



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CAMPUS ARAGÓN

**“SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
APLICADAS A LA HIDROLOGÍA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

ENRIQUE REYNA GARCÍA

Asesor: M. en C. Luis Pomposo Viguera Muñoz

MÉXICO

2012

FES ARAGON



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

“SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADAS A LA HIDROLOGÍA”

Índice

Introducción.....	I
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	13
CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DE LA CUENCA	
2.1 CONCEPTOS GENERALES DE CUENCAS.....	20
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA.....	21
2.3 DEFINICIÓN DE CUENCAS HIDROLÓGICAS.....	22
2.4 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA HIDROLÓGICA.....	23
2.5 MORFOLOGÍA DE LAS CUENCAS HIDROLÓGICAS.....	23
2.6 PARÁMETROS FÍSICOS DE LA FORMA DE LA CUENCA.....	23
2.7 FORMA DE LA CUENCA.....	24
2.8 ÁREA DE LA CUENCA.....	25
2.9 PERÍMETRO DE LA CUENCA.....	30
2.10 HIDROGRAFÍA.....	32
2.11 NÚMERO DE ORDEN DE LAS CORRIENTES.....	32
2.12 RELACIÓN DE BIFURCACIÓN.....	33
2.13 DENSIDAD DE DRENAJE.....	34
2.14 DENSIDAD DE CORRIENTES.....	35
2.15 SINUOSIDAD DE LAS CORRIENTES DE AGUA.....	36
2.16 LONGITUD DE FLUJO SUPERFICIAL.....	36
2.17 CARACTERÍSTICAS DE RELIEVE DE LA CUENCA.....	36
2.18 PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA.....	36
2.18.1 Criterio de Alvord.....	37
2.18.2 Criterio de Horton.....	38
2.18.3 Criterio de Nash.....	39
2.19 ELEVACIÓN DE LA CUENCA.....	40
2.19.1 Método de intersección.....	40
2.19.2 Método de la curva hipsométrica.....	40

2.20 PENDIENTE DEL CAUCE.	41
2.21 MÉTODO DE RELACIÓN DISTANCIA-ELEVACIÓN.....	42
2.22 MÉTODO DE COMPENSACIÓN DE ÁREAS.	42

CAPÍTULO 3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADAS A LA HIDROLOGÍA

3.1 DEFINICIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).	44
3.1.1 Ventajas y desventajas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	48
3.2 COMPONENTES DE UN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	49
3.2.1 Equipo	50
3.2.2 Base de datos.	51
3.2.2.2 Datos e información geográfica.....	52
3.2.2.3 Bases de datos geográficas.	53
3.2.3 Usuarios.	54
3.3 MEDIOS DE OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN.	55
3.4 BENEFICIOS QUE APORTA EL USO DE LOS SIG EN LA HIDROLOGÍA.	56
3.5 FUNCIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	56
3.6 PROGRAMAS PARA LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).	57

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS ESPACIAL DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

4.1 ANÁLISIS ESPACIAL.....	75
4.2 ESTRUCTURAS DE DATOS TIPO RASTER.	76
4.2.1 Ventajas y desventajas de datos tipo raster.	77
4.3 ESTRUCTURAS DE DATOS TIPO VECTORIAL.....	77
4.3.1 Ventajas y desventajas de datos tipo vectorial.	79
4.4 FOTOGRAFÍA AÉREA.....	79
4.4.1 Fotografía aérea de perspectiva u oblicua.	80
4.4.2 Fotografía aérea vertical.....	80
4.5 IMÁGENES DE SATÉLITES.	80
4.5.1 Resolución espacial.....	81
4.5.2 Resolución temporal.....	81

4.6 MAPAS.	82
4.6.1 Mapas topográficos.	82
4.6.2 Mapas temáticos.	83
4.7 MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT).....	83
4.7.1 Estructuras de codificación de la elevación.....	84
4.7.2 La construcción del MDE.....	85
4.7.3 Validación de un Modelo Digital de Elevaciones. Detección y corrección de errores.	86
4.7.4 Test para la validación de un mapa de elevaciones.....	87
4.7.5 Obtención de variables derivadas	89
4.7.6 Clasificación de las formas del relieve.....	93
4.7.7 Aplicaciones de los MDT. Apoyo en análisis estadísticos	94
4.7.7.1 Modelos climáticos.....	94
4.7.7.2 Modelos hidrológicos	96
4.7.7.3 Modelos de visibilidad	98
4.7.7.4 Modelos icónicos.....	99
4.7.7.5 Modelos análogos.	99
4.7.7.6 Modelos simbólicos.....	99
4.7.8 Propiedades básicas de los modelos digitales del terreno o MDT	100
4.8 GPS (SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL).	102
4.8.1 Ventajas y desventajas de los GPS.....	103
4.8.2 Tipos de Receptores GPS.....	103
4.8.3 Aplicaciones de los GPS.	104
4.9 REDES GEODÉSICAS.	104
4.10 CATASTROS.	105
4.11 SISTEMAS DE COORDENADAS.	106
4.11.1 Sistema de coordenadas UTM.	107
4.11.2 Sistema de coordenadas geográficas.	108
4.12 NOCIONES BÁSICAS DE CARTOGRAFÍA	109
4.12.1 Elementos de cartografía básica	109
4.13 PROYECCIONES	111

4.13.1 Proyecciones Cartográficas, cilíndricas, cónicas y planas.	111
--	-----

CAPÍTULO 5. EJEMPLO DE APLICACIÓN

5.1 ABRIR EL PROGRAMA.	115
5.2 ABRIR UNA VISTA.	116
5.3 PROPIEDADES DE LA VISTA.	117
5.4 ACTIVAR EXTENSIONES.	117
5.5 AÑADIR TEMAS A LA VENTANA DEL PROYECTO.	118
5.6 HACER VISIBLE LOS TEMAS.	119
5.7 FORMATO “.DXF” A “.SHP”.....	120
5.8 ELIMINAR TEMAS.	121
5.9 ACOMODAR TEMAS.	121
5.10 RENOMBRAR TEMA.	122
5.11 CAMBIO DE COLOR Y TIPO DE LEYENDA.....	123
5.12 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA.	124
5.13 CALCULO DE LOS RÍOS.	126
5.14 NÚMERO DE ORDEN DE LAS CORRIENTES.....	126

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.....	130
RECOMENDACIONES.....	145
Fuentes Consultadas.....	146



HIPÓTESIS

Es posible que con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica se puedan hacer cálculos de ingeniería civil como son las características fisiográficas de una cuenca en un plazo menor de tiempo y costo.

UTILIDAD

Entre sus múltiples utilidades los Sistemas de Información Geográfica sobresalen el obtener información instantánea y actualizada, apoyo en la fase de diagnóstico, facilidad en el análisis de la información, agilidad en la manipulación de datos, facilidad en las consultas, mayor nivel de procesamiento, integración y calidad de datos, información detallada, confiable y geo-referenciada, eficiencia en las respuestas (rápida, oportunas y confiables), y mayor velocidad de acceso a información tanto espacial como no espacial. Además de ser de suma importancia en múltiples aplicaciones tales como: catastro y territorio, planificación urbana (Gestión de inmuebles, transporte, tráfico, entre otros), Gestión de recursos naturales (Usos de suelos, simulación de fenómenos naturales), Gestión de servicios, Planificación comercial y mercadeo (localización de clientes, rutas más cortas, costos de distribución, entre otros), Estudios de impacto ambiental, y de trascendencia para los profesionistas ya que les brinda un mayor manejo y dominio de los sistemas en lo profesional.



INTRODUCCIÓN

A lo largo de la carrera de Ingeniería Civil se ven varias materias las cuales se encuentran íntimamente relacionadas una con otra, toda vez que es una profesión que cumple un papel importante en el desarrollo socioeconómico, su evolución se ha dado en los campos científicos y tecnológicos. La planeación, diseño, construcción y operación de las grandes obras de infraestructura, que permiten mejorar las condiciones de vida de nuestro país que corresponden en gran medida al trabajo desarrollado por los Ingenieros Civiles.

Sentado lo anterior, es de señalar que el presente trabajo de investigación, se abordara lo referente a los Sistemas de Información Geográfica Aplicadas a la Hidrología. Se va a comenzar por sintetizar, organizar y resumir las diferentes acepciones que existen de los SIG. El objetivo es crear el marco de referencia básico que nos permita hablar de ellos.

Para alcanzar el objetivo del capítulo 1 de esta investigación se abarcara desde su origen, creación, utilización, aplicación y transformación de los Sistema de Información Geográfica (SIG) en el mundo, así también el código de software y sistemas germinales como son: SYMAP, GRID y ODYSSEY, los cuales sirvieron de fuentes de inspiración conceptual para su posterior desarrollo comercial a universidades, centros de investigación y empresas de todo el mundo. Por lo consiguiente se aborda lo referente al desarrollo de la tecnología CAD la cual se aplicó para la manipulación de mapas y dibujos y la optimización del manejo gerencial de información cartográfica, así como el desarrollo paralelo de las disciplinas que incluyen la captura, el análisis y la presentación de datos en un contexto de áreas afines como catastro, cartografía, topografía, ingeniería civil, geografía, planeación urbana y rural, servicios públicos, entre otros, ha implicado duplicidad de esfuerzos.



El capítulo 2 abarcará las Características Fisiográficas de la Cuenca, como son la definición de lo que es una cuenca, sus características, estructura, su tamaño, forma, pendientes, factores físicos, sus condiciones climáticas, su salida, sus partes fundamentales entre otras. En tendiendo que una cuenca es un espacio geográfico cuyos aportes son alimentados exclusivamente por la precipitación y cuyos excedentes de agua o de sedimentos son transportados hasta un punto espacial único que puede ser: una desembocadura, una estación de aforo, o un punto arbitrario.

El capítulo 3 guarda especial importancia, debido a que dentro de este, se señalarán y estudiarán los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Hidrología que se basan en principios fundamentales muy diferentes; sin embargo, existe un vínculo entre los dos. Los SIG describen el medio ambiente, mientras la Hidrología describe cómo el ambiente afecta el flujo de agua a través del ciclo hidrológico. Un objetivo fundamental en la Hidrología Espacial es el uso de los datos espaciales y funciones de los SIG, a fin de ayudar a generar nuevas ideas y estrategias para solucionar problemas dentro de la Hidrología. También las ventajas y desventajas, los componentes de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los equipos (hardware), programas (software), los datos de información geográfica, los medios de obtención, funciones y programas de los SIG.

Dentro del capítulo 4 abarcará todo lo relacionado con el Análisis Espacial del Sistema de Información Geográfica, de ello se estudiarán las estructuras en formato Raster y Vectorial así como sus ventajas y desventajas; también los tipos de Fotografía Aérea como son: fotografía de perspectiva u oblicua y fotografía aérea vertical, las Imágenes de Satélites de Resolución Espacial y Temporal, los Mapas Topográficos y Temáticos, el Modelo Digital del Terreno (MDT) que son los elementos básicos de cualquier representación digital de la superficie terrestre, constituyen la base para un gran número de aplicaciones en ciencias de la Tierra, ambientales e ingenierías de diverso tipo, igualmente los



Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) que es un sistema basado en satélites artificiales, revolucionado las ciencias relacionadas con la georreferenciación, como la navegación, la geodesia y la topografía, reemplazando los métodos tradicionales por sofisticados sistemas de simple operación para el usuario final.

Las Redes Geodésicas, los Catrastos, los Sistemas de Coordenadas que es un sistema de referencia usado para localizar y medir elementos geográficos y que se clasifican en dos tipos: el sistema de coordenadas UTM (universal transversa de mercator), esta misma divide al planeta en 60 zonas o husos, la forma en que funciona este sistema de coordenadas es ubicando en un cilindro de tal forma que sea tangente a un meridiano y el Sistema de coordenadas geográficas su origen de ese mismo está determinado en el punto en donde se encuentran la línea del ecuador y la del meridiano de Greenwich. La altitud geodésica, o elipsóidica es la distancia del punto considerado al elipsoide elegido, las estaciones GPS proporcionan las coordenadas de: latitud, longitud y altura elipsoidal, la latitud varía de 0 a 90 grados en el hemisferio norte y de 0 a 90 grados en el hemisferio sur con las líneas imaginarias en posición paralela al ecuador a las cuales se le denominan paralelos o líneas ecuatoriales; las Nociones Básicas de la Cartografía que son fundamentales para entender y evitar la generación de errores en el manejo de información en un SIG. Términos como "escala", "proyección", "datum", "transformación de coordenadas".

En el capítulo 5 se mencionara un Ejemplo de Aplicación, que se realizará con la ayuda de un Sistema de Información Geográfico "ArcView Gis 3.2" que es una herramienta poderosa y fácil de usar que pone la información geográfica en su escritorio pues brinda la capacidad de visualizar, explorar, consultar y analizar datos espaciales, además de ser un producto de Environmental Systems Research Institute (ESRI), el más importante software de sistemas de información geográfica (SIG) y la Carta Topográfica del Río San Pedro Excatán del estado de Nayarit. El cual se desarrollará paso a paso siguiendo las



instrucciones e imágenes del presente trabajo, para efectuar el análisis hidrológico de una cuenca definiendo la ubicación y delimitando la cuenca de estudio, el cálculo de un Rio y el número de órdenes de las corrientes.

Dentro del capítulo 6 se establece una serie de conclusiones y recomendaciones en cuanto a la importancia de los Sistemas de Información Geográfica Aplicadas a la Hidrología, así como la utilidad y valor de conocer, utilizar y aplicar los sistemas a casos prácticos y concretos del mundo debido a que el planeta está en constante cambio el hombre tiene la necesidad de irse actualizando y explorando nuevos conocimientos que permitan un desarrollo integral tanto para el hombre como para el mundo.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES



CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En el año de 1962, el Dr. John Snow vio la primera utilización real de los Sistema de Información Geográfica (SIG) en el mundo, concretamente en Ottawa (Ontario, Canadá) y a cargo del Departamento Federal de Silvicultura y Desarrollo Rural. Roger Tomlinson desarrollo, el llamado Sistema de Información Geográfica de Canadá (*Canadian Geographic Information System, CGIS*) y fue utilizado para almacenar, analizar y manipular datos recogidos para el Inventario de Tierras Canadá (*Canada Land Inventory, CLI*), una iniciativa orientada a la gestión de los vastos recursos naturales del país con información cartográfica relativa a tipos y usos del suelo, agricultura, espacios de recreo, vida silvestre, aves acuáticas y silvicultura, todo ello escala de 1:50,000. Se añadió, así mismo, un factor de clasificación para permitir el análisis de la información.

El Sistema de Información Geográfica de Canadá fue el primer SIG en el mundo similar a tal y como los conocemos hoy en día, y un considerable avance con respecto a las aplicaciones cartográficas existentes hasta entonces, puesto que permitía superponer capas de información, realizar mediciones y llevar a cabo digitalizaciones y escaneos de datos. Asimismo, soportaba un sistema nacional de coordenadas que abarcaba todo el continente, una codificación de líneas en "arcos" que poseían una verdadera topológica integrada y que almacenaba los atributos de cada elemento y la información sobre su localización en archivos separados.

Como consecuencia de esto, Tomlinson está considerado como "el padre de los SIG", en particular por el empleo de información geográfica convergente estructurada en capas, lo que facilita su análisis espacial.^[1] El CGIS estuvo operativo hasta la década de los 90 llegando a ser la base de datos sobre recursos del territorio más grande de Canadá. Fue desarrollado como un



sistema basado en una computadora central y su fortaleza radicaba en que permitía realizar análisis complejos de conjuntos de datos que abarcaban todo el continente. El software, decano de los Sistemas de Información Geográfica SIG, nunca estuvo disponible de forma comercial.

En 1964, Howard T. Fisher formó en la Universidad de Harvard el *Laboratorio de Computación Gráfica y Análisis Espacial* en la *Harvard Graduate School of Design* (LCGSA 1965-1991), donde se desarrollaron una serie de importantes conceptos teóricos en el manejo de datos espaciales y en la década de 1970 había difundido código de software y sistemas germinales, tales como SYMAP, GRID y ODYSSEY, los cuales sirvieron como fuentes de inspiración conceptual para su posterior desarrollo comercial a universidades, centros de investigación y empresas de todo el mundo.

Durante los años 60's y 70's se empezó a aplicar la tecnología del computador digital al desarrollo de tecnología automatizada, excluyendo cambios estructurales en el manejo de la información, la mayoría de programas estuvieron dirigidos hacia la automatización del trabajo cartográfico; algunos pocos exploraron nuevos métodos para el manejo de información espacial, y se siguieron básicamente dos tendencias:

- Producción automática de dibujos con un alto nivel de calidad pictórica.
- Producción de información basada en el análisis espacial pero con el costo de una baja calidad gráfica.

La producción automática de dibujo se basó en la tecnología de *Diseño Asistido por Computador* (CAD). Este mismo se utilizó en la cartografía para aumentar la productividad en la generación y actualización de mapas. El modelo de base de datos CAD maneja la información espacial como dibujos electrónicos compuestos por entidades gráficas organizadas en layers o capas. Cada capa contiene la información de los puntos en la pantalla (o pixeles) que debe encender para la representación por pantalla. Estos conjuntos de puntos organizados por planos de visualización se guardan en un formato vectorial.



Las bases de datos incluyen funciones gráficas primitivas que se emplean para construir nuevos conjuntos de puntos o líneas en nuevas capas y definir un símbolo imaginado por el usuario. Posteriormente, a la simbología se le adicionó una variable "inteligente" al incorporar el texto.

El desarrollo de la tecnología CAD se aplicó para la manipulación de mapas, dibujos y para la optimización del manejo gerencial de información cartográfica. De allí se desarrolló la tecnología AM/FM (Automated Mapping / Facilities Management). El desarrollo paralelo de las disciplinas que incluyen la captura, el análisis y la presentación de datos en un contexto de áreas afines como catastro, cartografía, topografía, ingeniería civil, geografía, planeación urbana y rural, servicios públicos, entre otros, ha implicado duplicidad de esfuerzos. Hoy en día se ha logrado reunir el trabajo en el área de sistemas de información geográfica multipropósito, en la medida en que se superan los problemas técnicos y conceptuales inherentes al proceso.

En la década de los años 70's y principios de los 80's se inició en paralelo el desarrollo de dos sistemas de dominio público. El proyecto *Map Overlay and Statistical System* (MOSS) se inició en 1977 en Fort Collins (Colorado, EE.UU.) bajo los auspicios de la *Western Energy and Land Use Team* (WELUT) y el *Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos* (US Fish and Wildlife Service). En 1982 el *Cuerpo de Ingenieros del Laboratorio de Investigación de Ingeniería de la Construcción del Ejército de los Estados Unidos* (USA-CERL) desarrolla GRASS como herramienta para la supervisión y gestión medioambiental de los territorios bajo administración del Departamento de Defensa.

