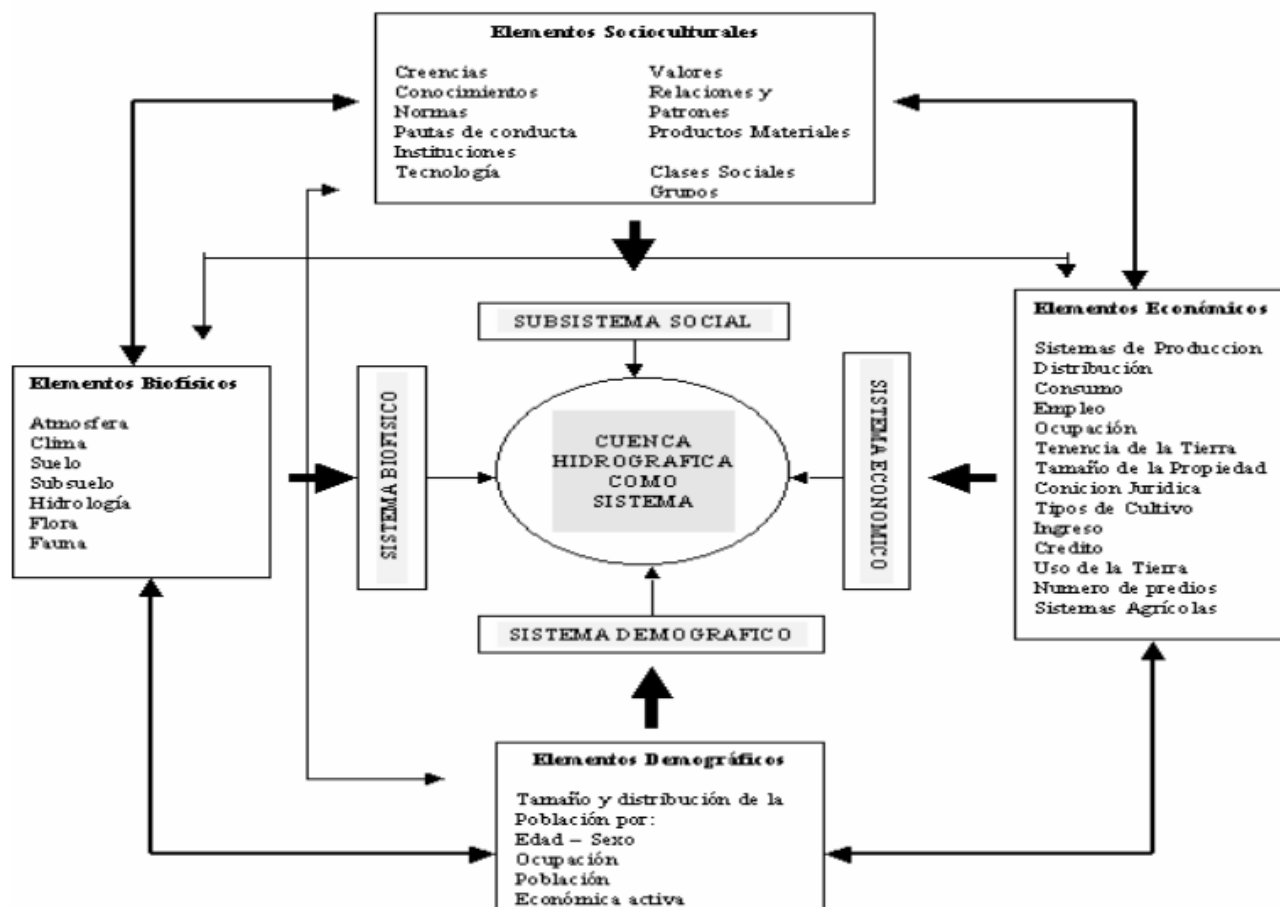
Es el punto en donde el río principal finalmente vacía su agua fuera de la cuenca.

3.4. Cuenca hidrográfica como sistema

Una cuenca hidrográfica se considera como un sistema que incluye tanto el entorno físico como los organismos vivos que interactúan entre ellos y está formada por uno o varios sistemas, además, es importante considerar la existencia y vinculación de otros subsistemas, como el social, el demográfico y económico.

Figura 10.

Subsistemas componentes del Sistema Cuenca Hidrográfica



Fuente. (Manual_Manejo_Cuencas_2007)

3.5. Tipos de cuencas

3.5.1. Por su tamaño geográfico

Según su área de superficie, las cuencas se agrupan de la siguiente manera:

- ✓ Cuenca grande o macrocuenca: estas cuencas cuentan con una superficie superior a los 2500 Km²
- ✓ Cuenca intermedia: superficie comprendida en un intervalo de 250 Km² a los 2500Km²

- ✓ Cuenca pequeña o microcuenca: son superficies menores a los 250 km²

3.5.2. Por su sitio de desembocadura

- ✓ Cuenca exorreica: cuenca hidrográfica cuyo sistema de drenaje tiene un punto de salida hacia el océano, el mar o un gran cuerpo de agua externo. Estas cuencas son las más comunes en regiones donde las precipitaciones son suficientes para generar corrientes continuas y los sistemas fluviales están bien desarrollados. Un ejemplo de este tipo es la cuenca del Amazonas ya que su río desemboca en el Océano Atlántico.

Figura 11.

Cuenca Exorreica

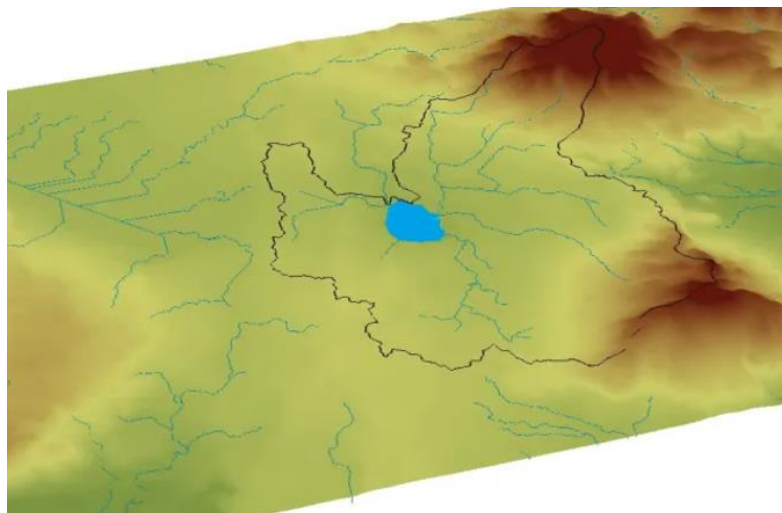


Fuente.(Michelle Vásconez et al., 2019)

- ✓ Cuenca endorreica: tipo de cuenca hidrográfica que carece de salida hacia el océano o el mar. En estas cuencas, el agua que fluye por los ríos y arroyos termina acumulándose en lagos, humedales o depresiones, donde se infiltra o evapora en el suelo. Este tipo de cuenca es común en regiones áridas o semiáridas, aunque también puede encontrarse en áreas montañosas o depresiones tectónicas.

Figura 12.

Cuenca Endorreica



Fuente.(Morales, 2022)

- ✓ Cuenca arreica: son aquellas regiones donde no existe un sistema de drenaje superficial definido y, por lo tanto, no generan flujos permanentes de agua ni conducen el agua hacia un punto de salida, como un río, lago o el mar. Estas cuencas son características de áreas extremadamente áridas o desérticas, donde la mayoría del agua de lluvia se evapora o se infiltra en el suelo rápidamente.

3.6. Funciones de las cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas desempeñan diferentes roles vitales medioambientales, socioeconómicos, hidrológicos y ecológicos de los cuales se da una descripción:

3.6.1. Funciones ambientales

Las cuencas se encargan de la regulación de recarga hídrica, preservan la variedad de vida tanto animal como vegetal, mantienen la diversidad del suelo y son sumideros de CO₂.

3.6.2. Funciones socioeconómicas

Promueven espacios para el desarrollo cultural y social, las cuencas son las encargadas del suministro de recursos naturales renovables y no renovables.

3.6.3. Función ecológica

Las cuencas influyen sobre la calidad física como química del agua, además, proporciona el habitat para la flora y la fauna.

3.6.4. Funciones hidrológicas

Las cuencas hidrográficas son las encargadas de drenar las aguas provenientes de la precipitación y permite la recarga de fuentes hídricas subterráneas y superficiales.

3.7. Morfometría de una cuenca

Tener conocimiento claro de las particularidades de una cuenca hidrográfica es de vital importancia ya que esto permite prever un comportamiento de la misma frente a posibles eventos hidrológicos y así, planificar una respuesta adecuada.

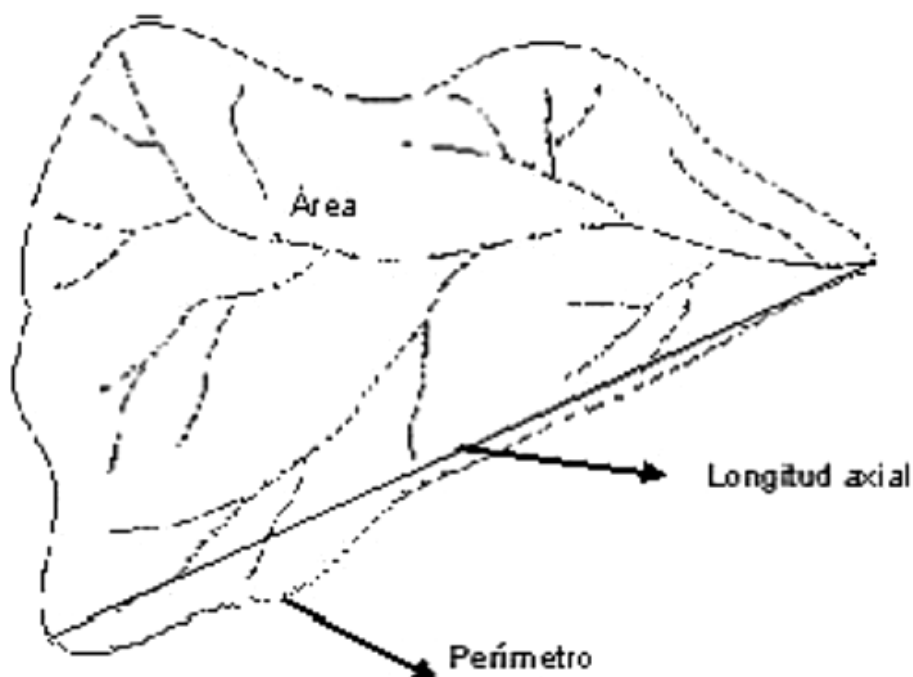
La definición de un límite de cuenca, desde el punto de vista hidrológico, se considera analizando la topografía del terreno a partir de la divisoria de aguas topográfica, cuyos límites (LC) envuelven el territorio que ocupa el río principal y sus afluentes, hasta su desembocadura. Esta divisoria de agua engloba en un mismo territorio a las vertientes o laderas (desde las cabeceras de cuenca hasta las cercanías del curso de aguas), a la llanura aluvial (rodeando al río y su cauce en todo su recorrido) y al río propiamente dicho hasta su salida en contacto con otro río, lago, laguna o mar. (Fernanda Julia Gaspari et al., 2019)