Esta etapa de desarrollo está caracterizada, en general, por la disminución de la importancia de las iniciativas individuales y un aumento de los intereses a nivel corporativo, especialmente por parte de las instancias gubernamentales y de la administración.



En la década de los 80's, M&S Computing (más tarde Intergraph), *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) y *CARIS (Computer Aided Resource Information System)* emergerían como proveedores comerciales de software SIG. Incorporaron con éxito muchas de las características de *CGIS*, combinando el enfoque de primera generación de Sistemas de Información Geográfica relativo a la separación de la información espacial y los atributos de los elementos geográficos representados con un enfoque de segunda generación que organiza y estructura estos atributos en bases de datos.

Los 80's y 90's fueron años de fuerte aumento de las empresas que comercializaban estos sistemas, debido al crecimiento de los SIG en estaciones de trabajo UNIX y ordenadores personales. Es el periodo en el que se ha venido a conocer en los SIG como la fase comercial. El interés de las distintas grandes industrias relacionadas directa o indirectamente con los SIG crece en sobremanera debido a la gran avalancha de productos en el mercado informático internacional que hicieron generalizarse a esta tecnología.

En la década de los 90's se inicia una etapa comercial para profesionales, donde los Sistemas de Información Geográfica empezaron a difundirse al nivel del usuario doméstico debido a la generalización de los ordenadores personales o microordenadores.

Estos años se caracterizan por la madurez en el uso de estas tecnologías en los ámbitos tradicionales mencionados y por su expansión a nuevos campos (SIG en los negocios), propiciada por la generalización en el uso de los ordenadores de gran potencia y sin embargo muy asequibles, la enorme expansión de las comunicaciones y en especial de Internet y el World Wide Web, la aparición de los sistemas distribuidos (DCOM, CORBA) y la fuerte tendencia a la unificación de formatos de intercambio de datos geográficos que propician la aparición de una oferta proveedora (Open Gis) que suministra datos a un enorme mercado de usuario final.



A finales del siglo XX principio del XXI el rápido crecimiento en los diferentes sistemas se ha consolidado, restringiéndose a un número relativamente reducido de plataformas. Los usuarios están comenzando a exportar el concepto de visualización de datos SIG a Internet, lo que requiere una estandarización de formato de los datos y de normas de transferencia. Más recientemente, ha habido una expansión en el número de desarrollos de software SIG de código libre, los cuales, a diferencia del software comercial, suelen abarcar una gama más amplia de sistemas operativos, permitiendo ser modificados para llevar a cabo tareas específicas.

En este sentido la aparición de productos como ARC-INFO en el ámbito del SIG o IGDS en el ámbito del CAD fue determinante para lanzar un nuevo mercado con una rapidísima expansión. La aparición de la Orientación a Objetos (OO) en los SIG (como el Tigris de Intergraph), inicialmente aplicado en el ámbito militar (*Defense Map Agency - DMA*) (OO) permite nuevas concepciones de los SIG. Pronto los SIG, se comienzan a utilizar en cualquier disciplina que necesite la combinación de planos cartográficos y bases de datos.

El incremento de la popularidad de las tendencias de programación distribuida y la expansión y beneficios de la máquina virtual de Java, permiten la creación de nuevas formas de programación de sistemas distribuidos, de esta manera aparecen los agentes móviles que tratan de solucionar el tráfico excesivo que hoy en día se encuentra en Internet. Los agentes móviles utilizan la invocación de métodos remotos y la serialización de objetos de Java para lograr transportar la computación y los datos.

Nace aquí un nuevo paradigma para el acceso a consultas y recopilación de datos en los Sistemas de Información Geográfica, cuyos mayores beneficios se esperan obtener en los siguientes años. El Mapa del Futuro es una Imagen Inteligente.



A partir de 1998 se empezaron a colocar en distintas órbitas una serie de familias de satélites que traerán a los computadores personales, antes del año 2003, fotografías digitales de la superficie de la tierra con resoluciones que oscilarán entre 10 metros y 50 centímetros. Empresas como SPOT, OrbImage, Earth Watch, Space Imaging y SPIN-2 han iniciado la creación de uno de los mecanismos que será responsable de la habilitación espacial de la tecnología informática. Curiosamente éste "Boom" de los satélites de comunicaciones, está empujando la capacidad de ancho de banda para enviar y recibir datos, hasta el punto de que en este momento, la capacidad solo concebida para fibra óptica de T1 y T3, se está alcanzando de manera inalámbrica.

Por otro lado la frecuencia de visita de estos satélites permitirán ver en cualquier parte del mundo casi cada hora. Las imágenes pancromáticas, multiespectrales, hiperespectrales, radar, infrarrojas, térmicas, crearán un mundo virtual digital a nuestro alcance. Este nuevo mundo cambiará radicalmente la percepción que tenemos sobre nuestro planeta.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS FISIográfICAS DE LA CUENCA



CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DE LA CUENCA

2.1 Conceptos generales de cuencas

Una cuenca es un espacio geográfico cuyos aportes son alimentados exclusivamente por la precipitación y cuyos excedentes de agua o de sedimentos son transportados hasta un punto espacial único que puede ser: una desembocadura, una estación de aforo, o un punto arbitrario (Llamas, 1993).

Algunas características de la cuenca que influye en los escurrimientos superficiales se pueden agrupar en: a) factores geométricos de la cuenca como son: su tamaño, forma y pendiente, b) factores físicos de la superficie del terreno como las características del suelo, la capacidad del almacenamiento superficial, la cubierta vegetal, el uso de la tierra, entre otros. Ambos grupos de factores deben ser abordados en los diversos estudios sobre cuestiones hidrológicas y de ellos se hace una somera descripción.

Una cuenca se delimita por un parteaguas que es una línea divisoria imaginaria que generalmente corresponde a la cresta que separa dos vertientes, teniendo en cuenta el drenaje superficial, pero en algunos casos se debe considerar la línea definida por las elevaciones más altas de la capa freática (almacenamiento de agua gravitacional en el suelo - agua libre en el suelo). Sin embargo, dado que dicho límite generalmente no difiere mucho del que está determinado por el drenaje superficial y cuando difiere un poco es muy difícil de detectar.

Dos cuencas sometidas a condiciones climáticas similares, pueden tener regímenes de flujo totalmente distintos. Esta diferencia se debe principalmente a las diversas características físicas de ambas. Aunque resulta evidente que factores como el tipo de suelo y el espesor de la capa permeable ejercen un

gran efecto sobre el régimen de flujo, la fisiografía puede ser importante en la respuesta de la cuenca a las precipitaciones.

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. Las endorreicas el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en las exorreicas su punto de salida está en los límites de las cuencas y está en otra corriente o mar.

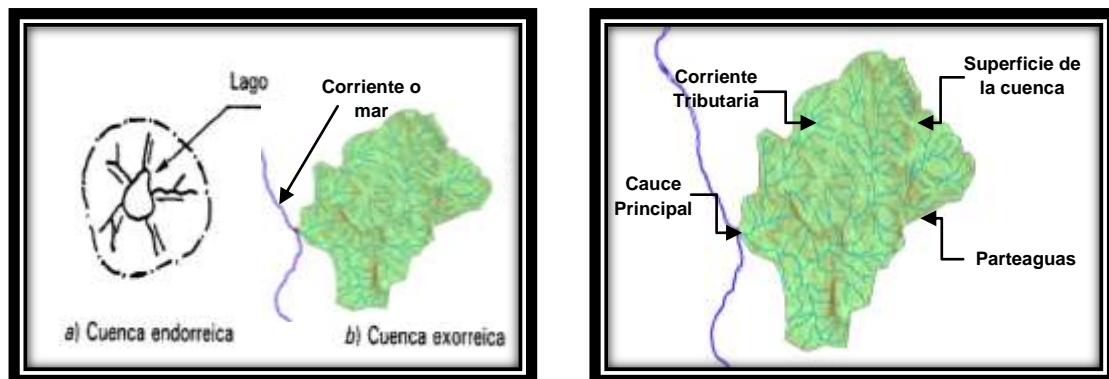


Fig. 2.1: Tipos de cuencas y sus partes.

2.2 Características de la cuenca

Las características físicas de una cuenca son elementos que tienen gran importancia en el comportamiento hidrológico de la misma. Dichas características físicas se clasifican en dos tipos según su impacto en el drenaje; las que condicionan el volumen de escurrimiento como puede ser el área y el tipo de suelo en la cuenca y las que condicionan la velocidad de respuesta como el orden de corriente, la pendiente, la sección transversal, entre otras.

La pendiente de la cuenca influye en buena parte la velocidad con que se da la esorrentía superficial y afecta, por lo tanto, el tiempo que lleva el agua de lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

Existe una estrecha correspondencia entre el régimen hidrológico y dichos elementos por lo cual el conocimiento de éstos son de gran utilidad práctica, ya que al establecer relaciones y comparaciones de generalización de ellos con



datos hidrológicos conocidos, puede determinarse indirectamente valores hidrológicos en secciones de interés práctico donde falten datos o donde por razones de índole fisiográfica o económica no sea factible la instalación de estaciones hidrométricas.

2.3 Definición de cuencas hidrológicas

CONAGUA (2006), señala la cuenca hidrológica como la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por una parteaguas o divisorias de las aguas "aquella línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad" en donde ocurre en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboquen en el mar.

En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexistente el recurso agua, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con estos y medio habiente. La cuenca hidrológica conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos. La cuenca hidrológica está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas están integradas por microcuencas.

American Planning Association (2008) por su parte, afirma que, la cuenca hidrológica es el área geográfica de donde el agua fluye hacia un sitio y está determinada por la forma de la tierra (topografía) puede ser delimitada en base a las curvas de nivel en los mapas topográficos.

Ven Te Chow (1994) señala que la cuenca hidrográfica es una superficie de tierra que drena hacia una corriente en un lugar dado y que se compone de una línea divisoria que separa la superficie de tierra cuyo drenaje fluye hacia un río de las demás superficies de la tierra.

2.4 Delimitación de la cuenca hidrológica

Uno de los primeros pasos que se consideran para efectuar el análisis hidrológico de una cuenca, es definir la ubicación y delimitar la cuenca de estudio. Lo que lleva a efectuar el trazo de la línea imaginaria que la delimita, comúnmente llamada parteaguas (figura 2.1) y la que según Aparicio (1999), es una línea formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas, además, Molina (1975) menciona que las líneas de flujo son perpendiculares a las curvas de nivel del terreno hasta un punto del cauce del río que sirve como salida de las aguas que caen dentro de la cuenca.

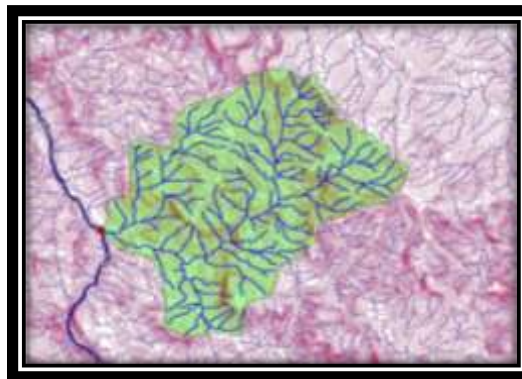


Fig. 2.2: Delimitación de una cuenca hidrológica.

2.5 Morfología de las cuencas hidrológicas

Los parámetros de la cuenca se han dividido en dos principales grupos: El primero se compone de los parámetros físicos de la forma de la cuenca, referido principalmente a la fisiográfica que está definida como la descripción de la naturaleza a partir del estudio del relieve y la litosfera, en conjunto con el estudio de la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera. (Villota, 1989). El segundo grupo está referido básicamente al relieve (pendiente y elevación) de la cuenca.

2.6 Parámetros físicos de la forma de la cuenca

Estos parámetros describen las características físicas de las cuencas, desde los aspectos morfológicos, lineales y de área.



Fig. 2.3: Parámetros físicos de la cuenca.

2.7 Forma de la cuenca

La forma de la cuenca es la configuración del área de la cuenca vista en planta y la que según Linsley (1977) afecta los hidrogramas escorrentía y las tasas de flujo máximo. Para una misma superficie y para una misma lluvia, el hidrograma en la salida de una cuenca de forma muy concentrada (en hemiciclo por ejemplo) será muy diferente al de una cuenca muy alargada. Esto lleva entonces a tener que definir índices de forma de una cuenca (Remenieras, 1974), como a continuación se menciona:

- Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad, K_c

$$K_c = \frac{P}{2\pi r} = 0.28 \frac{P}{A^{1/2}}$$

Cuando K_c es cercano a 1.0 indica que la forma es casi una circunferencia. K_c mayores que 1.0 indica menor circular la cuenca. Cuencas con K_c cercano a 1.0 tienen más problemas de crecientes (gastos muy grandes, inundaciones).

- Factor de forma (K_f)

$$K_f = \frac{B}{L_a}; \quad K_f = \frac{A}{L_a^2}; \quad B = \frac{A}{L_a}$$

B = Ancho medio

L_a = Longitud axial de la cuenca (medido sobre el cauce más largo desde la cabecera hasta la salida de la cuenca)

A = Área de la cuenca.



Suponga dos cuencas de la misma Área. La que tiene factor de forma más alto tiene más problemas de crecientes.

2.8 Área de la cuenca

El área de una cuenca es la superficie limitada por la proyección horizontal del parteaguas y la limitación de la boquilla. En cuencas grandes el área se expresa en km^2 mientras que en cuencas pequeñas se expresa en ha, una clasificación del tamaño de las cuencas se presenta en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Clasificación de las cuencas en base al área.

Magnitud de la cuenca (km^2)	Descripción
<25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia-Pequeña
500 a 2,500	Intermedia-Grande
2,500 a 5,000	Grande
> 5,000	Muy Grande

Tanto las cuencas grandes y pequeñas no necesariamente se analizan con los mismos criterios. En una cuenca pequeña la forma y cantidad de escurrimiento están influidas principalmente por las condiciones físicas del suelo, por lo que el estudio hidrológico se debe enfocar más a la cuenca misma. En una cuenca muy grande el efecto de almacenaje del cauce es muy importante por lo que se debe dar atención a las características de dicho cauce (Tetumo, 1993).

Para medir el área de la cuenca se puede utilizar la cuadrícula de referencia del plano topográfico (cuadrícula UTM), la cual tiene cuadros de 1 km por 1 km, cada uno con un área de 1 km^2 , o la utilización de un planímetro. Para el primer caso, se contarán los cuadros enteros que caen dentro de la cuenca y se sumarán al conteo los cuadros que puedan ser completados por dos o más fracciones.

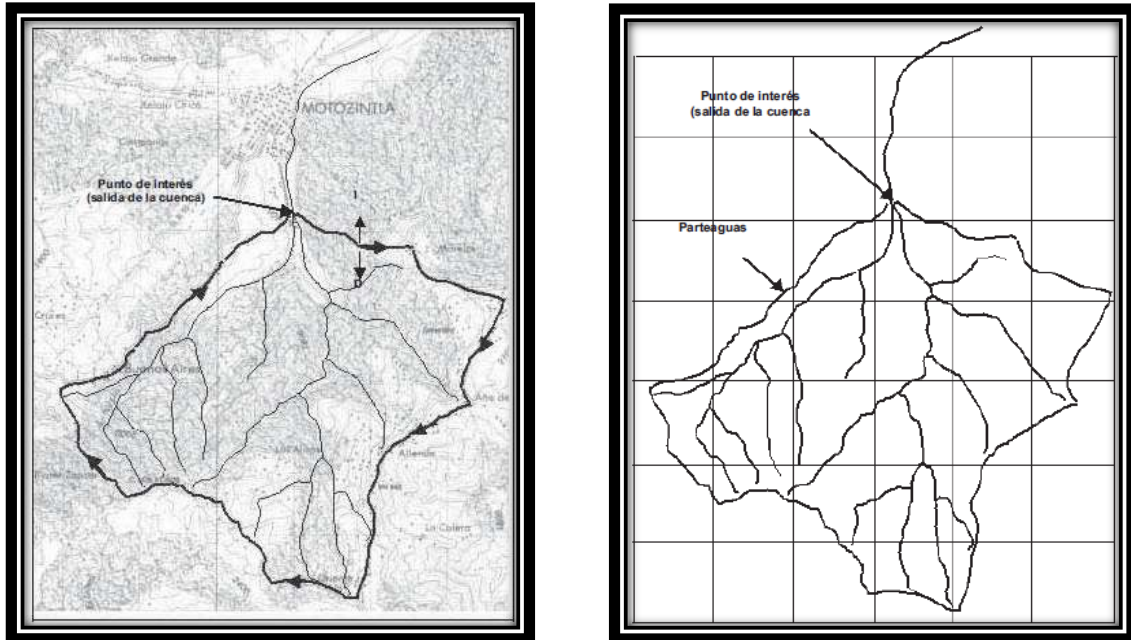


Fig. 2.4: Trazo del parteaguas y cuadrícula para determinar el área de la cuenca.

En la cuenca del ejemplo (figura 2.4), se pueden contar dentro de la cuenca 8 cuadros enteros, 7 cuadros completados mediante fracciones de cuadro y un medio cuadro, en total 15.5 cuadros y por lo tanto la cuenca tiene un área aproximada de 15.5 km.

Segundo caso:

El instrumento natural para medir una superficie irregular es un planímetro, y su principal problema es su precio elevado, igual que el curvímetro, el funcionamiento es absolutamente mecánico de modo que las teclas y la pantalla de los modelos modernos lo único que aportan es una lectura más cómoda. En cualquiera de los tipos la superficie se mide por el número de vueltas que ha dado una rueda que tiene el planímetro por su parte de abajo. La rueda a veces gira en un sentido, a veces al revés, y a veces no gira por que se mueve lateralmente. No obstante, si el recorrido comienza y termina exactamente en el mismo punto, nos indica la superficie comprendida.

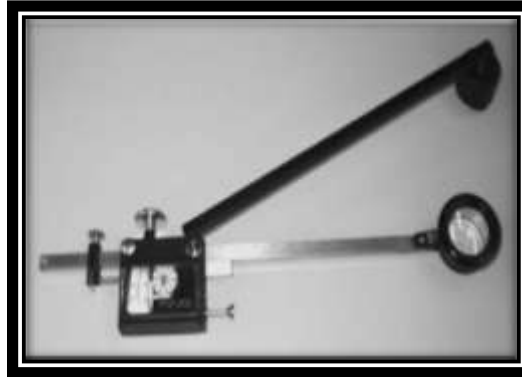


Fig. 2.5: Planímetro con lectura mecánica.

Elementos del Planímetro

Los elementos del planímetro son:

1. **Trazador**, el cual consta de una lupa, sirve para recorrer el perímetro de la figura del cual se desea calcular su área.
2. **Brazo trazador**, une el cuerpo del planímetro con el trazador, puede ser fijo o móvil.
3. **Cuerpo**, es donde se realizan las lecturas, consta de un disco, un rodillo giratorio y un vernier.
4. **Brazo polar**, une el cuerpo del planímetro con el polo, puede ser fijo o móvil.
5. **Polo**, es un apoyo fijo, alrededor del cual se realizan los giros cuando se realiza la lectura.