La caracterización morfométrica de una cuenca se determina a partir de parámetros de forma, parámetros de relieve y parámetros de drenaje.

3.7.1. Parámetros de forma

Figura 13.

Esquema de cálculo de la longitud axial



Fuente. (Asensio, Ramón, et al., s. f.)

- ✓ **Perímetro (P):** el perímetro se refiere a la longitud total del límite, divisoria o línea envolvente de aguas de la cuenca.
- ✓ **Área (A):** El área de la cuenca corresponde a la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. En otras palabras, corresponde al área de captación o superficie de la cuenca con sus respectivas subcuencas delimitada por la divisoria de aguas (divisoria topográfica). La unidad se expresa en km².(Corporación de Cuencas et al., 2014)

- ✓ Longitud axial: eje de la cuenca o distancia longitudinal desde el punto más alto o alejado de la cuenca, generalmente en la cabecera del río principal, hasta su desembocadura o punto de salida, para estimar el desplazamiento neto entre extremos de la cuenca, sin considerar el relieve.
- ✓ Ancho promedio: está definido por el cociente del área entre la longitud axial de la cuenca.

$$W = \frac{A}{L}$$

- ✓ Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc): Este coeficiente corresponde a la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo que tenga igual área. Este coeficiente, adimensional, independiente del área estudiada.(Corporación de Cuencas et al., 2014)

$$Kc = \frac{P}{\left(2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}\right)}$$

Tabla 2.

Clasificación del Coeficiente de Compacidad o Gravelius

Kc	Clasificacion	Interpretacion ambiental
1 – 1,25	Casi redonda a oval-redonda	Alta tendencia a inundaciones
1,25 – 1,5	Oval redonda a oval-alargada	Mediana tendencia a inuncaciones
1,5 – 1,75	Oval alargada a alargada	Baja tendencia a la inundacion
<1,75	Alargada	Cuencas propensas a la conservacion

Fuente.(Jairo Israel Zhica y Lombaida, 2020)

- ✓ Índice de alargamiento (Ial): es la relación entre la longitud máxima axial y el ancho máximo de la cuenca.

Tabla 3.

Clasificación del Índice de Alargamiento

Rangos de Ia	Clases de alargamiento
0 – 1,4	Poco alargada
1,5 – 2,8	Moderadamente alargada
>2,9	Muy alargada

Fuente. (Jairo Israel Zhica y Lombaida, 2020)

- ✓ Rectángulo equivalente: Supone la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular de lados L y l del mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (l). (Asensio, Blanquer, et al., s. f.)

$$L = \frac{Cg\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Cg} \right)^2} \right] \quad l = \frac{Cg\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Cg} \right)^2} \right]$$

Donde,

L: altura del rectángulo.

l: base del rectángulo.

- ✓ Índice de homogeneidad (Ih): es la relación que hay del área de la cuenca y su proporción de semejanza con un rectángulo de superficie equivalente.

- ✓ **Desnivel altitudinal:** Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja. Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura. (Asensio, Ramón, et al., s. f.)

3.7.2. *Parámetros de relieve*

- ✓ **Alturas máxima y mínima:** se refiere a los extremos de cotas de la cuenca.
- ✓ **Pendiente del cauce(j):** relaciona la diferencia de alturas máxima y mínima con la longitud del cauce principal. Este parámetro se da en porcentaje.

Tabla 4.

Clases de pendiente del cauce (%)

Rangos de pendiente	Clases
< 10	Suave
10 - 30	Moderada
>30	Fuerte

Fuente. (Jairo Israel Zhica y Lombaida, 2020)

- ✓ **Pendiente media (PM):** $[PM = (H_{max} - H_{min}) / L_a]$ siendo H_{max} la altura máxima y H_{min} la altura mínima para cada una de las subcuencas bajo estudio. El análisis de relieve se completa con la determinación de clases según la altura (cota sobre el nivel del mar = msnm). (Fernanda Julia Gaspari et al., 2019)
- ✓ **Curva hipsométrica:** La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km² o en porcentaje,

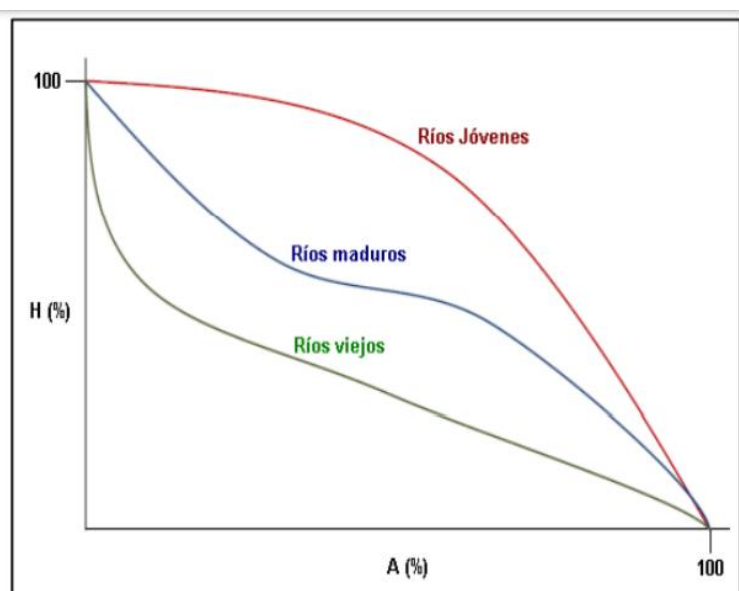
obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros.(Asensio, Ramón, et al., s. f.)

La curva hipsométrica permite definir características fisiográficas de las cuencas:

- Cuencas con ríos maduros. - se encuentran en estado de equilibrio
- Cuencas con ríos jóvenes. - presentan gran potencial erosivo
- Cuencas con ríos viejos. - son sedimentarias.(Aguilar Aza Jessica Carolina & Naranjo Sandoval Lisseth Gabriela, 2018)

Figura 14.

Tipos de curva hipsométrica



Fuente. (Aguilar Aza J. C. & Naranjo, 2018)

- ✓ Altura media (h): cociente entre el volumen de la cuenca y el área de la misma.

$$H = \frac{V}{A}$$

Este valor puede ser calculado usando la curva hipsométrica o el histograma de frecuencias altimétricas. La estimación por una media aritmética ponderada en el

caso del histograma, o de la curva hipsométrica calculando el área bajo la curva y dividiéndola por el área total.(Asensio, Ramón, et al., s. f.)

- ✓ Orientación de la cuenca: La orientación de las laderas se refiere a la dirección geográfica en relación con el norte geográfico, considerando la pendiente general de las laderas dentro de la cuenca.
- ✓ Factor forma de Horton (Rf): este valor se halla de la relación que hay entre el área de la cuenca y el cuadrado de su longitud axial.(Jairo Israel Zhica y Lombaida, 2020)

$$Rf = \frac{A}{La^2}$$

Tabla 5.

Relación forma de Horton

Rango de Valores	Forma de la cuenca
< 0,22	Muy alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,30 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37 – 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,12	Muy ensanchada
>1,20	Rodeando el desague

Fuente.(Jairo Israel Zhica y Lombaida, 2020)

3.7.3. Parámetros de drenaje

- ✓ Densidad de drenaje (Dd): este parámetro está definido como el cociente entre la sumatoria de longitudes de los cursos de agua y el área total de la cuenca.

Tabla 6.

Factores de densidad de drenaje de cuencas

Densidad de drenaje	Categoría	Interpretación ambiental
< 1	Baja	Baja escorrentía y aumenta la infiltración
1 – 2	Moderada	Tendencia media de escorrentía
>3	Muy alta	Alta tendencia a la escorrentía y a la erosión

Fuente. (Jairo Israel Zhica y Lombaida, 2020)

- ✓ Tiempo de concentración: existen varias fórmulas para calcular este tiempo de concentración, el cual se define como el tiempo que una gota de agua lluvia tarda en moverse desde la parte más alejada de la cuenca hasta la salida de la misma.

Kiripich: (min)

$$T_c = 0,06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

L: longitud del cauce principal (km)

S: pendiente total del cauce principal de la cuenca (m/m)

Temez: (horas)

$$T_c = 0,30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

L: longitud del cauce principal (km)

S: pendiente total del cauce principal (%)

Giandotti: (horas)

$$T_C = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}}$$

A: area de la cuenca (m2)

L: longitud del cauce principal (km)

H: elevación media de la cuenca (m)

- ✓ Desnivel del cauce (Dh): es la elevación desde el punto de origen o nacimiento hasta la salida al interior de la cuenca.
- ✓ Longitud de drenaje: es un parámetro que expresa la suma total de la longitud de la red de drenaje completa, desde sus tributarios más pequeños hasta el curso principal (km).(Fernanda Julia Gaspari et al., 2019)
- ✓ Longitud del curso principal: longitud del río principal de la cuenca.
- ✓ Numero de orden de los cursos de agua: se determina mediante el método Strahler (1964), el cual asigna el orden 1 a un curso que carece de tributarios, orden 2 es formado por la confluencia de dos cursos de orden 1 y orden 3 es formado por la confluencia de dos de orden 2. El orden de una cuenca de drenaje está dado por el curso de orden mayor. El número de orden de los cursos de agua o jerarquización, está estrechamente relacionado con el número de ramificaciones de la red de drenaje.(Fernanda Julia Gaspari et al., 2019)

3.8. Manejo de cuencas

El manejo eficiente de las cuencas hidrográficas es importante y esencial en el sostenimiento y el equilibrio ambiental, social y económico de poblaciones que dependen de sus recursos, por ello es necesario el uso de herramientas y métodos que permitan realizar el análisis, comprensión y modelamiento de los diferentes aspectos que se deben tener en cuenta para que los recursos naturales de la cuenca sean utilizados de una manera sostenible.