Fig. 2.6: Elementos del planímetro.

Cuando se efectúan las lecturas con el planímetro, se deben tener las siguientes precauciones:

1. Por recomendación de los fabricantes, el ángulo α que se forma entre los brazos trazador y polar, debe estar entre 30° y 120° , es decir:

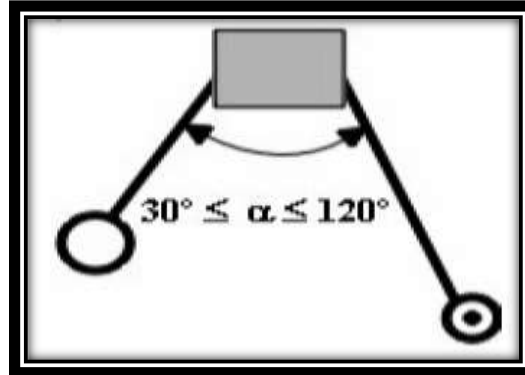


Fig. 2.7: Ángulo al que se debe someter el planímetro.

Si esto no es posible, puede:

- cambiar la posición del polo
 - dividir la superficie en área más pequeñas, y calcular éstas en forma separada
2. Cuando se recorre el perímetro de la figura, el polo se debe desplazar en sentido horario.

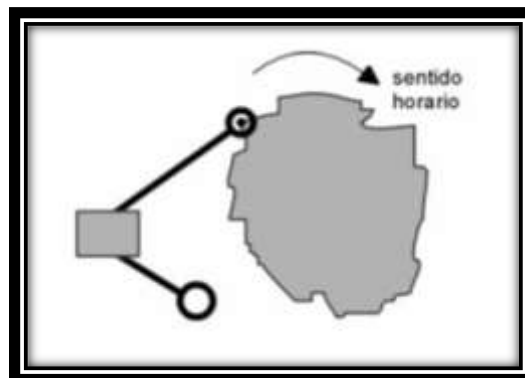


Fig.2.8: Desplazamiento del Polo en sentido de las manecillas del reloj

3. Evitar que la superficie donde se desplaza el cuerpo del planímetro sea liza, para que el rodillo ruede y no se deslice sin marcar.

Lectura en un planímetro

Las lecturas en un planímetro se expresan en unidades de vernier (UV) y consta de 4 dígitos, como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 2.2 Lectura en el Planímetro

Lectura en disco (1)	Lectura en rodillo (2)	Lectura en rodillo (3)	Lectura en vernier (4)
-------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

1. Lectura en el disco, se toma el valor que está antes de la marca, en el caso de la figura, el primer dígito de la lectura es 6.



Fig.2.9: Lectura del disco

2. Lectura en el rodillo, se toma el valor que está antes de la marca, pero corresponde a las divisiones mayores. En la figura, el segundo dígito de la lectura es 4.

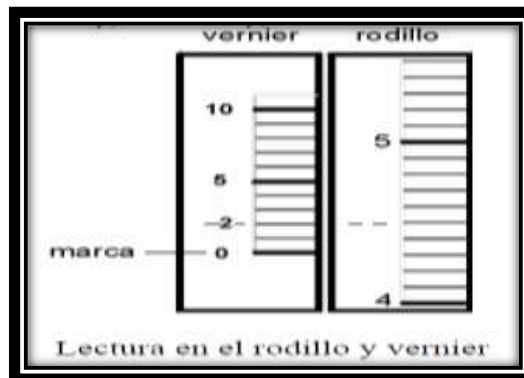


Fig.2.10: Lectura en el Rodillo

3. Lectura en el rodillo, se toma el valor que está antes de la marca, pero corresponden a las divisiones menores. En la figura, el tercer dígito de la lectura es 3.

4. Lectura en el vernier, se toma el valor en la escala del vernier, que esté en línea recta, con la escala de las divisiones menores del rodillo. En la (figura 2.10) el cuarto dígito de la lectura es 2.

En el mercado, se pueden conseguir también planímetros digitales. Ver (figura 2.11).



Fig. 2.11: Planímetro digital.

2.9 Perímetro de la cuenca.

Se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca.

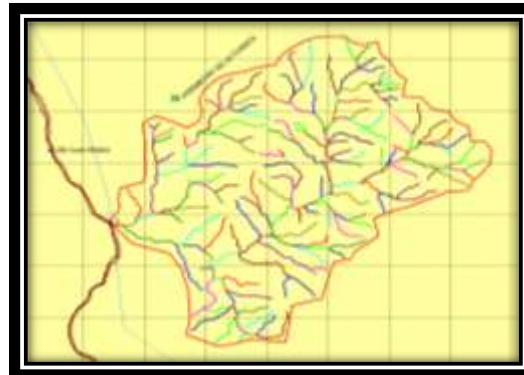


Fig. 2.12: Delimitación de la cuenca

Cálculo del perímetro de una cuenca

Debido a que la forma de la cuenca es muy irregular, el cálculo del perímetro de la cuenca no se puede realizar por fórmulas geométricas.

Sin embargo existen los siguientes métodos para su cálculo:

- Uso de un mecate (hilo)



- Uso del curvómetro

Uso de un mecate (hilo o pabilo)

El proceso de cálculo, es como sigue:

1. Con un mecate se bordea el perímetro de la cuenca, y se obtiene Lc (longitud de la cuenca medida en una regla), el cual corresponde al perímetro de la cuenca Pc .
2. Con la misma escala que está dibujada la cuenca, se dibuja una línea de dimensiones conocidas y se obtiene su longitud LI (medida con la regla), el cual tiene un perímetro PI .
3. Aplicar la regla de tres:

$$\begin{array}{l} Pc \longrightarrow Lc \\ PI \longrightarrow LI \end{array}$$

Luego:

$$Pc = \frac{Pl * Lc}{Ll}$$

Donde:

Pc = Perímetro de la cuenca a calcular

PI = Perímetro de la línea conocida

Lc = Longitud de la cuenca medida con mecate

LI = Longitud de la línea medida con mecate.

Uso del curvómetro

El curvómetro es un aparato que permite medir longitudes de forma muy irregular como es el perímetro de una cuenca, longitudes del cauce de un río, sus tributarios, y longitud de las curvas de nivel, estas se leen directamente sus longitud en km. en la escala correspondiente a la cartografía de trabajo.

Si bien el curvómetro ha sido utilizado habitualmente en épocas pasadas, hoy en día gracias a los sistemas CAD y/o SIG (sistemas de información geográfica), los cálculos de perímetro de un área o longitud cualquiera se resuelven inmediatamente, una vez que la cuenca ha sido digitalizada bajo un sistema de georreferenciación adecuado.

Uno de los sistemas CAD más difundidos es el Auto CAD™, con el cual y mediante las siguientes instrucciones es posible realizar el siguiente proceso: Command: área / object se obtiene el área del objeto que se selecciona y su perímetro, en las unidades de dibujo elevadas al cuadrado.

El uso del curvómetro para el cálculo del perímetro es muy similar al del mecate, en vez de bordear el perímetro con un mecate, lo hacemos con el curvómetro, la ecuación para su cálculo es la siguiente:



Fig.2.13: Curvómetro

$$P_c = \frac{Pl * L_c}{L_l}$$

Donde:

P_c = Perímetro de la cuenca a calcular

Pl = Perímetro de la línea conocida

L_c = Longitud del perímetro de la cuenca medida con el curvómetro

L_l = Longitud de la línea medida con el curvómetro.

2.10 Hidrografía

La hidrografía de la cuenca está definida por la representación gráfica de todos los cauces existentes al interior de ésta (Corriente principal y tributarias).

2.11 Número de orden de las corrientes

Este parámetro refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca (Monsalve, 2000). El orden de corriente se determina como se muestra en la figura 2.14. Una corriente orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene sólo tributarios de primer orden, etc. Dos corrientes de orden 1 forman una orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc., por

ejemplo, una corriente de orden 2 y una orden 3. El orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida, Aparicio 1999.

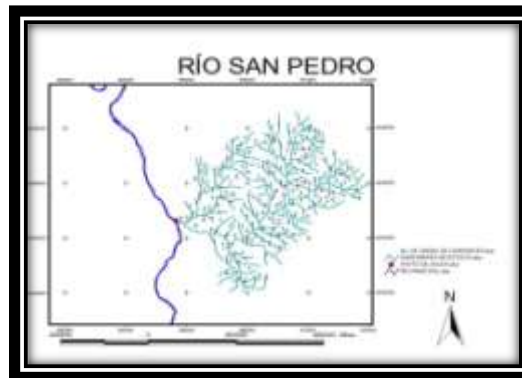


Fig.2.14: Ramificación o bifurcación de una cuenca

2.12 Relación de bifurcación

Se define la relación de bifurcación, R_b , como el resultado de dividir el número de canales de un orden dado entre el número de canales del orden inmediatamente superior:

$$R_b = \frac{N_n}{N_{n+1}}$$

Donde:

N_n = Número de canales de orden n

N_{n+1} = Número de canales de orden $n+1$.

El valor "medio" de bifurcación, R_b , de una cuenca se determina mediante la pendiente de la recta que resulta de graficar el logaritmo decimal del número de corrientes de cada orden en el eje de las ordenadas y el orden de las corrientes en el eje de las abscisas por medio de un ajuste de mínimos cuadrados. El valor "medio" se toma como el antilogaritmo de la pendiente de la recta ajustada a las parejas de valores.

Por lo general el rango de variación de R_b está entre 3 y 5 con una moda cercana a 4. Por estudios hechos se ha encontrado que el valor R_b no está correlacionado significativamente con el relieve y las variables hidrológicas de la cuenca. Esta es la razón por la cual los valores de R_b se han tomado como una variable aleatoria.



Con base en estudios estadísticos de su estimación se le ajustó la siguiente relación:

$$N_n = R_b^{k-n} - \log N_n = (k - n) \log R_b$$

Donde:

K = Orden mayor de los canales de la cuenca en estudio

N = Orden del canal en el cual estamos interesados

N_n = Número de canales para el orden n.

Claramente se observa que el valor mínimo de R_b es dos y generalmente nunca se encuentran valores cercanos a éste bajo condiciones naturales. En general se puede decir que los valores de R_b para cuencas de una misma zona son muy similares. Normalmente valores muy altos de R_b son esperados en regiones muy montañosas y rocosas o en cuencas alargadas en la dirección del río principal o de mayor orden. En cuencas donde se tiendan a producir valores altos de R_b se tiende a encontrar bajos caudales picos pero conformando una hidrógrafa extensa. Una cuenca redondeada y con R_b bajo tiende a producir hidrógrafas picudas.

2.13 Densidad de drenaje

Se define como la longitud total de los cauces dentro de la cuenca, dividida entre el área total de drenaje, (Campos 1998), lo que resulta en longitud media de cauce por unidad de superficie. La ecuación que la define es la siguiente:

$$D_d = \frac{L_s}{A_c}$$

Donde:

D_d = Densidad de drenaje, en $\frac{\text{km}}{\text{km}^2}$

L_s = Longitud total de los cauces, en km

A_c = Área de la cuenca, en km².

La densidad de drenaje expresa las características geoecológicas del territorio de la cuenca. Los factores que controlan la densidad de drenaje son:

- Litología del Sustrato
- Permeabilidad del Suelo y capacidad de infiltración

- Cobertura vegetal y tipo de la misma

Estas características deben evaluarse en forma global ya que alta densidad de drenaje expresa materiales geológicos friables, suelos relativamente impermeables o escasa cobertura vegetal.

Constituye por lo tanto un indicador del potencial de erosividad intrínseco al territorio en estudio.

“Los materiales geológicos duros y resistentes tales como el granito, gneiss, arenisca y cuarcitas, tienden a originar BAJAS DENSIDADES de drenaje. Esto es debido a que la erosión fluvial es difícil (...) En materiales blandos, tales como margas y arcillas, las cuencas por pequeñas que sean, pueden suministrar la escorrentía suficiente como para erosionar el cauce (...) Los materiales muy permeables, como las arenas o las gravas tienden a originar bajas densidades de drenaje, dado que la infiltración es grande (...) Una roca débil producirá mucha menos densidad de drenaje en un clima húmedo, donde una espesa cobertura vegetal protege el material subyacente que en una región árida, donde no existe dicha cobertura”. (Strahler Arthur, op.cit).

2.14 Densidad de corrientes

Se expresa como la relación entre el número de corrientes y el área drenada. Esta relación proporciona una medida real de la eficiencia de drenaje, puede suceder que se tenga dos cuencas con la misma densidad de corriente y estén drenadas en forma muy diferente, (Springall 1970). Por lo que la densidad de corrientes expresa el número medio de cauces existentes por unidad de superficie como se muestra a continuación:

$$D_c = \frac{N_c}{A_d}$$

Donde:

D_c = Densidad de corrientes, número de corrientes/km²

N_c = Número de corriente, adimensional

A_d = Área de drenaje, en km².

Valores altos, cuencas bien drenadas.



2.15 Sinuosidad de las corrientes de agua

Es la relación entre la longitud del río principal a lo largo de su cauce y la longitud del valle medido en línea curva o recta.

$$S = \frac{L}{L_v}$$

Un valor de S menor o igual a 1.25 indica baja sinuosidad. Entre más sinuosos las velocidades en el cauce son menores.

2.16 Longitud de flujo superficial

Es la medida de la longitud del cauce más largo sobre el cauce principal, (Tetumo 1993). La longitud promedio del flujo de superficie se puede estimar con la ecuación siguiente:

$$L_o = \frac{1}{2D_d}$$

Donde:

L_o = Longitud de flujo de superficie

D_d = Longitud de drenaje.

Esta ecuación ignora los efectos de las pendientes del terreno y de los cauces, que tienden a alargar la trayectoria real del flujo superficial, (Linsley 1977). Sin embargo, el error derivado por no considerar los factores de las pendientes de los cauces y de las superficies del terreno no son significativos (Rivera, 1994).

2.17 Características de relieve de la cuenca

Los parámetros de relieve se calculan para describir a la cuenca e interrelacionarlos con las características hidrológicas de la misma o cualquier otra zona de estudio, (Rivera 1994).

2.18 Pendiente media de la cuenca

Este parámetro controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por lo tanto, el tiempo que lleva el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que contribuyen la red de drenaje

de las cuencas, (Monsalve 1999). Así mismo existen diversos criterios para la obtención de la pendiente de la cuenca, de esta manera se tiene el criterio de Alvord, Horton, Nash por mencionar algunos.

2.18.1 Criterio de Alvord

Este criterio se apoya en la definición de la pendiente del terreno entre curvas de nivel y posteriormente se obtiene el promedio ponderado. Es decir la pendiente de la cuenca es igual a la longitud total de curvas de nivel dentro de ella, multiplicada por el desnivel constante entre éstas y dividida entre el tamaño de la cuenca, Campos 1998. La ecuación para calcular la pendiente por medio de este criterio es la siguiente:

$$S_c = \left[\frac{D}{A} \right] L$$

Donde:

- Sc = Pendiente media de la cuenca, (Adimensional)
- D = Equidistancia vertical entre la curva de nivel, (km)
- A = Área de la cuenca, en km²
- L = longitud total de las curvas de nivel de equidistancia D.

O bien;

Analizando la pendiente existente entre curvas de nivel, trabajando con la franja definida por las líneas medias que pasan entre las curvas de nivel.

$$S_i = \frac{D}{w_i}$$

Donde:

$$w_i = \frac{a_i}{l_i}$$

En las formulas se tiene que:

- Si = Pendiente de la franja analizada (Adim)
- D = Desnivel entre líneas medias, equidistancia (km, m)
- Wi = Ancho de la franja analizada (km, m)
- ai = Área de la franja analizada (km², m²)
- li = Longitud de la curva de nivel correspondiente a la franja analizada i (km, m)
- A = Área total de la cuenca.

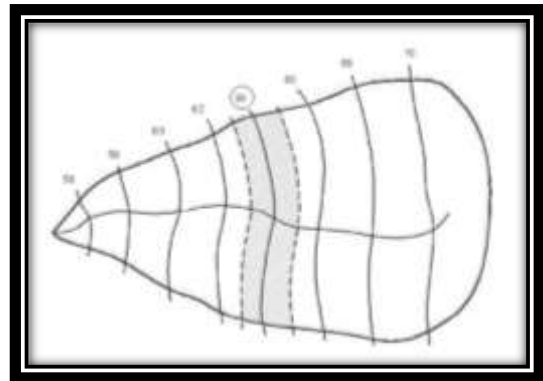


Fig. 2.15: Esquema de análisis para el cálculo de la pendiente en una franja según Alvord

Para la pendiente media de la cuenca se tiene

$$S = \frac{D * L}{A}$$

2.18.2 Criterio de Horton

Este método de cálculo consiste en determinar la pendiente de una superficie o cuenca en dos direcciones y luego en base a estas se determina la pendiente general, Rodríguez 1981 citado por (Rivera, 1994).

El primer caso de este criterio es el establecimiento de una cuadrícula regular sobre el plano de la cuenca de 250 km² o menor, se requiere por lo menos metros cuadrados por lado, aumentando su número según crezca el tamaño de la cuenca, Linsley 1949 citado por (Campos 1998).

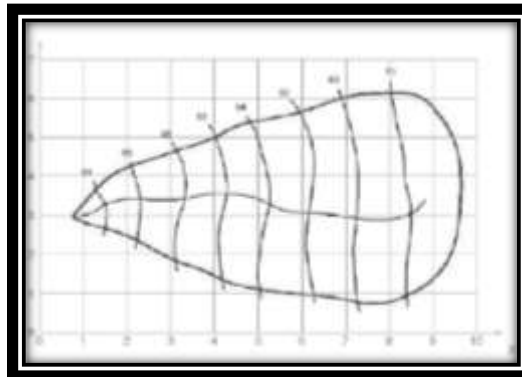


Fig. 2.16: Trazo de la cuadrícula para determinar la pendiente de una cuenca según Horton

Una vez trazada o sobrepuesta la cuadrícula se mide la longitud de cada línea de la cuadrícula dentro de la cuenca en ambos sentidos y se cuentan las intersecciones de cada línea de cuadrícula con las curvas de nivel. La pendiente de la cuenca en cada dirección se evalúa con las siguientes ecuaciones:
Ecuación para la pendiente en la dirección del eje X:

$$S_x = \left[\frac{N_x}{L_x} \right] D$$

Ecuación para la pendiente en la dirección del eje Y:



$$S_y = \left[\frac{N_y}{L_y} \right] D$$

Donde:

S_x y S_y = Pendiente de la cuenca en dirección X e Y

N_x y N_y = Número de intersección y tangenciales de las curvas de nivel con la malla en los sentidos X e Y

L_x y L_y = Longitud total de las líneas de malla en la dirección X e Y comprendidas dentro de la cuenca, (L)

D = Equidistancia entre curvas de nivel, (L).

Finalmente la ecuación de la pendiente media de la cuenca queda de la siguiente manera:

$$S_c = \frac{S_x + S_y}{2} \quad \text{Promedio aritmético}$$

$$S = \sqrt{S_x * S_y} \quad \text{Promedio geométrico}$$

2.18.3 Criterio de Nash

Es similar al criterio de Horton, se traza una cuadrícula en el sentido del cauce principal .que debe cumplir la condición de tener no menos de 30 intersecciones ubicadas dentro de la cuenca. En cada una de ellas se mide la distancia mínima (d) entre curvas de nivel, la cual se define como el segmento de recta de menor longitud posible que pasando por el punto de intersección, corta a las curvas de nivel más cercanas en forma aproximadamente perpendicular.

$$S_i = \frac{D}{d_i}$$

En la fórmula anterior se tiene que:

S_i = Pendiente en un punto intersección de la malla (Adim)

d_j = Distancia mínima de una intersección de la malla entre curvas de nivel (km. m)

D = Equidistancia entre curvas de nivel (km. m).

Para la pendiente media de la cuenca se tiene

$$S = \frac{\sum S_i}{n}$$



2.19 Elevación de la cuenca

La elevación media de una cuenca se puede obtener de dos maneras, con el método de intersección y con el método de la Curva Hipsométrica.

2.19.1 Método de intersección

En este método el mapa topográfico de la cuenca se divide en cuadros de igual tamaño considerando que por lo menos 100 intersecciones estén comprendidas dentro de la cuenca, la que puede ser la misma que utilizó para la determinación de la pendiente por el método de Horton. La elevación media de la cuenca se calcula como el promedio de las elevaciones de todas las intersecciones, Springall 1970. La ecuación que define lo anterior es la siguiente:

$$Em = \frac{\sum_{i=1}^{Ni} Elev_i}{NI}$$

Donde:

Em = Elevación media de la cuenca, (m.s.n.m.)

D = Elevación de las intersecciones. (m.s.n.m.)

N. I. = Número de intersecciones de la cuadrícula en la cuenca.

Al aplicar este criterio se acepta que la elevación de cada intersección de la malla es representativa de un área igual a un cuadro de ésta.

2.19.2 Método de la curva hipsométrica

Es la representación gráfica de las elevaciones del terreno en función de la superficie correspondiente acumulada entre curvas de nivel consecutivas (relieve), la cual nos permite calcular la elevación media de la cuenca. Para realizarlo se lleva, a escalas convenientes, la altitud dada en las ordenadas y la superficie de la cuenca, para la cual cada punto tiene de cota al menos igual a esa altitud, en proyección horizontal, en las abscisas, (TRAGSA 1998). Así la elevación media de la cuenca se calcula como el cociente entre el volumen de la cuenca (superficie comprendida entre la curva isométrica y los ejes coordenados) y su superficie, es decir.

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

Donde:

Em = Elevación media de la cuenca, (m.s.n.m.)

V = Volumen de la cuenca, (m³)

A = Superficie de la cuenca, (m²).

La curva hipsométrica permite caracterizar el relieve. Una pendiente fuerte en el origen hacia cotas inferiores indican llanuras o penillanuras; si la pendiente es muy fuerte hay peligro de inundaciones. Una pendiente muy débil en esa parte revela un valle encajonado. Una pendiente fuerte hacia la parte media indicada una meseta, (TRAGSA 1998).

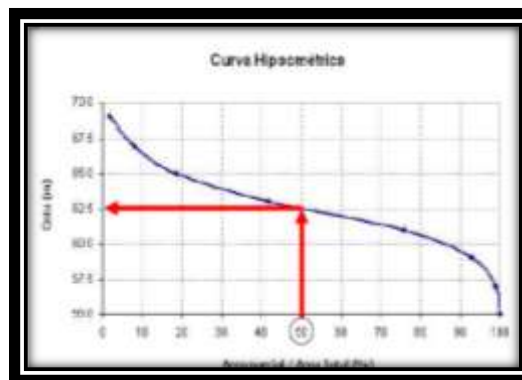


Fig.2.17: Gráfica de la Curva Hipsométrica

2.20 Pendiente del cauce

La pendiente de un cauce influye sobre la velocidad del flujo y por lo cual juega un papel muy importante en forma de hidrograma. Los perfiles típicos de los cauces naturales son cóncavos hacia arriba; además, todas las cuencas, con excepción de las más pequeñas, tienen varios cauces cada una con perfil diferente. Por esta razón, la definición de la pendiente promedio de un cauce en una cuenca es muy difícil. Por lo general sólo se considera la pendiente del cauce principal, (Linsley 1977).

Existen varios métodos para obtener la pendiente de los cauces, aquí se mencionan los siguientes:



2.21 Método de relación distancia-elevación

El perfil del cauce se puede representar llevando en una gráfica los valores de las distancias horizontales medidas sobre el cauce en relación a sus elevaciones respectivas. En general, la pendiente de un tramo de río se considera como el desnivel entre los extremos del tramo, dividido entre la longitud horizontal de dicho tramo, (Tetumo 1993).

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde:

S = pendiente del tramo

V = Desnivel, (Km)

L = Longitud del cauce, (Km).

2.22 Método de compensación de áreas

Otra forma de definir la pendiente de un cauce es aceptada como la pendiente de un cauce, la de una línea recta que se apoya en el extremo final del tramo por estudiar y cuya propiedad es contener entre ella y la línea de perfil del cauce la misma área abajo y arriba de ella. En este método, se sustituye también en la ecuación anterior, (Tetumo 1993).

CAPÍTULO 3

**SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADAS A LA
HIDROLOGÍA**



CAPÍTULO 3

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADAS A LA HIDROLOGÍA

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Hidrología se basan en principios fundamentales muy diferentes; sin embargo, existe un vínculo entre los dos. Los SIG describen el medio ambiente, mientras la Hidrología describe cómo el ambiente afecta el flujo de agua a través del ciclo hidrológico. Un objetivo fundamental en la Hidrología Espacial es el uso de los datos espaciales y funciones de los SIG, a fin de ayudar a generar nuevas ideas y estrategias para solucionar problemas dentro de la Hidrología.

3.1 Definición de Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Para comenzar a trabajar en cualquier materia, el primer paso debe ser el establecimiento del marco conceptual donde vamos a movernos. Por ello se debe intentar definir con la mayor precisión posible los Sistemas de Información Geográfica. Se va a comenzar por sintetizar, organizar y resumir las diferentes acepciones que existen de los SIG. El objetivo es crear el ese marco de referencia básico que nos permita hablar de los SIG. Además, se puede afirmar que “desde que la idea de los SIG fue concebida hace unos 25 años han evolucionado de igual manera que su conceptualización” (BARREDO, 1996).

Se ha realizado una pequeña recopilación de definiciones del concepto, tanto de la bibliografía española de la cual se ha respetado la traducción indicando el autor que lo ha traducido como anglosajona, clasificándola por el aspecto en el que se hace mayor hincapié. Así, puede hablarse, según nuestro criterio, de definiciones *globales*, *funcionales* y *tecnológicas*.

- A. **Definiciones Globales** son aquellas donde predomina la idea global y abstracta de la técnica. Se atiende a los objetivos generales de los SIG, sin especificar qué funciones realiza o los métodos concretos que utilizan. Son definiciones donde importa menos *el cómo* y *con qué*, e interesa más *el qué*.



Tabla 3.1 Definiciones Globales.

Los SIG, más que una tecnología, son un instrumento nuevo de percepción y comprensión del territorio (DE ABREU, 1996).
Un SIG es un intento más o menos logrado según los casos de constituir una visión esquemática de una realidad compleja (BOSQUE, 1994).
Un Sistema de Información Geográfica puede ser concebido como una especialización de un sistema de bases de datos, caracterizado por su capacidad de manejar datos geográficos, que están georreferenciados y los cuales pueden ser visualizados como mapas (BRACKEN AND WEBSTER, 1992).
Una base de datos espacializada que contiene objetos geométricos (CEBRIÁN, 1994).
Un SIG abarca tecnología de la información, gestión de la información, asuntos legales y de negocios, y conceptos específicos de materias de un gran abanico de disciplinas, pero es implícito en la idea de SIG que es una tecnología usada para tomar decisiones en la solución de problemas que tenga al menos una parte de componente espacial (MAGUIRE, GOODCHILD y RHIND, 1991) (CASSETARI, 1993).
Vemos a un Sistema de Información Geográfica esencialmente como una herramienta para la investigación urbana y regional, análisis de políticas, simulación de actuaciones y planificación. Un SIG consiste en una base de datos que contiene datos referenciados espacialmente y, que como un LIS (<i>Land Information System</i>), tiene una serie de procedimientos y técnicas para la recogida, actualización y análisis de los datos (SCHOLTEN Y VAN DER VLUNGT, 1990).

B. Las **Definiciones Funcionales** atienden a las tareas que pueden realizar. En principio estos sistemas deben servir para un objetivo básico que es la comprensión y uso de datos espaciales. La coincidencia en las funciones de los SIG es plena en casi todas las definiciones dadas por



los distintos autores, siendo las más repetidas las siguientes: introducción, almacenaje, recuperación, análisis, modelado y representación. Aronoff (1991) las agrupa en cuatro grandes apartados: entrada de datos, uso de los datos, manipulación y análisis, y salida.

Tabla 3.2 Definiciones Funcionales.

Software utilizado para automatizar, analizar y representar datos gráficos georreferenciados y organizados según un modelo topológico (AESIGT, 1993).
Sistema computarizado que provee los siguientes cuatro conjuntos de operaciones para tratar datos georreferenciados: 1) entrada de datos; 2) uso de los datos (almacenamiento y recuperación); 3) manipulación y análisis; 4) salida (ARONOFF, 1991).
Un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos (BURROUGH y MCDONNELL, 1997).
Sistema para capturar, almacenar, validar, integrar, manipular, analizar y representar datos referenciados sobre la tierra (DOE, 1987).
Un sistema de base de datos computarizados para captura, almacenaje, recuperación, análisis y visualización de datos espaciales (HUXHOLD, 1991).
Un Sistema de Información Geográfica es una colección de tecnología de la información, datos y procedimiento de captación de información, almacenamiento, manipulación, análisis y presentación en mapas y estadísticas sobre características que puedan ser representadas en mapas (HUXHOLD AND LEVISOHN, 1995).
Actualmente, puede ser considerado como SIG, los sistemas de <i>software</i> que incluyen cuatro funciones (entrada, almacenaje, manipulación, y análisis y representación); y debe realizar eficientemente las cuatro tareas (MARBLE, 1990).
Un sistema de <i>hardware</i> , <i>software</i> y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida



de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión (NCGIA, 1990).

Conjunto integrado de medios y métodos informáticos, capaz de recoger, verificar, intercambiar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar y mostrar datos espacialmente referenciados a la tierra (RODRÍGUEZ PASCUAL, 1993).

Un SIG no es simplemente un sistema informático para hacer mapas, aunque pueda crearlos a diferentes escalas, en diferentes proyecciones y con distintos colores. Un SIG es una herramienta de análisis. La mayor ventaja de un SIG es que permite identificar las relaciones espaciales entre características de varios mapas. Un SIG no almacena un mapa en sentido convencional, ni almacena una imagen concreta o vista de una área geográfica. En vez de ello, un SIG almacena los datos a partir de los cuales se puede crear la escala deseada, dibujada para satisfacer un producto. En suma un SIG no contiene mapas o gráficos, sino una base de datos. El concepto de las bases de datos es central para un SIG, y es la principal diferencia entre un SIG y un simple graficador o sistemas informático de cartografía, que solo puede producir buenos gráficos (UNDERTANDING GIS, 1995 - traducción de Torres Alfosea, 1995).

C. **Definiciones Tecnológicas** serían aquellas que reflejan un interés especial por la técnica utilizada; *SIG y Medio Ambiente: principios básicos* es decir, destacan el uso de la informática como medio para el fin último: la comprensión de los datos espaciales.

Tabla 3.3 Definiciones Tecnológicas.

Tecnología informática para gestionar y analizar la información espacial (BOSQUE, 1992).

SIG como denominación de bases de datos computadorizada que contiene información espacial (CEBRIÁN, 1988).

Modelo informatizado del mundo real, descrito en un sistema de referencia



ligado a la tierra, establecido para satisfacer unas necesidades de información específicas respondiendo a un conjunto de preguntas concretas (RODRÍGUEZ PASCUAL, 1993).

Sistema digital para el análisis y manipulación de todo tipo de datos geográficos a fin de aportar información útil para las decisiones territoriales (TOMLINSON, 1984).

No estaría concluso este apartado si no se esbozara una definición propia de los Sistemas de Información Geográfica. Una definición que viene apoyada en las lecturas y opiniones de numerosos autores, y también, por qué no, en la experiencia acumulada durante los últimos años en los que se ha estado trabajando con esta herramienta y con diferentes tipos de *software*. La definición no pretende ser el paradigma de la tecnología ni tampoco contribuir “a endulzar más la tarta del desconcierto” (TORRES ALFOSEA, 1995), sino exclusivamente centrar al lector y a nosotros mismos en el concepto sobre el que se trabaja. Un Sistema de Información Geográfica puede definirse como *un complejo sistema de hardware y software que tiene como objeto la comprensión y análisis de datos espaciales georreferenciados cuyo fin último es ayudar a las diversas actividades humanas donde los datos espaciales tienen un papel determinante*.

3.1.1 Ventajas y desventajas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Ventajas

- Fácil de usar
- Rápida recuperación de grandes volúmenes de información
- Interactivo
- Capacidad de modelar información

Desventajas

- Mala información de base:
 - Sin metadatos
 - Sin información sobre proyección
 - Campos incompletos

- Dificultad y costos de acceso y generación de información (captura e introducción de datos)
- Falsa sensación de confiabilidad y precisión

3.2 Componentes de un Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un SIG es la combinación de cinco componentes, organizados para analizar, manipular, procesar, almacenar, generar y visualizar información espacial como se muestra a continuación.



Fig. 3.1: Componentes de un S.I.G.

Equipos (Hardware)

Es donde opera el SIG. Hoy por hoy, los programas de SIG se pueden ejecutar en una amplia gama de equipos, desde servidores hasta computadores personales usados en red o en forma personal.

Programas (Software)

Los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. Los principales componentes de los programas son:

- Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica.
- Un sistema de manejador de base de datos (DBMS).
- Herramientas que permitan búsquedas geográficas, análisis y visualización.
- Interfase gráfica para el usuario (GUI) para acceder fácilmente a las herramientas.



Datos

Probablemente la parte más importante de un sistema de información geográfico son sus datos. Los datos geográficos y tabulares pueden ser adquiridos por quien implementa el sistema de información, así como por terceros que ya los tienen disponibles. El sistema de información geográfico integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar los manejadores de base de datos más comunes para manejar la información geográfica.

Recurso humano

La tecnología de los SIG está limitada si no se cuenta con el personal que opera, desarrolla y administra el sistema; y que establece planes para aplicarlo en problemas del mundo real.

Procedimientos

Un SIG operará acorde con un plan bien diseñado y con unas reglas claras del negocio, que son los modelos y las prácticas operativas características de cada organización. Se organiza en capas o niveles, que pueden utilizarse en forma independiente o combinada, cada una de las cuales dispone de un conjunto de datos alfanuméricos asociados.

3.2.1 Equipo

- **Computadoras personales:** Indispensables para el tratamiento de los datos recolectados. Permite también almacenar la información en bases de datos y utilizar los diversos paquetes de *software* para un SIG. Éste equipo debe contar con una gran capacidad de espacio de almacenamiento, ya que la información que proporciona un SIG puede llegar a crecer increíblemente; además debe ser suficientemente rápida y proporcionar una visualización de las gráficas y mapas que se pueden obtener.
- **Trazador o Plotter:** este equipo se utiliza para imprimir los mapas que son producto de un SIG, así como otros tipos de gráficas, aunque pueden ser utilizadas las impresoras convencionales, el plotter permite la impresión de mapas de un mayor tamaño.
- **Escáner:** utilizado para transferir imágenes en papel a la computadora, ya almacena la imagen en un formato elegido dentro de ésta, es posible su manipulación, a través del procesamiento de imágenes.
- **Tablero digitalizador:** con este dispositivo se obtienen datos de mapas, los cuales se almacenan en estructuras de datos tipo vectorial (puntos, líneas y áreas).



3.2.2 Base de datos

La base de datos es una herramienta que permite disponer de la información dentro de una computadora en forma rápida y eficaz en comparación a tenerla en papel. La base de datos no necesariamente ayuda a realizar análisis de la información, más bien sirve como un almacén de datos.

Debido a que la información espacial ocuparía mucho espacio, se codifica, almacenando solo datos en su mayoría numéricos, que consumen menor espacio de almacenamiento que otros tipos de datos. La información espacial es aquella que se compone de atributos de un objeto, haciendo referencia a la ubicación de ese objeto dentro de un marco de referencia.

Además de la información no gráfica, un SIG está constituido por una base de datos gráfica en la cual la información es georreferenciada o de tipo espacial. La georreferenciación es la localización de un objeto con relación al geoide terráqueo. El geoide terráqueo es una representación geométrico - matemática de la tierra.

Como en cualquier otro sistema de base de datos, un diccionario de datos es donde se tiene la información de las relaciones entre los códigos y los nombres reales de lo que representan los datos.

Un diccionario de datos es donde se puede encontrar el nombre completo de los atributos y la información de los códigos utilizados de acuerdo a estándares, los cuales son definidos durante la construcción de la base de datos.

Aunque los diccionarios en su mayoría albergan información que permite identificar estas relaciones, sirven de guía para facilitar la interpretación y el ordenamiento de los datos almacenados dentro de la base de datos, tanto para las personas que establecieron las estructuras de los datos, como para quienes traten de comprenderlos por primera vez. Además puede incluir otra información útil, como cuando fue recolectada la información, la precisión de las



ubicaciones, la escala de la fuente original de información y la proyección cartográfica utilizada.

Un diccionario de datos puede ser parte de un manual de especificaciones y estandarizaciones sobre las estructuras de los datos o puede ser también parte de la misma base de datos. Un diccionario de datos para un SIG por lo general debería proporcionar información sobre:

- Cuáles atributos están disponibles para cada tipo de elemento.
- Cuáles capas o niveles están disponibles
- Cuáles coberturas pertenecen a cada capa
- Qué tipos de elementos están incluidos en cada cobertura
- Calidad de las fuentes de datos utilizadas
- Escalas utilizadas de los datos
- Sistema de coordenadas utilizado.