El manejo de cuencas se divide en dos etapas:

1. La ordenación, que incluye la evaluación o estudio detallado de la cuenca y la elaboración del plan de un ordenamiento correspondiente.
2. La gestión, que comprende las acciones dirigidas a implementar y administrar el plan de manejo.

En el manejo de cuencas hidrográficas es necesario llevar un orden e inicia con la recopilación y análisis de la información secundaria y experiencias en procesos de manejo, la planificación y ejecución del diagnóstico, el diseño del plan de ordenamiento y manejo de la cuenca, el diseño del sistema del seguimiento y evaluación del plan de manejo y por ultimo las estrategias de gestión del plan de manejo.(Aguirre, N, 2007)

3.9. Diagnóstico de cuencas hidrográficas

El diagnostico implica recopilar los datos físicos disponibles, reconocer la zona de estudio, ampliar y actualizar la información mediante el reconocimiento de la misma, analizar los datos, identificar posibles patrones, reconocer procesos e interacciones, y establecer los problemas junto con las posibles soluciones. Las etapas básicas para completar un diagnóstico son:

3.9.1. *Recopilación de información y reconocimiento del área de estudio*

En la recopilación de información se tiene el estudio cartográfico, el cual es esencial para determinación de la distribución espacial y la extensión de ciertas condiciones de los recursos naturales y áreas urbanas. En su análisis y sobreposición se detectan áreas críticas para ciertas actividades, donde se debe de intervenir. (Aguirre, N, 2007)

Además, es fundamental revisar la mayor cantidad posible de publicaciones, incluyendo informes, boletines, tablas y gráficas que haya respecto al área de estudio.

Para la identificación del área de estudio es fundamental:

- Trabajo de campo: Con el recorrido de campo se pueden correlacionar datos de la información recopilada con la realidad; confirmar los rasgos de mayor interés y encontrar quizá nuevos enfoques de los estudios. Se analizan los suelos, la vegetación, los cuerpos de agua, las viviendas etc. donde un buen y experimentado observador puede tomarse un confiable juicio sobre la situación y problemática.(Aguirre, N, 2007)
- Corrección y ajuste de la cartografía disponible: se inicia con la rectificación de la cartografía disponible, en especial respecto al uso del suelo o en la determinación del parte-aguas en zonas planas o con infraestructura hidráulica construida; también con la ubicación de infraestructura construida, si no se cuenta con fotografías aéreas recientes.(Aguirre, N, 2007)
- Identificar lugares de interés especial que no están registrados en la cartografía ni en fotografías aéreas, como, por ejemplo: puntos de contaminación como descargas de aguas residuales, depósitos de desechos sólidos, áreas donde se aplican plaguicidas, entre otros. Además, se buscan áreas erosionadas, cárcavas,

puntos de sedimentación, zonas recientemente deforestadas, fallas geológicas, entre otros.

- Indispensable durante este reconocimiento son las entrevistas con los diferentes actores en la región, para incluir el conocimiento de la gente sobre los recursos y los procesos más comunes de deterioro de los mismos en el diagnóstico. También es indispensable para conocer los sistemas productivos reales de una zona de la región, ya que casi siempre se han observado discrepancias entre la información oficial y la realidad del campo.(Aguirre, N, 2007)

3.9.2. Análisis de la información recopilada

La información y datos obtenidos mediante los reconocimientos de campo en la zona se organizan, sistematizan y se analiza. A partir de esto, se define con precisión el área de estudio y se elabora cartografía específica que incluye mapas base, uso actual del suelo, topografía, pendientes, hidrología, suelos, entre otros.

Se realiza una evaluación de su potencial de aprovechamiento, disposición y calidad de los recursos naturales, como vegetación, agua y suelo. Asimismo, se analiza y cuantifica la eficacia en el uso de la infraestructura existente, así como de los recursos industriales y urbanos. Finalmente, se examina la interacción entre la utilización, el manejo y el estado actual de los recursos, identificando la relación del origen y efecto entre diversos fenómenos sociales y naturales dentro de la zona de estudio.

Se da prioridad al análisis del deterioro de los recursos naturales y se seleccionan las microcuencas que necesitan un examen más profundo, enfocándose en aquellas donde los procesos de degradación y sus impactos son mayores. Se definen estudios detallados para comprender mejor la problemática, incluyendo la identificación de posibles lagunas en el

conocimiento debido a información faltante. Se plantean investigaciones esenciales para medir la magnitud del problema y los grados de degradación, incluyendo análisis edafológicos, estudios de vegetación, evaluaciones climáticas, balances hídricos, cálculos de escurrimientos, análisis de la calidad del agua y demás.

4. Aplicación de los SIG al manejo eficiente de cuencas hidrográficas.

Los sistemas de información geográfica (SIG) proporcionan herramientas útiles que permiten tener conocimiento claro de las características físicas, ambientales y socioeconómicas de una cuenca, facilitando el manejo sostenible de las mismas. Estos sistemas como primera instancia permiten realizar el reconocimiento de la morfometría de la cuenca a la que se le realizara el manejo lo cual se conoce como análisis hidrológico de la cuenca.