3.2.2.2 Datos e información geográfica

Los datos geográficos son tipos especiales de datos; por “geográficos”, quiere decir que:

- Los datos son relacionados a características y recursos del planeta tierra, así como actividades humanas.
- Los datos son agrupados y usados para resolver problemas, tomar decisiones asociadas con geografía, por ejemplo: localidad, distribución y relaciones espaciales dentro de una estructura geográfica particular.
- Los datos geográficos son diferentes de otros tipos de datos en que:
 - Están geográficamente referenciados, esto quiere decir que pueden ser identificados y localizados por medio de coordenadas.
 - Están hechos de un elemento descriptivo (el cual indica qué son) y un elemento gráfico (el cual dice cómo son, en dónde se encuentra y cómo está relacionado espacialmente a otro)
 - El elemento descriptivo es también referido comúnmente como datos no espaciales
 - El elemento gráfico es también referido comúnmente como dato espacial.
- Por otro lado, la información geográfica es obtenida por el procesamiento de los datos geográficos, la cual es utilizada para:
 - Mejorar el conocimiento del usuario sobre la geografía de las características y los recursos de la tierra.
 - Permitir al usuario desarrollar inteligencia espacial para resolver problemas y tomar decisiones concernientes a la ocurrencia, utilización y conservación de características y recursos de la tierra, así como los



impactos y consecuencias de las actividades humanas asociadas a estas.

3.2.2.3 Bases de datos geográficas

En un SIG se utilizan tanto datos gráficos como descriptivos o alfanuméricos, éstos están relacionados por medio de un código o identificador que los une, con esto se sabe que información descriptiva y gráfica pertenecen al mismo objeto.

Una base de datos geográfica es un almacén de datos ya sea gráficos o descriptivos y éstos están organizados generalmente en tablas relacionales, un SIG comprende además de bases de datos geográficas y herramientas de *software* que permiten la manipulación (información permanente y que puede modificarse) y visualización de esta información en forma de mapas conformados por varios niveles.

Uno de los medios de obtención de información para un SIG son los mapas, pero estos existen en diversas escalas y con diferentes coordenadas; deben ser utilizados los datos en las escalas correctas para ingresarlos en la base de datos geográfica y así asegurar la consistencia de la información dentro del sistema.

No todos los Sistemas de Información Geográfica deben tener el mismo nivel de detalle y la misma cantidad de información, éstos deben construirse de acuerdo a las necesidades de información que se quieran cubrir.

Como se ha mencionado anteriormente, el nivel de detalle de la información que proporcione un SIG, dependerá de la necesidad imperante y a mayor detalle se manejará más información. Las bases de datos geográficas comprenden un medio de ingreso de datos, una estructura de datos y un modelo de datos. A continuación se describen las estructuras de los datos geográficos.



3.2.3 Usuarios

Es la parte más importante en un Sistema de Información Geográfica, ellos determinan las actividades desde la planificación para recolección de los datos, establecen las estructuras para los datos, definen los procesos para el tratamiento de la información y finalmente son ellos quienes analizan y toman las decisiones.

No es correcto pensar en un SIG como un conjunto de *software* y *hardware* para la utilización de información geográfica, son las personas quienes hacen funcionar eficazmente todo el sistema.

Como se ha mencionado, la calidad de los resultados que se obtengan de un SIG dependerá de la calidad de los datos que se ingresen al sistema. En este sentido se requiere que las personas encargadas de la construcción y mantenimiento del sistema, posean los conocimientos necesarios para asegurar un buen trabajo.

Es imprescindible que los usuarios participen en cada componente de una implementación de un SIG, asimilando y aplicando las nuevas herramientas en sus tareas cotidianas. El proceso de modernización debe incluir a todos los usuarios a través de la incorporación a un programa de capacitación especialmente diseñado. Por este motivo es preciso distinguir a los usuarios en cuanto a los roles que tendrán dentro de un SIG.

Dentro del proceso de implementación, implantación, mantenimiento y explotación de un SIG existe un número considerable de tareas por ejecutar. Cada una de estas tareas debe ser realizada por el personal indicado y con la capacitación adecuada.

El diseño del programa de capacitación debe considerar a los usuarios según las funciones que van a realizar y según el nivel de responsabilidad que tendrán:

- En la etapa de implementación se debe considerar un proceso de capacitación orientado a preparar la cartografía base, digitalización, corrección, codificación



e integración de la base de datos. Este grupo de producción puede incluir a cualquier usuario que haya recibido la adecuada capacitación (conocimiento de mapas, escalas, coordenadas, etc.).

- La etapa de implantación requiere que se capaciten a usuarios de un nivel intermedio de responsabilidad (jefes de unidad o departamento) para que coordinen y supervisen la estructura general de la base de datos. Estos usuarios deben controlar los ingresos y egresos de la información así como los cambios administrativos necesarios para facilitar la asimilación de la nueva tecnología.
- La etapa de manutención agrupa a los usuarios con mayor capacidad que han participado del grupo de implementación. Estos usuarios deben coordinar, orientar y ejecutar todos los procedimientos de actualización e ingreso de nuevos datos.
- La etapa de explotación incluye al mayor número de usuario a nivel institucional pues su objetivo es habilitar el uso de las nuevas herramientas en el mayor número posible de aplicaciones. Estos usuarios deben ser capacitados en los procedimientos de análisis espacial, elaboración de cartografía aplicada, cartografía temática etc.

3.3 Medios de obtención de información

Desde que empezaron a utilizarse los mapas, tomaron importancia para uso en la hidrología, agrícola, para planeación demográfica, recursos naturales y militares. Al principio solo estaban a disposición de gobernantes y militares, pero la necesidad de conocer nuestro entorno geográfico los ha puesto a disposición de todos.

El siguiente paso en la recopilación de las características geográficas fue la fotografía aérea, aunque no se puede utilizar para obtener medidas de territorios directamente desde la fotografía, es de mucha ayuda principalmente para reconocimiento.

Hasta la fecha la forma más avanzada de obtener datos de la superficie terrestre, son las imágenes de satélite, estas proporcionan una mayor cantidad de características de las áreas de cobertura, sin embargo se requiere de equipo y *software* más sofisticado para la manipulación de estas imágenes. Tanto la fotografía aérea como las imágenes de satélite son muy utilizadas para trabajar con los Sistemas de Información Geográfica.

Actualmente se disponen de varios métodos para obtener información, sea esta descriptiva o cuantificable y para trasladarla a una base de datos

geográfica, entre estos medios de obtención están: fotografía aérea, imágenes de satélite, mapas y otros.

3.4 Beneficios que aporta el uso de los SIG en la hidrología

Los SIG en la hidrología permiten analizar, evaluar, realizar prever, entre otros las características de una determinada zona hidrológica, así como las precipitaciones ocurridas en un determinado terreno, los efectos del movimiento del agua, los estudios orientados a un óptimo aprovechamiento del agua, como evaluar los procesos de desertificación que acontecen en determinados partes del mundo, las grandes catástrofes como las inundaciones, entre otras.

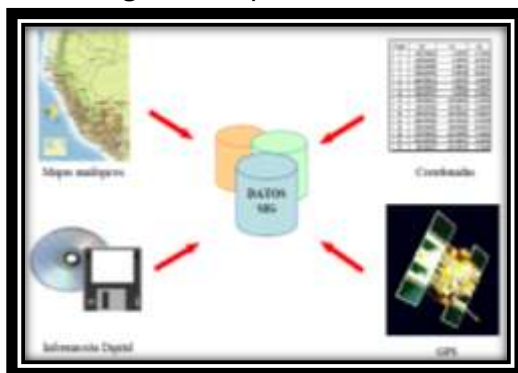
En este sentido la aplicación de los SIG en hidrología ha cobrado una gran importancia en las últimas décadas debido al deterioro medioambiental que se ha constatado. Este deterioro hace que sea muy necesario recabar datos relacionados con los recursos hidrológicos de forma extremadamente precisa.

En este sentido, es necesario poseer un conocimiento profundo en informática para poder usar las herramientas de los SIG y lograr analizar y crear informes en base a los datos obtenidos en la hidrología.

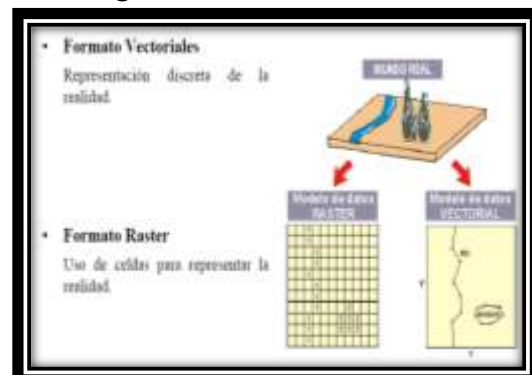
3.5 Funciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG de aplicación general realizan esencialmente las siguientes tareas:

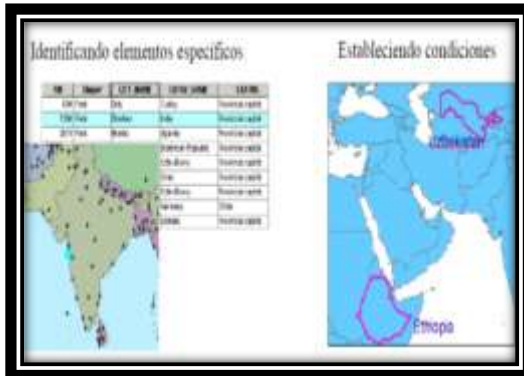
➤ **Fig. 3.2:** Captura de datos



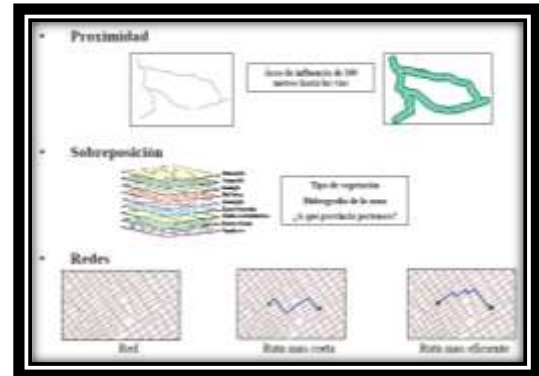
➤ **Fig. 3.3:** Almacenando datos



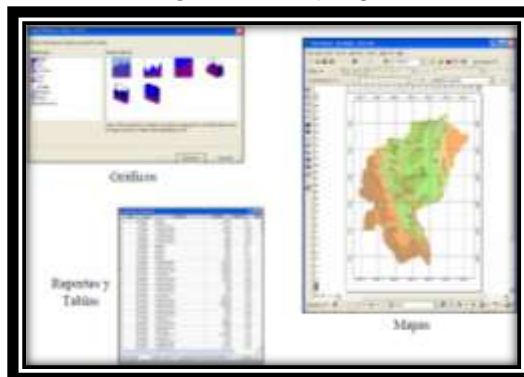
➤ Fig. 3.4: Consulta de datos



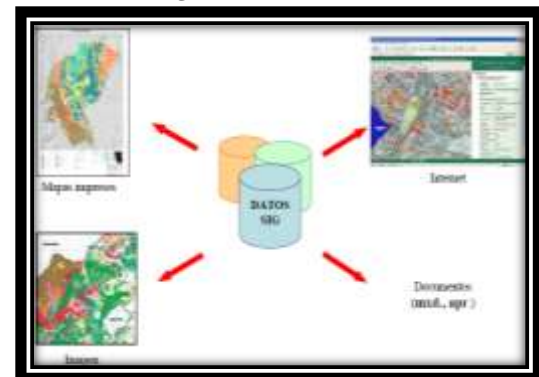
➤ Fig. 3.5: Análisis



➤ Fig. 3.6: Desplegar



➤ Fig. 3.7: Resultados



3.6 Programas para los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La información geográfica puede ser consultada, transferida, transformada, superpuesta, procesada y mostrada utilizando numerosas aplicaciones de software. Dentro de la industria empresas comerciales como ESRI, Intergraph, MapInfo, Bentley Systems, Autodesk o Smallworld ofrecen un completo conjunto de aplicaciones.

El manejo de este tipo de sistemas son llevados a cabo generalmente por profesionales de diversos campos del conocimiento con experiencia en Sistemas de Información Geográfica (cartografía, geografía, topografía, entre otros), ya que el uso de estas herramientas requiere un aprendizaje previo que necesita conocer las bases metodológicas sobre las que se fundamentan. Aunque existen herramientas gratuitas para ver información geográfica, el



acceso del público en general a los geodatos está dominado por los recursos en línea, como Google Earth y otros basados en tecnología web mapping.

Hoy por hoy dentro del software SIG se distingue a menudo siete grandes tipos de programas informáticos:

- 1) **SIG de escritorio.** Son aquellos que se utilizan para crear, editar, administrar, analizar y visualizar los datos geográficos. A veces se clasifican en tres subcategorías según su funcionalidad:
 - **Visor SIG.** Suelen ser software sencillo que permiten desplegar información geográfica a través de una ventana que funciona como visor y donde se pueden agregar varias capas de información.
 - **Editor SIG.** Es aquel software SIG orientado principalmente al tratamiento previo de la información geográfica para su posterior análisis. Antes de introducir datos a un SIG es necesario prepararlos para su uso en este tipo de sistemas. Se requiere transformar datos en bruto o heredados de otros sistemas en un formato utilizable por el software SIG. Por ejemplo, puede que una fotografía aérea necesite ser orto rectificadas mediante fotogrametría de modo tal que todos sus píxeles sean corregidos digitalmente para que la imagen represente una proyección ortogonal sin efectos de perspectiva y en una misma escala. Este tipo de transformaciones se pueden distinguir de las que puede llevar a cabo un SIG por el hecho de que, en este último caso, la labor suele ser más compleja y con un mayor consumo de tiempo. Por lo tanto es común que para estos casos se suela utilizar un tipo de software especializado en estas tareas.
 - **SIG de análisis.** Disponen de funcionalidades de análisis espacial y modelización cartográfica de procesos.

- 2) **Sistemas de gestión de bases de datos espaciales o geográficas (SGBD espacial).** Se emplean para almacenar la información geográfica, pero a menudo también proporcionan la funcionalidad de análisis y manipulación de los datos. Si bien algunas de estas bases de datos geográficas están implementadas para permitir también el uso de funciones de geoprocetamiento, el principal beneficio de estas se centra en las capacidades que ofrecen en el almacenamiento de datos especialmente georreferenciados. Algunas de estas capacidades incluyen un fácil acceso a este tipo de información mediante el uso de estándares de acceso a bases de datos como los controladores ODBC, la



capacidad de unir o vincular fácilmente tablas de datos o la posibilidad de generar una indexación y agrupación de datos espaciales.

- 3) **Servidores cartográficos.** Se utilizan para distribuir mapas a través de Internet (véase también los estándares de normas Open Geospatial Consortium WFS y WMS).
- 4) **Servidor SIG.** Proporcionan básicamente la misma funcionalidad que los SIG de escritorio pero permiten acceder a estas utilidades de geoprocésamiento a través de una red informática.
- 5) **Cientes web SIG.** Permiten la visualización de datos y acceder a funcionalidades de análisis y consulta de servidores SIG a través de Internet. Generalmente se distingue entre cliente ligero y pesado. Los clientes ligeros (por ejemplo, un navegador web para visualizar mapas de Google) sólo proporcionan una funcionalidad de visualización y consulta, mientras que los clientes pesados (por ejemplo, Google Earth o un SIG de escritorio) a menudo proporcionan herramientas adicionales para la edición de datos, análisis y visualización.
- 6) **Bibliotecas y extensiones espaciales.** Proporcionan características adicionales que no forman parte fundamental del programa ya que pueden no ser requeridas por un usuario medio de este tipo de software. Estas nuevas funcionalidades pueden ser herramientas para el análisis espacial (por ejemplo, SEXTANTE), herramientas para la lectura de formatos de datos específicos (por ejemplo, GDAL y OGR), herramientas para la correcta visualización cartográfica de los datos geográficos (por ejemplo, PROJ4), o para la implementación de las especificaciones del Open Geospatial Consortium (por ejemplo, GeoTools).
- 7) **SIG móviles.** Se usan para la recogida de datos en campo a través de dispositivos móviles (PDA, Smartphone, Tablet PC, entre otros). Con la adopción generalizada por parte de estos dispositivos de localización GPS integrados, el software SIG permite utilizarlos para la captura y manejo de datos en campo.



Tabla 3.4 Listado incompleto de los principales programas SIG existentes en el sector y los sistemas operativos en los que pueden funcionar, así como su tipo de licencia.

Software SIG	Windows	Mac OS X	GNU/Linux	BSD	Unix	Entorno Web	Licencia de software
ABACO DbMAP	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Java	Software no libre
ArcGIS	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Software no libre
Autodesk Map	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
Bentley Map	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
Capaware	Sí (C++)	No	No	No	No	No	Libre: GNU GPL
Caris	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
CartaLinx	Sí	No	No	No	No	No	Software no libre
Geomedia	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Software no libre
GeoPista	Java	Java	Java	Java	Java	Sí	Libre: GNU
GestorProject - PDAProject	Sí	No	No	No	No	Java	Software no libre
GeoServer	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Java	Libre: GNU
GRASS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Mediante pyWPS	Libre: GNU
gvSIG	Java	Java	Java	Java	Java	No	Libre: GNU
IDRISI	Sí	No	No	No	No	No	Software no libre
ILWIS	Sí	No	No	No	No	No	Libre: GNU
Generic Mapping Tools	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Libre: GNU
JUMP	Java	Java	Java	Java	Java	No	Libre: GNU
Kosmo	Java	Java	Java	Java	Java	En desarrollo	Libre: GNU
LocalGIS	Java	Java	Java	Java	Java	Sí	Libre: GNU
LatinoGis	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
Manifold	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
MapGuide Open Source	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	LAMP/WAMP	Libre: LGNU
MapInfo	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Software no libre
MapServer	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	LAMP/WAMP	Libre: BSD
Maptitude	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
MapWindow GIS	Sí (ActiveX)	No	No	No	No	No	Libre: MPL
ortoSky	Sí (C++)	No	No	No	No	No	Software no libre
Quantum GIS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Libre: GNU
SAGA GIS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Libre: GNU
GE Smallworld	Sí	?	Sí	?	Sí	Sí	Software no libre

SavGIS	Sí	No	No	No	No	Integración con Google Maps	Software no libre: Freeware
SEXTANTE	Java	Java	Java	Java	Java	No	Libre: GNU
SITAL	Sí	No	No	No	No	Integración con Google Maps	Software no libre
SPRING	Sí	No	Sí	No	Solaris	No	Software no libre: Freeware
SuperGIS	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
TatukGIS	Sí	No	No	No	No	?	Software no libre
TNTMips	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Software no libre
TransCAD	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
uDIG	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Libre: LGNU
GeoStratum	Sí (Flex/Java)	Sí (Flex/Java)	Sí (Flex/Java)	Sí (Flex/Java)	Sí (Flex/Java)	Sí (Flex/Java)	Software no libre

A continuación se mencionan tres de los programas SIG utilizados en hidrología.

1. ArcGIS Desktop

Es un conjunto de aplicaciones integradas: ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox.

a) ArcMap.

Es la aplicación central de ArcGIS Desktop y se usa para todas las actividades relacionadas al mapeo, incluyendo cartografía, análisis de mapas y edición. En esta se trabaja esencialmente con mapas, el cual tiene un diseño de página que contiene una ventana geográfica, o una vista con una serie de layers, leyendas, barras de escalas, flechas indicando el norte y otros elementos. ArcMap ofrece diferentes formas de ver un mapa, una vista de datos geográficos, una vista del diseño del cartográfico (layout), en la cual se pueden desarrollar un amplio rango de funciones avanzadas de SIG.

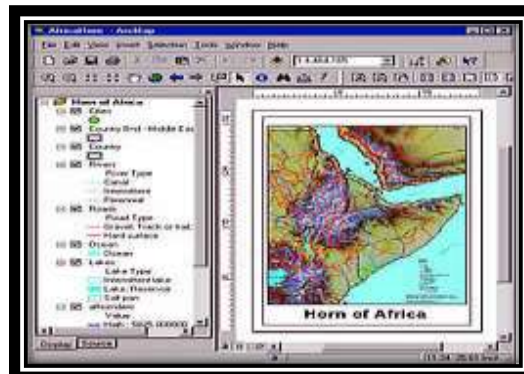


Fig. 3.8: Uso de la herramienta ArcMap.

b) ArcCatalog.

Esta aplicación ayuda a organizar y administrar todos los datos SIG. Incluye herramientas para explorar y encontrar información geográfica, para grabar y visualizar los metadatos, para una rápida visión de cualquier conjunto de datos y para definir la estructura del diseño de los layers con datos geográficos.



Fig. 3.9: Uso de la herramienta ArcCatalog.

c) ArcToolbox.

Es una aplicación sencilla que contiene muchas herramientas SIG para usar en el geoprocesamiento de datos. Existen dos versiones de ArcToolbox: una completa que viene con el software ArcInfo y una versión más simple o liviana que viene con el software ArcView y ArcEditor.

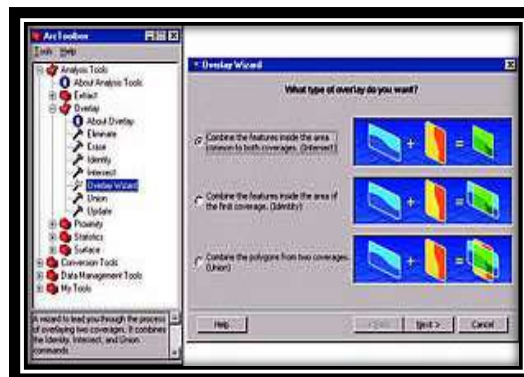


Fig. 3.10: Uso de la herramienta ArcToolbox.

Las aplicaciones ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox han sido diseñadas para trabajar en conjunto con ellas, con el fin de desempeñar todas las funciones y operaciones de un SIG.



Usando estas tres aplicaciones en conjunto se puede desarrollar cualquier actividad o tarea SIG, desde una muy simple hasta una muy avanzada, incluyendo mapeo, administración de datos, análisis geográfico, edición de datos y geoprocésamiento. Además, ArcGIS Desktop permite tener acceso a muchos otros recursos y datos espaciales disponibles en Internet a través de los servicios de ArcIMS.

Formatos de datos compatibles.

Una meta fundamental para ArcGIS Desktop es la capacidad de trabajar con todos sus archivos de datos y con los de un DBMS, así como también con los servicios de ArcIMS. Tanto ArcMap y ArcCatalog permiten trabajar con una amplia fuente de datos. También se puede ver y administrar estas fuentes de datos en ArcCatalog, grabar y administrar los metadatos y buscar sus fuentes de datos basándose en su contenido. En ArcMap los layers de los mapas se pueden crear a partir de cualquiera de estas fuentes de datos. También se pueden ejecutar operaciones de consultas, de proyecciones de mapas al instante, de unión de tablas y de análisis de mapas.

Tal vez la capacidad más interesante es la de trabajar con los servicios de ArcIMS en ArcMap y ArcCatalog, exactamente como lo haría cualquier otra fuente de datos del SIG. Esto abre a ArcMap a todo un nuevo mundo SIG a través de Internet. ArcMap permite desarrollar cualquier operación de mapeo, o análisis de mapa en forma virtual sobre un conjunto de datos ArcIMS.

Se puede acceder al ArcGIS Desktop utilizando tres productos de software y cada uno de ellos proporciona un mayor nivel de funcionalidad. ArcView proporciona herramientas completas de mapeo y análisis al igual que herramientas de edición simple y de geoprocésamiento. ArcEditor contiene la totalidad de las funciones de ArcView y además la capacidad de edición avanzada para las coberturas y la geodatabase. ArcInfo extiende sus funcionalidades incluyendo además de las de ArcView y ArcEditor, otras como el geoprocésamiento avanzado. Además contiene las aplicaciones de ArcInfo WorkStation (Arc, ARCPLOT, ARCEDIT, y otros).



ArcView, ArcInfo y ArcEditor comparten una arquitectura común, los usuarios que trabajan con cualquiera de estos clientes pueden compartir su trabajo con otros usuarios. Se puede tener acceso a mapas, datos, simbología, layer de mapas, herramientas e interfaz para personalizar, hacer reportes, metadatos y otros, en forma intercambiable en los tres productos. Esto significa un gran beneficio al usar una arquitectura única, en vez de aprender y desarrollar arquitecturas diferentes. Las capacidades de los tres niveles se pueden extender aún mucho más usando una serie de extensiones opcionales, tales como ArcGIS Spatial Analyst y ArcPress.

2. ArcView.

Es una herramienta poderosa y fácil de usar que pone la información geográfica en su escritorio pues brinda la capacidad de visualizar, explorar, consultar y analizar datos espaciales.

ArcView es un producto de Environmental Systems Research Institute (ESRI), los fabricantes de ARC/INFO, el más importante software de sistemas de información geográfica (SIG).

Utilidad del ArcView.

A continuación se describen algunas de las tareas claves que se pueden realizar con ArcView.

➤ **Visualizar datos de ARC/INFO en una vista**

➤ **Visualizar datos en forma de tabla en una vista**

Es posible importar datos en forma de tabla y luego unirlos a los datos de una vista para visualizarlos en forma geográfica.

➤ **Utilizar SQL para recuperar registros de una base de datos y presentarlos en una vista**

Es posible conectarse con una base de datos para obtener datos en forma de tabla y luego trabajar con ellos en forma geográfica.

➤ **Geocodificar tablas que contienen direcciones y presentarlas en una vista.**

En una vista, se pueden presentar como puntos los datos en forma de tabla que contienen las direcciones de clientes, proveedores, competidores, tiendas,



oficinas, instalaciones, entre otros. Para añadir estos datos a una vista, ArcView los geocodifica.

➤ **Encontrar los atributos de cualquier objeto en una vista**

Se puede hacer clic en un objeto en una vista para presentar sus atributos.

➤ **Clasificar los objetos mediante diferentes símbolos de acuerdo con sus atributos**

➤ **Seleccionar objetos de acuerdo con sus atributos**

Se pueden realizar consultas en las vistas para encontrar determinados objetos.

➤ **Crear diagramas que muestren los atributos de los objetos**

Para aprender a crear diagramas y a trabajar con ellos en ArcView

➤ **Resumir los atributos de los objetos**

Por ejemplo: es posible resumir los datos que corresponden a las ciudades de un estado o una región. Es también posible generar estadísticas acerca de cualquier atributo.

➤ **Seleccionar objetos en base a su proximidad con otros objetos**

➤ **Identificar los lugares donde determinados objetos coinciden**

➤ **Diseñar un mapa e imprimirlo.**

Para aprender a crear y a trabajar con diseños de mapas en ArcView.

➤ **Diseñar un mapa y exportarlo para utilizarlo en otro programa**

Los diseños de mapas se pueden exportar a varios formatos de archivo.

➤ **Personalizar ArcView para que se acomode al tipo de trabajo que usted hace**

Datos que se pueden utilizar en ArcView.

Los datos que describen cualquier parte de la superficie terrestre o los objetos que se encuentran sobre ella pueden llamarse datos geográficos. Esto no sólo incluye datos cartográficos y científicos, sino también datos comerciales, catastrales, fotográficos, bases de datos acerca de clientes, guías de viaje, listados de bienes raíces, documentos legales, videofilmaciones, entre otros.

En ArcView pueden utilizarse datos geográficos procedentes de una multiplicidad de fuentes, a saber:



Datos espaciales.

- Archivos de configuración de ArcView
- Coberturas de ARC/INFO
- Dibujos de AutoCAD

Datos en forma de imágenes.

Los datos en forma de imágenes incluyen la de los satélites, fotografías aéreas y otros datos capturados de forma remota o mediante escáner :

Datos de cuadrícula (GRID) de ARC/INFO

- TIFF
- Datos de imagen comprimidos TIFF/LZW
- ERDAS
- BSQ, BIL y BIP
- Archivos de trama de Sun
- Archivos comprimidos mediante la metodología de longitud de repeticiones

Datos en forma de tablas.

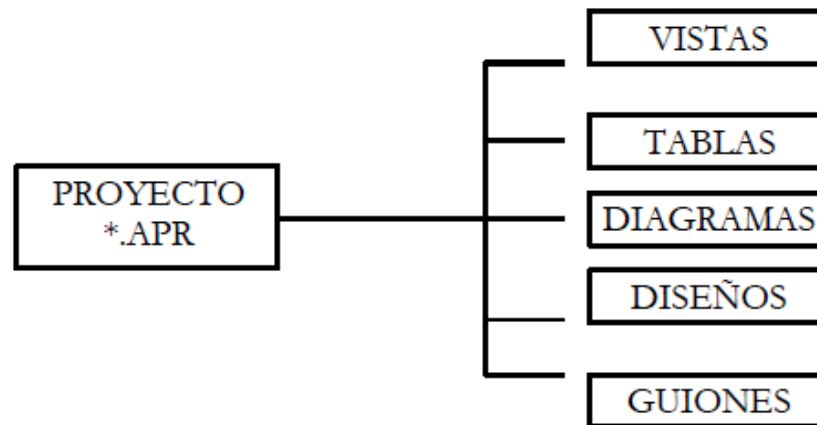
ArcView soporta los siguientes formatos:

- Datos de servidores de bases de datos tales como Oracle, Ingres, Sybase, Informix, etc.
- Archivos de dBASE III
- Archivos de dBASE IV
- Tablas de INFO
- Archivos de texto con campos separados por caracteres de tabulación o comas

Estructura del ArcView (La interface de usuario de ArcView).

En ArcView se trabaja con vistas, tablas, diagramas, diseños y guiones, y todos estos elementos se almacenan en un archivo llamado proyecto.

En ArcView se trabaja con un proyecto a la vez. Los proyectos permiten mantener juntos todos los componentes necesarios para una determinada tarea o aplicación.



Proyectos.

Un proyecto es el archivo que ArcView crea para que se pueda organizar un trabajo. Con los proyectos, es sencillo juntar en un solo lugar cualquier combinación de componentes relacionados de ArcView, como vistas, tablas, diagramas, diseños y guiones.

A los archivos de proyecto se les asigna la extensión .APR. Cuando se abre y se cierra un único proyecto, se pueden abrir o cerrar todos los componentes que se necesitan para llevar a cabo una determinada tarea o para ejecutar una cierta aplicación.

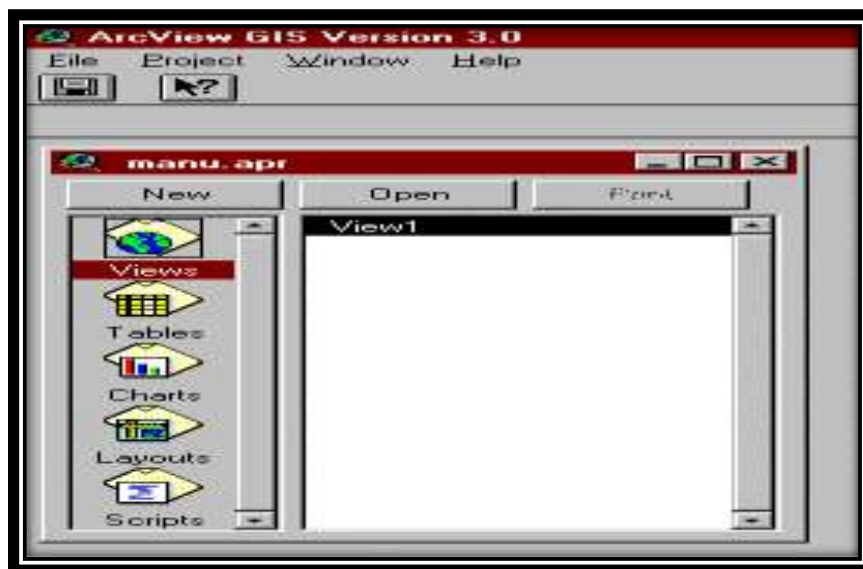


Fig.3.11: Componentes relacionados de ArcView

Vistas.

Una vista es un mapa interactivo que le permite visualizar, explorar, consultar y analizar datos geográficos en ArcView.

Una vista define los datos geográficos que se utilizarán y cómo van a visualizarse, pero no contiene en sí los archivos de datos geográficos, en cambio hace referencia de estos archivos de fuentes de datos. Esto significa que una vista es dinámica, porque siempre refleja el estado actual de los datos contenidos en la fuente. Si se modifican los datos en la fuente, una vista que los utilice dará automáticamente cuenta del cambio la próxima vez que vuelva a efectuar un trazado.

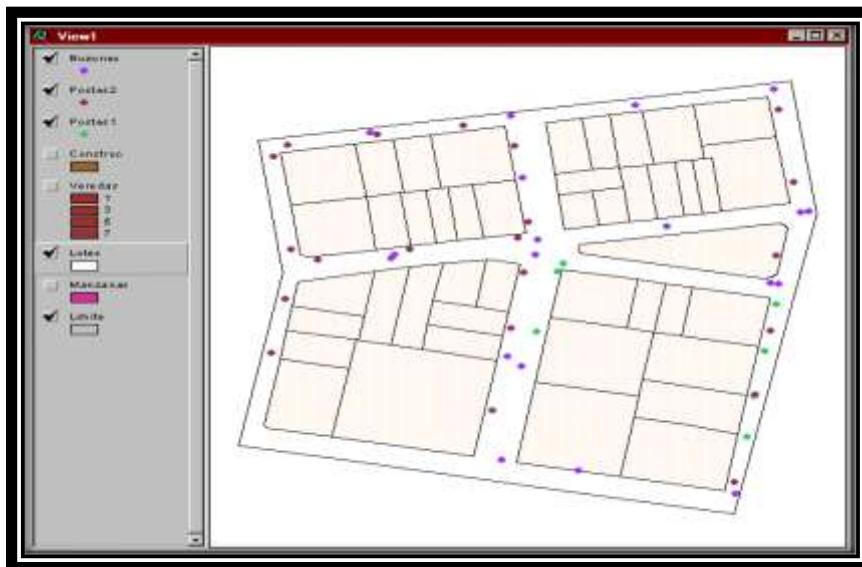


Fig.3.12: Representación de un mapa interactivo en ArcView

Tablas.

Una tabla permite trabajar en ArcView con el contenido de diversas fuentes cuyos datos se encuentren en formato tabular. De hecho, mediante ArcView es posible tener acceso a casi cualquier recurso de datos organizados en forma de tablas que tenga su empresa y trabajar con ellos espacialmente.

Se puede visualizar, consultar y analizar los datos contenidos en las tablas. Pueden resaltarse registros en las tablas, mediante la selección de objetos

geográficos que se muestran en las vistas, y viceversa. Pueden presentarse tablas en una vista para poner de manifiesto la geografía de sus datos.

Es fácil crear diagramas a partir de tablas para visualizar tendencias, pautas y distribuciones.

Las tablas de ArcView son dinámicas

Una tabla de ArcView contiene referencias a la fuente de datos en forma de tabla que representa, pero no contiene los datos en sí. Eso quiere decir que las tablas de ArcView son dinámicas, porque reflejan el estado actual de los datos en la fuente sobre la que se basan. Si cambian los datos de la fuente, la tabla lo reflejará automáticamente la próxima vez que se abra el proyecto del que forma parte. También puede refrescarse la tabla en cualquier momento para que se acomode al estado actual de los datos en la fuente.

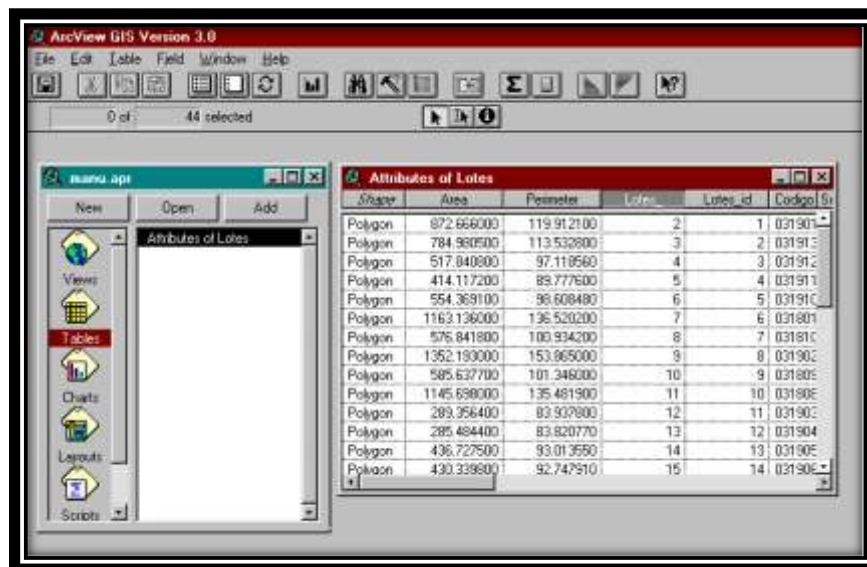


Fig. 3.13: Representación de una tabla en ArcView

Asimismo, algunas tablas pueden editarse desde ArcView, dependiendo de cuál sea la fuente de datos sobre la que se basen. Lo que usted edite se guardará en el archivo que sirve como fuente a sus datos.

Diseños.

Un diseño es un mapa mediante el cual se pueden visualizar vistas, diagramas, tablas, gráficos importados y elementos primarios gráficos. El diseño se utiliza con objeto de preparar estos gráficos para su impresión desde ArcView.

Un diseño define qué datos se usarán para la impresión y cómo se visualizarán, un diseño puede ser dinámico ya que permite hacer que determinados gráficos sean vivos. Cuando un gráfico es vivo, refleja el estado actual de los datos. Por ejemplo, si cambian los datos en una vista, el diseño refleja automáticamente el cambio.