El manejo de cuencas hidrográficas tiene como objetivos:

- ✓ Sostenibilidad de recursos hídricos: esto permite satisfacer necesidades tanto actuales como futuras de la población y del medio ambiente, asegurando la cantidad y calidad adecuada de estos recursos.
- ✓ Conservación del suelo y la vegetación: permite promover la preservación de la vegetación natural de la cuenca.
- ✓ Mitigación de desastres naturales: reducir el riesgo de inundaciones, sequias, deslizamientos de tierra, entre otros.
- ✓ Desarrollo socioeconómico: permite promover el uso equilibrado de los recursos naturales provenientes de la cuenca.
- ✓ Protección de ecosistemas: promueve la conservación de la biodiversidad y ecosistemas críticos dentro de la cuenca.

4.1. Procedimiento general para el manejo de cuencas hidrográficas

4.1.1. Delimitación y caracterización de la cuenca

Los sistemas de información geográfica (SIG) proporciona medios y técnicas para recopilar, analizar y visualizar datos espaciales de la cuenca.

Delimitación de la cuenca.

Para la realización de la delimitación de una cuenca es necesario contar con un modelo digital de elevación, el cual se puede realizar basándose en la información topográfica de las curvas de nivel de la cuenca, existen diferentes herramientas como pueden ArcGIS, QGIS, HEC-RAS las cuales permiten crear y analizar modelos digitales de elevaciones MDE con precisión y eficiencia. Estos softwares permiten al usuario definir los límites de la cuenca hidrográfica identificando áreas de captación y puntos de salida del agua.

Caracterización física

La caracterización física es la obtención de datos sobre la topografía, tipos de suelo y cobertura vegetal mediante análisis espacial. La caracterización se puede procesar con las herramientas dispuestas para la delimitación de la cuenca. Todos los datos se obtienen basándose en el modelo digital de elevación (MDE)

4.1.2. Recopilación de datos hidrológicos y climáticos

Precipitación y temperatura

Estos datos en Colombia se pueden obtener de estaciones meteorológicas locales las cuales recopilan este tipo de datos, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ofrece servicios para la descarga de datos hidrométricos, meteorológicos y climáticos a través de su sistema de información ambiental. Es necesaria la integración de estos datos meteorológicos históricos y en tiempo real para comprender los patrones de precipitación y temperatura de las cuencas.

Caudales de río y niveles de agua

Estos datos se pueden obtener de las mismas estaciones hidrométricas del IDEAM para los principales afluentes o realizando un monitoreo continuo de los caudales y los niveles de agua de los ríos, arroyos o embalses.

4.1.3. Análisis de vulnerabilidad de riesgos

Los sistemas de información geográfica (GIS) facilitan el estudio y visualización de las amenazas y vulneraciones que pueden ocurrir en una cuenca.

Modelado de inundaciones

Estos modelos de inundaciones se pueden realizar mediante la utilización de modeladores hidrológicos como HEC-HMS y de inundaciones como HEC-RAS para simular escenarios de inundación e identificación áreas vulnerables.

Análisis de erosión y sedimentación

Este análisis permite identificar áreas propensas a la erosión, cuantificar el deterioro del suelo y evaluar el transporte y depósito de sedimentos; el análisis se realiza utilizando datos de pendiente, cobertura vegetal y el uso del suelo. La evaluación y modelación de estos riesgos se puede realizar mediante el software SWAT el cual es utilizado en la evaluación de la prevención y control de la erosión del suelo, la supervisión de la contaminación de fuentes y el manejo regional de cuencas. Este software, aunque no es un sistema de información geográfica se complementa perfectamente con ellos para realizar análisis espaciales más avanzados.

4.1.4. Gestión de recursos hídricos

Las herramientas y software SIG facilitan la identificación de áreas críticas, evaluación de impactos y el incremento del rendimiento en la utilización del agua, la protección de las fuentes hídricas y la adaptabilidad a retos del cambio climático.

Modelado de Balance Hídrico

El modelado de balance hídrico es una técnica empleada para cuantificar y administrar el agua en una cuenca hidrográfica. Este método evalúa las entradas y salidas de agua en el sistema, permitiendo a los gestores comprender y prever la disponibilidad de agua, considerando datos de precipitación, infiltración, escorrentía y uso del agua. Estos modelados se pueden realizar por herramientas como SWAT, WEAP y HEC-HMS.

Planificación de Uso del Agua

Identificar áreas para la recolección y almacenamiento de agua, la gestión de acuíferos para optimizar la distribución y uso del recurso hídrico. Los sistemas de información geográfica SIG, son usados en la planificación y gestión de infraestructuras hídricas permitiendo determinar las ubicaciones óptimas para nuevas infraestructuras y supervisar el estado y la eficiencia de las ya existentes.

4.1.5. Monitoreo ambiental y evaluación de impacto

Este proceso es fundamental para garantizar que las actividades humanas no afecten la sostenibilidad y el bienestar del ecosistema de la cuenca, ni dañen a las comunidades que dependen de ella.