Es posible mostrar los mismos datos en varios diseños distintos. Cabe considerar cada diseño como una manera diferente de presentar los datos. Si va a hacer una presentación de mercadotecnia, probablemente querrá presentar los datos de forma diferente que si va a hacer una producción cartográfica. Con ArcView, se puede crear un diseño distinto de los datos para cada aplicación. Si tiene instalado Avenue, puede ampliar las capacidades de ArcView creando funciones, interfaces de usuario y plantillas cartográficas personalizadas que le ayudarán a crear salidas impresas.

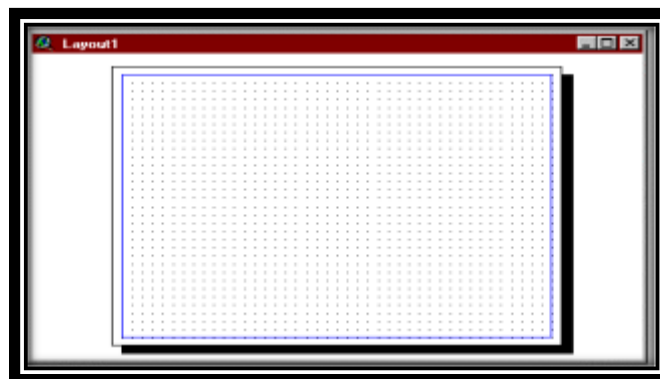


Fig. 3.14: Representación de un diseño en ArcView.

Diagrama.

Un diagrama es una presentación gráfica de datos en forma de tablas que proporciona otra poderosa representación visual de los atributos asociados con objetos geográficos. Se puede utilizar un diagrama para visualizar, comparar y



consultar con eficacia los datos geográficos y los datos en forma de tablas. Los diagramas están completamente integrados a la interfaz geográfica de usuario de ArcView.

Además hace referencia a los datos en forma de tablas de una ya existente de ArcView en su proyecto, y define cómo éstos se presentarán. Un diagrama es dinámico ya que refleja el estado actual de los datos de la tabla. Si se produce un cambio en los datos de la fuente sobre los que se basa la tabla, dicho cambio se reflejará automáticamente tanto en la tabla como en el diagrama la próxima vez que se abra el proyecto que los contiene. Si usted edita la tabla en ArcView, el diagrama reflejará automáticamente la modificación.

Un diagrama puede representar todos los registros de una tabla o un subconjunto de registros seleccionados. Los registros pueden ser seleccionados desde la tabla y si se trata de una tabla de atributos que pertenece a un tema, se los puede seleccionar escogiendo los objetos del tema en una vista. Si cambia el conjunto de registros seleccionados, el diagrama reflejará inmediatamente la nueva selección.

Es posible presentar los mismos datos en forma de tablas en más de un diagrama. Mediante ArcView, para cada aplicación que se ejecuta, pueden crearse diferentes diagramas que representan los datos.

Un diagrama se visualiza dentro de una ventana. Cuando se redimensiona una vista, el diagrama vuelve a trazarse a fin de acomodarse al nuevo tamaño de la ventana.

Al trabajar con un diagrama, se presentarán los menús, botones y herramientas para el mismo. Para obtener información acerca de éstos, consulte:

- Barra de menús del diagrama
- Barra de botones del diagrama
- Barra de herramientas del diagrama



3. gvSIG Desktop.

El origen de gvSIG Desktop se remonta al año 2004, en el seno del proyecto de migración a software libre de los sistemas informáticos de la Conselleria de Infraestructuras y Transporte (CIT). Inicialmente nace con unos objetivos acordes a las necesidades de la CIT. Estos objetivos se ven rápidamente ampliados, fruto por un lado de la naturaleza del software libre que facilita enormemente la expansión de la tecnología, del conocimiento y establece las bases sobre la que constituir una comunidad y por otro de un visión de proyecto materializada en unas líneas de demarcación y un plan acorde para llevarlas a cabo.

Actualmente la Asociación para la Promoción de la Geomatica Libre y el desarrollo de gvSIG (en adelante, Asociación gvSIG) es la responsable de la sostenibilidad del proyecto gvSIG. La Asociación gvSIG es una asociación sin ánimo de lucro que engloba a las principales organizaciones impulsoras del proyecto gvSIG. En torno a los valores democráticos y solidarios propios del Software Libre, la Asociación gvSIG plantea el desarrollo de un nuevo modelo de negocio basado en la Cooperación y el Conocimiento compartido donde parte del beneficio generado revierta en el fortalecimiento del Proyecto gvSIG.

El programa gvSIG está orientado al manejo de información geográfica. Se caracteriza por una interfaz amigable y sencilla, con capacidad para acceder ágilmente a los formatos más usuales (raster y vectoriales), además es capaz de integrar datos en una vista, tanto locales como remotos, a través de un origen WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service,) WCS (Web Coverage Service) o JDBC (Java Database Connectivity).

Está orientado a usuarios finales de información geográfica, profesionales o personal de Administraciones Públicas (Ayuntamientos, Diputaciones, Consejerías o Ministerios).

También resulta de especial interés para los ambientes universitarios, debido a su componente I+D+I (Investigación + Desarrollo + Innovación).



La aplicación es de código abierto, con licencia GPL (General Public License o licencia publica general) y gratuita. Se ha hecho especial hincapié desde sus inicios, en que gvSIG sea un proyecto extensible, de forma que los desarrolladores puedan ampliar las funcionalidades de la aplicación fácilmente, así como desarrollar aplicaciones totalmente nuevas a partir de las librerías utilizadas en gvSIG (siempre y cuando cumplan la licencia GPL).

El gvSIG es un sofisticado Sistema de Información Geográfica que permite gestionar datos espaciales y realizar análisis complejos sobre estos.

La interfaz de gvSIG le proporciona los elementos necesarios para comunicarse con el programa. La interfaz grafica de gvSIG es intuitiva y fácil de manejar, al alcance de cualquier usuario familiarizado con los Sistemas de Información Geográfica.

La interfaz de gvSIG se compone de una ventana principal en la que se sitúan las distintas herramientas y ventanas secundarias que conforman los documentos propios del programa.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ESPACIAL DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ESPACIAL DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

4.1 Análisis espacial

Incluye las funciones que realicen cálculos sobre las entidades gráficas. Va desde operaciones sencillas como longitud de una línea, perímetros, áreas y volúmenes, hasta análisis de redes de conducción, intersección de polígonos y análisis de modelos digitales del terreno.



Fig. 4.1 Análisis de proximidad

Los diferentes tipos de análisis que un SIG debe realizar son:

- **Contigüidad:** Encontrar áreas en una región determinada.
- **Coincidencia:** Análisis de superposición de puntos, líneas, polígonos y áreas.
- **Conectividad.** Análisis sobre entidades gráficas que representen redes de conducción, tales como:
 - **Enrutamiento:** Como se mueve el elemento conducido a lo largo de la red.
 - **Radio de acción:** Alcance del movimiento del elemento dentro de la red.
 - **Apareamiento de direcciones:** Acople de información de direcciones a las entidades gráficas.
- **Análisis digital del terreno:** Análisis de la información de superficie para el modelamiento de fenómenos geográficos continuos. Con los modelos digitales de terreno (DTM: la representación de una superficie por medio de coordenadas X, Y, Z) que son la información básica para el análisis de superficies.
- **Operación sobre mapas:** Uso de expresiones lógicas y matemáticas para el análisis y modelamiento de atributos geográficos. Estas operaciones son soportadas de acuerdo con el formato de los datos (raster o vectorial)
- **Geometría de coordenadas:** Operaciones geométricas para el manejo de coordenadas terrestres por medio de operadores lógicos y aritméticos. Algunas de esas operaciones son: proyecciones terrestres de los mapas,

transformaciones geométricas (rotación, traslación, cambios de escala), precisión de coordenadas, corrección de errores.

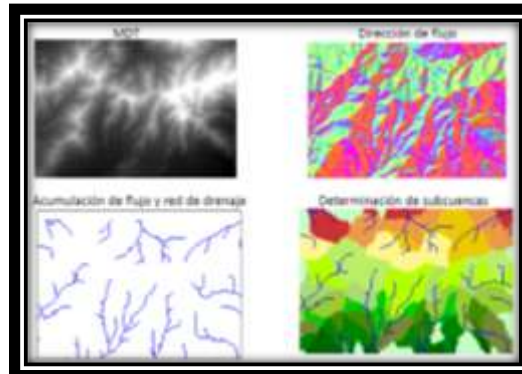


Fig. 4.2: Análisis espacial aplicado a la hidrología

4.2 Estructuras de datos tipo raster.

Un raster es una estructura de datos geográficos que consiste en una matriz bidimensional, en la que cada celda representa un punto en una imagen. Una imagen almacenada digitalmente consta de valores numéricos en cada una de las celdas de la matriz con la que se represente. El número de celdas que componen la matriz en las 2 direcciones define la resolución de la imagen, cuando mayor es el número de celdas, es mejor la resolución de la imagen.

Las imágenes digitales obtenidas desde satélite, mapas obtenidos por escáner y fotografías se almacenan en esta forma, cada celda de la matriz o arreglo de dos dimensiones, corresponden a un píxel cuando hablamos de la imagen y a un número o pareja ordenada (de acuerdo a las coordenadas de una celda respectiva) cuando se habla de valores almacenados dentro de la estructura.

Los datos que se almacenan en las estructuras de tipo raster consumen espacio de almacenamiento dependiendo del tamaño y resolución de la imagen. El problema que se tiene con el formato raster es que se pierde definición cuando se manipulan las imágenes para rotaciones y/o cambios de escala.



Fig. 4.3: Representación de una imagen raster utilizando la rejilla de rectángulos

4.2.1 Ventajas y desventajas de datos tipo raster

Ventajas

- Menor capacidad de almacenamiento, dado que cada unidad se define por sus límites.
- Mucho más exacta, cada zona o región es definida por sus límites.
- Múltiples atributos pueden ser fácilmente representados
- Más conveniente para llevar a cabo análisis de tipo espacial.
- Adecuados para las entradas en forma de rejillas de celdas como es el caso de las imágenes digitales.
- El tratamiento de los algoritmos es mucho más sencillo y simple de escribir.

Desventajas

- Datos espaciales de variación continua (como las imágenes por satélites) no pueden ser representados en forma de vector.
- Necesidades de almacenamiento son mucho mayores.

4.3 Estructuras de datos tipo vectorial

Estas estructuras se utilizan en bases de datos en donde la información se almacena en forma de puntos, líneas o arcos y polígonos o áreas.

Los **puntos** son utilizados para representar fenómenos geográficos en un lugar o para representar rasgos, que por su tamaño no se pueden identificar con líneas o áreas. Un punto está representado por un par de coordenadas (x, y) dentro de un plano, en ocasiones se utiliza una tercer coordenada (z) para identificar la altura de ese punto en el mapa.



Las **líneas o arcos** se utilizan para representar gráficamente aquellos elementos que son muy estrechos para cubrir un área o que su grosor no es significativo. Ejemplos de éstos son las carreteras, los ríos, las redes de infraestructura, entre otros. Las líneas en un sistema de información geográfica, se representan al menos por dos puntos.

Los **polígonos o áreas**, generalmente representan lagos, bosques, poblados, entre otros. Las áreas son representadas por un conjunto de coordenadas(x, y) formando segmentos de líneas que cierran un área.

Un nodo es un tipo de punto que tiene por objetivo definir la intersección entre dos o más líneas. Una línea poligonal o polígono abierto está conformado por un conjunto de puntos interconectados por segmentos de recta que comienzan y terminan en un nodo. Las isolíneas pueden tomarse como una línea poligonal la cual posee un valor de z que será el mismo para todos los puntos que comprende la línea. Se utilizan para representar curvas de nivel.

Los datos vectoriales se pueden obtener de mesas digitalizadoras, información de equipos de GPS y sistemas de conversión de datos raster a datos vectoriales. La forma de cómo se almacenan los datos es por medio de un conjunto de pares ordenados (coordenadas (x, y)), estas representan puntos, líneas y polígonos. Estos datos están relacionados con el sistema de coordenadas utilizado. A diferencia de los datos almacenados en estructuras de raster, los datos vectoriales no presentan problemas de distorsión por el cambio de rotación o de escalas y el consumo de almacenamiento está relacionado con la complejidad de los elementos representados.

El inconveniente con los datos vectoriales, es que deben ser utilizados para zonas bien diferenciadas o que pueden representarse con cierto grado de discreción identificando polígonos que encierran áreas donde los datos que se representan están contenidos dentro de un intervalo de valores establecido.

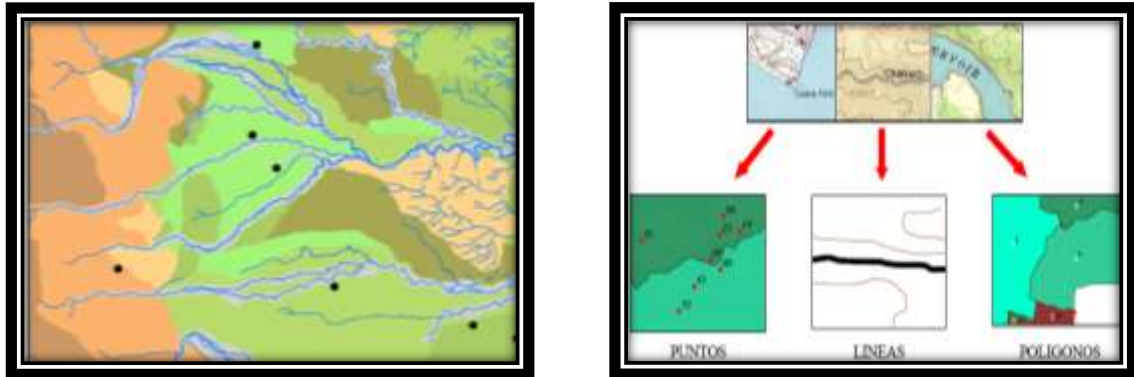


Fig. 4.4: Representación de elementos reales sobre la superficie terrestre.

4.3.1 Ventajas y desventajas de datos tipo vectorial

Ventajas

- Adecuado para representar elementos geográficos bien definidos: ríos, carreteras, etc.
- Estructura de datos compacta, generando ficheros poco voluminosos
- Generación de topología, ofreciendo posibilidades de análisis muy potentes

Desventajas

- Estructura de datos compleja

Dificultad de aprendizaje

4.4 Fotografía aérea

Una fotografía aérea puede ser desde una fotografía tomada desde la cima de un edificio, desde un globo aerostático y desde luego, tomada de un avión. El uso de la fotografía aérea para obtener información del terreno, se intensificó durante la segunda guerra mundial para fines de inteligencia.

Una visualización desde cierta altura, permite observar detalles del terreno que no son vistos desde el suelo. Debido a que la fotografía aérea puede tener varios usos y de acuerdo a la finalidad que esta persiga, puede tener varios grados de especialización y diferentes tipos de presentación. Se puede elegir entre: presentación en papel, en negativo, a color, en blanco y negro y en falso color.



Los tipos de fotografías aéreas más conocidos en la captura de información son:

- La fotografía de perspectiva y
- La fotografía vertical

4.4.1 Fotografía aérea de perspectiva u oblicua

Debido a la gran cantidad de información que pueden proporcionar estas fotografías, son utilizadas con fines comerciales, para eventos noticiosos, fines didácticos o turísticos.

4.4.2 Fotografía aérea vertical

Es la más utilizada para aplicaciones de cartografía, sistemas de información, reconocimiento de terreno y aplicaciones que requieran de un mayor control. Debido a las distorsiones que ocurren mientras la fotografía es tomada, es necesario utilizar aparatos especiales que permiten eliminar las distorsiones provocadas por la plataforma y por la altura al tomar la fotografía.

Estas son usadas principalmente para crear nuevos mapas y para actualización de mapas ya existentes en el caso de su utilización en la cartografía. Cuando ya se han eliminado las distorsiones, son llamadas ortofotos, en donde si se pueden realizar mediciones como si fuera un mapa en una escala determinada.

4.5 Imágenes de satélites

Al final de los años 50, después de desarrollarse la carrera espacial, aumenta el interés de utilizar estas plataformas para adquirir imágenes de la superficie de la tierra. Los satélites de la familia NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) son los más utilizados con el objeto de adquirir imágenes tanto de la atmósfera como de la superficie terrestre.

Actualmente, las imágenes de satélite, son utilizadas en una gran cantidad de aplicaciones, proporcionan información en formato Raster. Permiten obtener mayor cantidad de datos de lo que lo hace una fotografía aérea, permiten



percibir características a través de las bandas que se utilicen en el aparato receptor a bordo del satélite.

En una fotografía aérea o imagen de satélite, se puede medir la resolución, se había dicho anteriormente que la resolución de una imagen está en función de la cantidad de píxeles que se utilicen para su representación. Estas imágenes y fotografías se almacenan en formato raster. Además se pueden definir la resolución espacial y la resolución temporal.

4.5.1 Resolución espacial

Esta se trata de que tanto se puede ver en la imagen, ¿será posible ver un río? ¿Se puede ver una cuenca? ¿Se puede observar una presa? Cada uno de los satélites que adquieren imágenes, posee diferentes tamaños de resolución espacial.

Si se tiene una imagen con una resolución espacial grande, se pueden utilizar para estudiar áreas extensas pero con un nivel de detalle relativamente menor. Un ejemplo de esta resolución grande son las imágenes de satélite para apreciar las condiciones climáticas de una región. Las imágenes con resolución espacial pequeña, cubren menor área pero su detalle es mejor la resolución espacial que se puede obtener desde satélites comerciales que va desde los 80 metros hasta 1 metro. Algunos proporcionan imágenes a color y otros solo en blanco y negro. Así también algunos cuentan con varios tipos de bandas para la obtención de detalles que no se pueden observar con el ojo humano.

4.5.2 Resolución temporal

Esta se refiere al intervalo de tiempo que se deja entre una imagen y la siguiente. Por ejemplo, la resolución temporal que proporciona un satélite del tiempo es mucho mayor, ya que estará observando su área de interés con más frecuencia debido a su función, que la proporcionada por otro tipo de satélite.

La resolución temporal se refiere a qué tan frecuente va a estar el satélite obteniendo información. Obviamente es mejor que se tenga información lo más frecuente posible, pero esto implica un mayor gasto para la obtención y el



procesamiento. La resolución temporal puede medirse en días, semanas, meses e incluso años.

4.6 Mapas

Los mapas son descripciones gráficas que presentan porciones de la tierra, los primeros mapas trazados eran dibujos hechos en el suelo, cuando se daban indicaciones de cómo llegar a un lugar y regresar. Después los mapas eran dibujados en las paredes de las cuevas. Aproximadamente en el año 2300 AC, los babilonios dejaron huella de sus mapas hechos en tablillas de arcilla y también en el siglo II AC se tienen mapas hechos en seda encontrados en la China.