Calidad del agua

La supervisión de la calidad del agua es una fase vital que permite evaluar la condición y bienestar de los cuerpos de agua, asegurando que cumplen con los estándares ambientales y de salud pública. Este monitoreo implica la recolección sistemática de datos sobre diversos parámetros físicos, químicos y biológicos del agua. Estos monitoreos se pueden realizar mediante mapeos, visual, interpolación de datos de calidad del agua, utilizando software como ArcGIS, QGIS, GRASS GIS, HEC-RAS.

4.1.6. Planificación de restauración y conservación

Es necesario realizar análisis de datos espaciales y monitoreos continuos para el reconocimiento de las áreas en estado crítico de la cuenca que requieren rehabilitación y conservación, desarrollando planes que incluyan, por ejemplo, la reforestación y protección de hábitats.

4.1.7. Educación ambiental

Buscar aumentar la conciencia y el conocimiento sobre los problemas ambientales, promoviendo actitudes y comportamientos responsables que contribuyan a la sostenibilidad del planeta. Esta educación es crucial para empoderar a las personas y comunidades, permitiéndoles tomar decisiones informadas y contribuir de manera activa a la conservación y el mejoramiento del medio ambiente.

5. Discusión

Esta monografía presenta un análisis de los SIG y su aplicación en el contexto del manejo de cuencas hidrográficas, definiendo en ella todos los conceptos claves y necesarios para su comprensión con el objetivo de presentar una visión clara y actualizada sobre como estas herramientas pueden apoyar la toma de decisiones, la gestión eficiente, precisa y sostenible de las cuencas hidrográficas desde el análisis espacial y la integración de datos hasta el diagnostico de riesgos y la planificación de metodologías de conservación.

Los SIG utilizados para el manejo eficiente de cuencas hidrográficas cuentan con diferentes ventajas:

- Visualización y análisis espacial: los SIG nos permiten no solo la visualización sino la creación de mapas temáticos utilizando colores y símbolos los cuales permitan la identificación y representación de características específicas de las cuencas, además, diagramas y gráficos los cuales permiten una visualización efectiva que ayuda a comprender más fácilmente los patrones espaciales existentes.
- Superposición de Capas: La capacidad de combinar diferentes capas de información permite analizar las interacciones entre variables y evaluar los impactos de diferentes escenarios, como cambios en el uso del suelo o eventos extremos.
- Integración de datos: los SIG permiten la integración de grandes volúmenes de datos provenientes de diversas fuentes, como mapas topográficos, datos

meteorológicos, información sobre calidad del agua y uso del suelo y demás, permitiendo tener una visión clara de la cuenca hidrográfica.

- Modelado de procesos y escenarios: nos permiten realizar modelados de los procesos que ocurren o pueden ocurrir en la cuenca hidrográfica de estudio tales como escorrentía, infiltración, precipitación y demás, los cuales son necesarios para predecir caudales y evaluar impactos. Además, los SIG permiten realizar modelados de riesgos, lo cual permite la identificación de áreas en vulnerabilidad a posibles inundaciones, deslizamientos o demás eventos extremos.
- Monitoreo y seguimiento: los SIG permiten realizar monitoreos continuos a las cuencas hidrográficas, realizando así análisis espaciales complejos que ayuden a identificar patrones complejos y tendencias en el comportamiento del agua dentro de la cuenca.
- Presentación de resultados: los SIG permiten tener una visualización de manera clara y concisa de los resultados de los análisis y modelos realizados a las cuencas.

La implementación efectiva de los SIG también se enfrenta a diferentes desafíos y consideraciones que es necesario que se tengan en cuenta como lo son:

- La calidad y disponibilidad de datos: en el estudio de cuencas existe la posibilidad de escasez de datos básicos como la topografía, uso de suelo y agua, etc., además, la diversidad de formatos y escalas de los datos dificultan su integración y análisis.
- Complejidad de las cuencas: estos sistemas son complejos debido a las múltiples interacciones que hay en ellos entre componentes físicos, biológicos y sociales.

Además, que los procesos hidrológicos existentes en las cuencas hidrográficas se dan en una variabilidad de escalas lo que resulta complejo a la hora de realizar los modelos.

- Tecnología y conocimiento del software: para la utilización efectiva de los SIG es necesario contar con formación especializada y, además, contar con herramientas tecnológicas de calidad para su buen desarrollo.
- Costos: adquirir licencias de software suele ser costoso al igual que la recopilación y el procesamiento de datos.

Los SIG nos ofrecen innumerables beneficios a la hora de darle manejo a una cuenca hidrográfica, por ello, es necesario abordar los desafíos que se presenten de manera proactiva y adoptando diversas estrategias que nos permitan dar solución a cualquier inconveniente que se vaya presentando desarrollando por ejemplo bases de datos geográficos integrados y actualizados adoptando estándares que nos permitan el intercambio de datos, capacitarse en el manejo de los SIG, hacer uso de los diferentes software libres y de código abierto lo que permitirá reducir costos y demás estrategias necesarias.

6. Conclusión

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son medios esenciales en la integración, análisis y visualización de datos espaciales. Los SIG permiten entender mejor los patrones espaciales, modelar fenómenos complejos y optimizar recursos mediante la aplicación de análisis geoespaciales avanzados.

En el manejo de cuencas es fundamental emplear los sistemas de información geográfica (SIG) ya que estos nos permiten una gestión efectiva de recursos hídricos. Estos sistemas nos facilitan la recopilación, análisis y visualización de datos espaciales relacionados a la cuenca, que es de gran importancia en la planificación y toma de decisiones en la gestión ambiental y la prevención de riesgos naturales. La integración de tecnologías SIG proporciona herramientas poderosas para evaluar el uso del suelo, monitorear la calidad del agua, gestionar la erosión del suelo y optimizar la distribución de recursos, promoviendo así una gestión sostenible y resiliente de las cuencas hidrográficas.

7. Referencias

- Aguilar Aza Jessica Carolina & Naranjo Sandoval Lisseth Gabriela. (2018). *Elaboración de la base de información hidrometeorológica de la cuenca del río Guayas para el procesamiento con el modelo hydraccess ante inundaciones*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Aguirre, N. (2007). *MANUAL PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS*. Universidad Nacional de Loja.
- Asensio, I., Blanquer, G., Manuel, J., & Ramón, M. (s. f.). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural*.
- Asensio, I., Ramón, M., & Blanquer, G. (s. f.). *Escuela técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural*.
- Barco, J., Cuartas, A., Mesa, O., Poveda, G., Vélez, J. I., Mantilla, R., Hoyos, C., Mejía, J. F., Botero, B., & Montoya, M. (2000). Estimación de la evaporación en Colombia. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 07, Article 07. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/92231>
- Camacho. (2019). *SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA APLICADOS A LAS REDES DE DISTRIBUCCION DE SANEAMIENTO BASICO PARA REDUCIR LAS NECESIDADES BÁSICAS Y AUMENTAR EL DESARROLLO DE LA POBLACIÓN*. Universidad de Pamplona.
- Carmona, A., & Monsalve, J. J. (1999). *SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS*. 44.
- Carrera-Villacrés, D. V., Guevara-García, P. V., Tamayo-Bacacela, L. C., Balarezo-Aguilar, A. L., Narváez-Rivera, C. A., & Morocho-López, D. R. (2016). Relleno de series anuales de

- datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media. *Idesia (Arica)*, 34(3), 81-90.
<https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300010>
- CICLO HIDROLOGICO. (s. f.). Climatica. Recuperado 30 de junio de 2024, de
<https://bit.ly/2L9MxEW>
- Corporación de Cuencas, del Tolima, & CORCUENCAS. (2014). *Morfometria*.
https://cortolima.gov.co/sites/default/files/POMCAS/2020/POMCA_RECIO_VENADILLO/3_5_Morfometria.pdf
- Felícísimo, A. M. (s. f.). *Modelos Digitales del Terreno*.
- Fernanda Julia Gaspari, Alfonso Martín Rodríguez Vagaría, & Fabio Alejandro Montealegre Medina. (2019). *MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS*. Universidad de la Plata.
<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/87641>
- Francisco Alonso Sarria. (s. f.). Cartografía y Geodesia. En *Cartografía y Geodesia*.
- Gaspari, F. J., Senisterra, G. E., & Marlats, R. M. (2007). Relación precipitación—Escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*.
- Institute, Environmental Systems Research*. (2024).
- Jairo Israel Zhica y Lombaida. (2020). *Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, Canton Gualaceo*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Lilia Ojeda Toche & Lizbeth Tovar Plata. (2016). *El análisis espacial como una herramienta para el estudio del transporte de carga urbano*. 14.
<http://dx.doi.org/10.4995/CIT2016.2016.4125>

- Manual_Manejo_Cuencas_2007a-libre.pdf*. (s. f.). Recuperado 6 de julio de 2024, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/52205935/Manual_Manejo_Cuencas_2007a-libre.pdf?1489899347=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUniversidad_Nacional_de_Loja.pdf
- Martínez Solano, F. J. (2002). *Aplicación de los sistemas de información geográfica a la gestión técnica de redes de distribución de agua potable* [Universitat Politècnica de València]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/46025>
- Michelle Vasconez, Andrea Mancheno, Cesar Alvarez, Claudia Prehn, Carina Ceballos, & Liliana Ortiz. (2019). *CUENCAS HIDROGRAFICAS* [Universidad Politecnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Morales, A. (2022, febrero 2). Diferencias entre los sistemas de coordenadas geográficas y proyectadas. *MappingGIS*. <https://mappinggis.com/2022/02/diferencias-entre-los-sistemas-de-coordenadas-geograficas-y-proyectadas/>
- Navarro, S. M. (2019). *SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG), APLICADO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL (OT)*.
- Núñez, M. A. (2011). *La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos*. 5.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de informacion geografica*.
- Rangel Cañizares, J. L. (2019). *Los sistemas de información geográficos en la zonificación de amenaza por deslizamientos* [Universidad de Pamplona]. file:///C:/Users/dexib/Desktop/MONOGRAFIA/Rangel_2019_TG.pdf

- Schosinsky, G., & Losilla, M. (2000). Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. *Revista geológica de América central*, 23. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i23.8579>
- Seco, R. (2010). *Aplicacion de un Sistema de Informacion Geografica al analisis de los datos de incendios forestales en España* [Escuela Universitaria de Ingenieria Tecnica Forestal Centro de Automatica y Robotica]. <https://oa.upm.es/3454/>