La importancia de los mapas para obtener información para un Sistema de Información Geográfica, es porque en los mapas se encuentra información muy detallada acerca de elementos que pueden interesar.

Los mapas pueden ser de 2 tipos:

- Mapas topográficos
- Mapas temáticos

4.6.1 Mapas topográficos

Muestran los elementos naturales del área representada en el mapa, por ejemplo: montañas, ríos, arroyos, áreas boscosas, volcanes, sierras, áreas pantanosas, etc. Para la elaboración de mapas, se deben seguir ciertos estándares que establecen entre otras cosas, los colores, el tipo y grosor de líneas, los símbolos y otras características.

Estas guías son reconocidas a nivel mundial, cada mapa debe especificar la escala, la fuente de información, la fecha de creación y el listado de símbolos que le permiten a cualquier persona poder interpretar los datos proporcionados por los mapas. Para los colores se tiene por ejemplo que: todas las construcciones hechas por el hombre se representarán en color negro, las características hidrográficas en color azul, las características de vegetación y tipo de suelo en color verde y las curvas de nivel en color rojo.



También son mostrados elementos artificiales, características hechas por los humanos entre los que podemos mencionar: fronteras políticas, indicadores de densidad de población, redes de transporte, etc. Este tipo de mapa es el más utilizado por la gran cantidad de información que proporciona.

4.6.2 Mapas temáticos

Estos presentan un tipo de información específica, por ejemplo, las cartas náuticas en las que los datos son presentados, están relacionados con los océanos o grandes masas de agua que son utilizadas para navegar. Entre la información que puede presentar una carta náutica están: profundidades, bancos de arena, distancia en millas náuticas, puertos, etc.

4.7 Modelo Digital del terreno (MDT)

Uno de los elementos básicos de cualquier representación digital de la superficie terrestre son los Modelos Digitales de Terreno (MDT). Constituyen la base para un gran número de aplicaciones en ciencias de la Tierra, ambientales e ingenierías de diverso tipo.

Se denomina MDT al conjunto de capas (generalmente raster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Aunque algunas definiciones incluyen dentro de los MDT prácticamente cualquier variable cuantitativa regionalizada.

El trabajo con un MDT incluye las siguientes fases que no son necesariamente consecutivas en el tiempo:

- Generación del MDE
- Manipulación del MDE para obtener otras capas del MDT (pendiente, orientación, curvatura, entre otros) Visualización en dos dimensiones o mediante levantamientos 3D de todas las capas para localizar errores Análisis del MDT (estadístico, morfométrico, entre otros)
- Aplicación, por ejemplo como variable independiente en un modelo de regresión que haga una estimación de la temperatura a partir de la altitud.

Una de las razones por las que estas fases se solapan es que en muchos casos la manipulación, visualización y análisis van a permitir descubrir errores



en el MDE. De este modo se vuelve a la primera fase y se genera un MDE mejorado.

4.7.1 Estructuras de codificación de la elevación

Un Modelo Digital de Elevaciones puede representarse de forma genérica mediante la ecuación:

$$z = f(x, y)$$

Que define un campo de variación continua. La imposibilidad de resolver la ecuación anterior para todos los puntos del territorio obliga a definir elementos discretos sobre el mismo que permitan simplificar la codificación de la elevación. Las más habituales son:

- **Curvas de nivel**, se trata de líneas, definidas por tanto como una sucesión de pares de coordenadas, que tienen como identificador el valor de la elevación en cada uno de los puntos de la línea. Generalmente el intervalo entre valores de las curvas de nivel es constante.
- **Red Irregular de Triángulos (TIN)**, a partir de un conjunto de puntos, en los que se conoce la elevación, se traza un conjunto de triángulos, formados por tripletas de puntos cercanos no colineales, formando un mosaico. En ocasiones se parte de las curvas de nivel que, tras descomponerse en un conjunto de puntos, genera una red irregular de triángulos. En este caso hay que tener en cuenta que pueden formarse triángulos a partir de puntos extraídos de la misma curva de nivel, por tanto con el mismo valor, que darán lugar a triángulos planos. Tienen entre sus ventajas el adaptarse mejor a las irregularidades del terreno, ocupar menos espacio y dar muy buenos resultados a la hora de visualizar modelos en 3D o determinar cuencas visuales. Entre los inconvenientes destaca un mayor tiempo de procesamiento y el resultar bastante ineficientes cuando se intenta integrarlos con información de otro tipo; en definitiva hay que utilizarlos para interpolar una capa raster como se vio en el tema anterior.
- **Formato raster**, es el más adecuado para la integración de las elevaciones en un SIG ya que va a permitir la utilización de diversas herramientas para la obtención de nuevos mapas a partir del MDE.

4.7.2 La construcción del MDE

Existen diversos métodos para construir un MDE:

- Métodos directos mediante sensores remotos:
 - **Altimetría**, altímetros transportados por aviones o satélites que permiten determinar las diferencias de altitud entre la superficie terrestre y el vehículo que transporta el altímetro (que se supone constante). El inconveniente es la baja resolución (celdillas muy grandes) de los datos y que se ve muy afectado por la rugosidad del terreno, por ello se limita al seguimiento de hielos polares.
 - **Radargrametría** o interferometría de imágenes radar. Un sensor radar emite un impulso electromagnético y lo recoge tras reflejarse en la superficie terrestre, conociendo el tiempo de retardo del pulso y su velocidad puede estimarse la distancia entre satélite y terreno. En 1999 la NASA inició el proyecto SRTM (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) para elaborar un mapa topográfico de toda la Tierra a partir de interferometría radar.
- Métodos directos sobre el terreno:

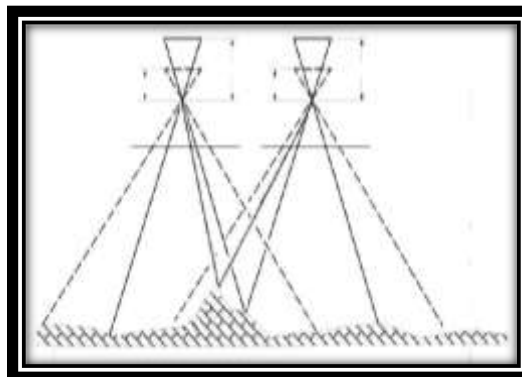


Fig. 4.5: Utilización de la diferencia de paralaje en restitución fotogramétrica.

- **Topografía convencional**, estaciones topográficas realizadas en el campo mediante dispositivos que permiten la grabación de datos puntuales que se interpolan posteriormente.
 - **Sistemas de Posicionamiento GPS**, sistema global de localización mediante satélites, que permite estimaciones suficientemente precisas de latitud, longitud y altitud de un punto, posteriormente deben interpolarse los datos.
- Métodos indirectos:
 - **Restitución fotogramétrica** a partir de fuentes analógicas (fotografía aérea) o digitales (imágenes de satélite). El paralaje de un punto en una fotografía aérea o imagen de satélite es proporcional a la distancia del objeto respecto al fondo de la misma.



- **Digitalización** de curvas de nivel de un mapa mediante escáner o tablero digitalizador e interpolación de las mismas.

Los trabajos de campo son bastante precisos y su resolución se decide *a priori*. Además es posible adaptar el muestreo a las condiciones y las irregularidades del terreno.

Al final tras obtener las elevaciones en una serie de puntos es necesario interpolar los resultados.

El método de generación de MDE más habitual y económico es la digitalización de curvas de nivel.

4.7.3 Validación de un Modelo Digital de Elevaciones. Detección y corrección de errores

Al igual que con cualquier otra variable espacial interpolada, es necesario validar un MDE tras su obtención, su calidad estriba en el tipo y magnitud de los errores cometidos cuya aparición es inevitable ya que se trata de un modelo, por tanto inherentemente impreciso. En el caso de las elevaciones una buena validación requiere algo más de atención ya que:

- 1) Constituye la información de partida para diversos análisis medioambientales y de ordenación posteriores. La pendiente, por ejemplo, es un parámetro clave en muchas aplicaciones.
- 2) Resulta relativamente sencillo obtener información de gran riqueza para la validación a partir de las diversas capas que forman el MDT. La elevación es además una variable permanente y más fácil de medir sobre el terreno que otras.
- 3) Los procedimientos de interpolación a partir de curvas de nivel pueden generar *artefactos*, se trata de geoformas artificiales que afectan dramáticamente la calidad del MDE.

La calidad de un MDE en formato raster va a depender tanto de los errores presentes en los datos con los que se ha construido como del procedimiento de interpolación que se ha llevado a cabo. Los errores de los datos de partida pueden ser de dos tipos:

- **Errores posicionales** implican una mala localización geográfica de la cota o la curva de nivel y afectan, por tanto, a la situación en el plano XY. Si se trata de



puntos tomados en el campo pueden deberse a los errores propios del procedimiento (GPS por ejemplo). Si se trata de curvas de nivel puede deberse a errores en el mapa de partida (o incluso a la generalización de las curvas en mapas de escala 1:200000 o inferior. Pero generalmente se deben al propio proceso de digitalización, a la incorrecta situación del cursor sobre el tablero en el momento de introducir el punto. Puede ser un error aleatorio, generalmente por cansancio, o el denominado *error de generalización* por el que se tienden a simplificar las formas que se digitalizan. Estos errores introducen una cierta incertidumbre en cuanto a la localización de las líneas. Son difíciles de evitar y detectar a posteriori, como normas generales es preferible digitalizar sobre mapas escaneados y evitar sesiones de trabajo largas.

- **Errores atributivos** suponen una asignación imprecisa de la altitud asociada a la cota o a la curva e implican a las coordenadas en el eje Z. Si se trata de puntos en el campo el origen es el mismo que en el caso anterior. En el caso de curvas de nivel digitalizadas, los errores van a ser de carácter aleatorio y fácilmente detectable en los mapas derivados del MDE.

4.7.4 Test para la validación de un mapa de elevaciones

Un **análisis visual** del modelo permitirá una evaluación global de la calidad del mismo, especialmente si se trata de un MDE con alta resolución. Puede compararse una visualización 3D del modelo con una fotografía (o directamente en el campo) y tratar de descubrir puntos erróneos. La visualización de mapas derivados (pendiente y orientación) resultan muy útiles para detectar errores atributivos en las curvas de nivel digitalizadas. Un mal etiquetado de una curva de nivel va a generar valores de pendiente anormalmente elevados que destacarán mucho en un simple análisis visual.

Posteriormente debe hacerse un **análisis estadístico del MDE**, un simple histograma de las elevaciones permitirá descubrir anomalías no detectables con la simple visualización, como el que los valores de las curvas de nivel aparezcan con excesiva frecuencia.

A continuación puede estimarse el error medio mediante un muestreo de errores. Se trata de calcular el error cometido en diversos puntos cuya altitud se

ha medido en el campo y hacer un análisis estadístico de los mismos. En este sentido, el error de altitud en un punto x , y se define como la diferencia entre la altitud real y la estimada:

$$\epsilon_{x,y} = \hat{Z}_{x,y} - Z_{x,y}$$

Si se obtiene el valor de $\epsilon_{x,y}$ para un número de puntos de validación suficientemente alto, se obtiene una muestra de errores cuyas propiedades deseables son:

- media y varianza próximas a cero
- independencia espacial, es decir que los errores no sean sistemáticamente mayores en unos sectores que en otros
- no autocorrelación, es decir que la magnitud del error en un punto es independiente de los errores en puntos cercanos.

Un estadístico válido como aproximación global es el error cuadrático medio que se define como:

$$\bar{\epsilon} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \epsilon_{x,y}^2}{N}}$$

Donde N es el tamaño de la muestra de errores.

Un análisis estadístico de este tipo sólo permite determinar la precisión en la estimación de Z en los puntos de muestreo, sin embargo un buen MDE debe conservar las relaciones entre las celdillas vecinas de manera que no haya alteraciones significativas en las variables obtenidas a través de operadores de vecindad, por tanto debe hacerse un análisis de errores en los mapas derivados.

El análisis de la **consistencia hidrológica** permite extender el análisis de transectos a dos dimensiones. La idea básica es que un MDE debe tener la misma respuesta hidrológica que el terreno que modeliza. Un buen ejemplo de este tipo de análisis sería verificar si se puede reconstruir correctamente la red de drenaje.

4.7.5 Obtención de variables derivadas

Un MDE no solamente contiene información explícita acerca de la altitud en un área muestreada en diversos puntos (modelo TIN) o celdillas (modelo raster) sino que también aporta información relativa a las relaciones (distancia y vecindad) entre los diferentes valores de altitud. Ello permite el cálculo, a partir de diversos procedimientos de álgebra de mapas, de nuevas variables topográficas.

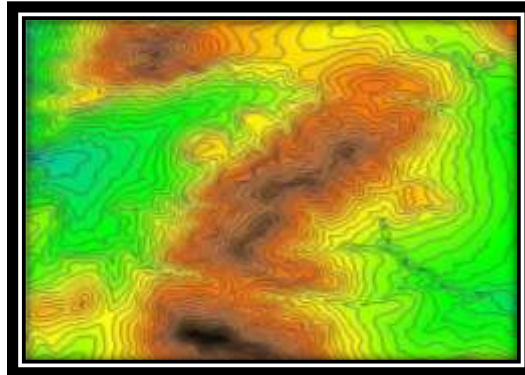


Fig. 4.6: Modelo Digital de Elevaciones.

En la figura anterior aparece el Modelo Digital de Elevaciones de una pequeña zona de poco más de 2 Km². El MDE se ha hecho a partir de curvas de nivel a escala 1:5000 y se utilizará para presentar los diferentes mapas derivados. La **pendiente** en un punto del terreno se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie en ese punto y la vertical. Su estimación es sencilla a partir del MDE, aunque existen diferentes procedimientos que dan lugar a diferentes resultados (cuando se trabaja con un programa es importante conocer cuál es el algoritmo que utiliza para calcular pendientes) entre los métodos habituales están:

- Pendiente máxima de la celdilla central con respecto a los valores vecinos, adecuado para evaluación de la erosión
- Pendiente media de la celdilla central con respecto a cada uno de los valores vecinos
- Pendiente en el sentido del flujo descendente, adecuado en celdillas correspondientes a cauces en aplicaciones de tipo hidrológico
- Ajuste de una superficie a los 9 valores de elevación correspondiente a la celdilla central y sus 8 celdillas vecinas.

$$Z = aX^2 + bY^2 + cXY + dX + eY + f$$

Los parámetros de esta ecuación se calculan para cada celdilla a partir de una vecindad de 3x3 celdillas mediante las ecuaciones:

$$a = \frac{z1 + z3 + z4 + z6 + z7 + z9}{6g^2} - \frac{z2 + z5 + z8}{3g^2}$$
$$b = \frac{z1 + z2 + z3 + z7 + z8 + z9}{6g^2} - \frac{z4 + z5 + z6}{3g^2}$$
$$c = \frac{z3 + z7 - z1 - z9}{4g^2}$$
$$d = \frac{z3 + z6 + z9 - z1 - z4 - z7}{6g^2}$$
$$e = \frac{z1 + z2 + z3 - z7 - z8 - z9}{6g^2}$$
$$f = \frac{2(z2 + z4 + z6 + z8)3 - z7 - (z1 + z3 + z7 + z9) + 5z5}{9}$$

La **orientación** en un punto puede definirse como el ángulo existente entre el vector que señala el Norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie en ese punto. Como en el caso de la pendiente, el valor de orientación se estima directamente a partir de los parámetros obtenidos de ajustar una superficie cuadrática a los nueve valores de la celdilla central y su entorno:

$$O = \text{atn} (e / d)$$

La **curvatura** es la tasa de cambio en la pendiente, depende de las derivadas de segundo grado de la altitud, es decir, de los cambios de pendiente en el entorno del punto. A efectos prácticos puede calcularse como la pendiente de la pendiente. La curvatura tiene especial interés como variable influyente en fenómenos como la escorrentía superficial, canalización de aludes, erosión y flujos en general.

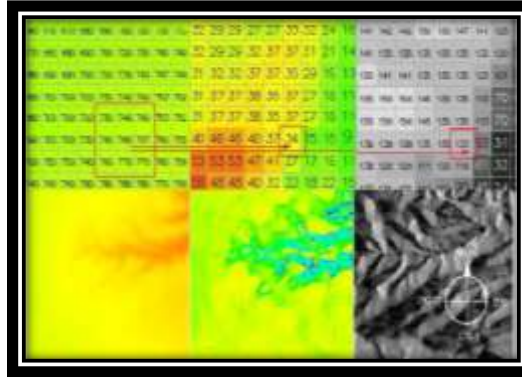


Fig. 4.7: *Operator de vecindad, cálculo de pendientes y orientaciones*

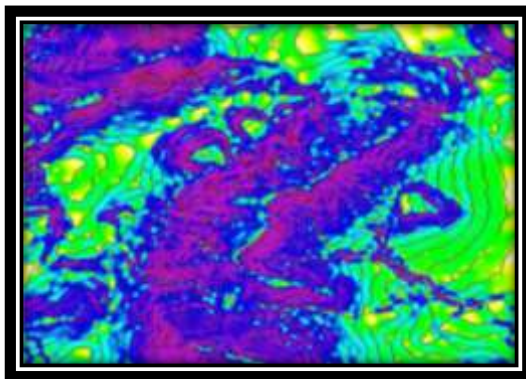


Fig.4.8: *Mapa de pendientes*

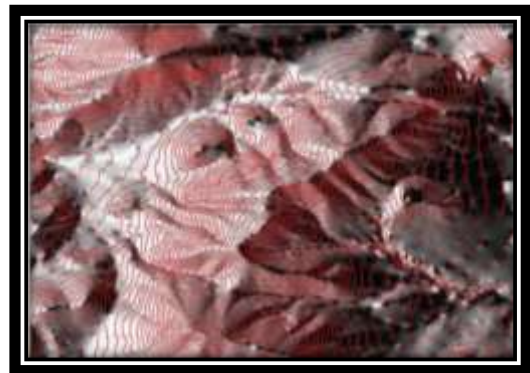


Fig.4.9: *Mapa de orientaciones*



Fig. 4.10: *Mapa de curvatura en sentido transversal a la pendiente*

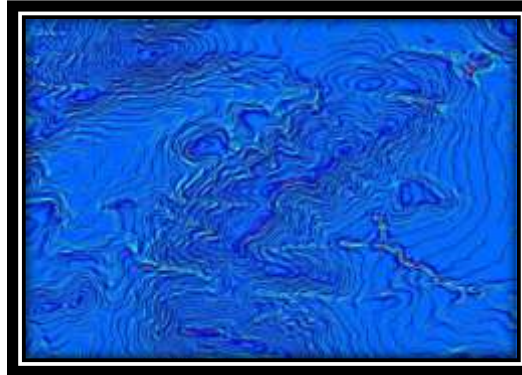


Fig.4.11: Mapa de curvatura en sentido perpendicular a la pendiente

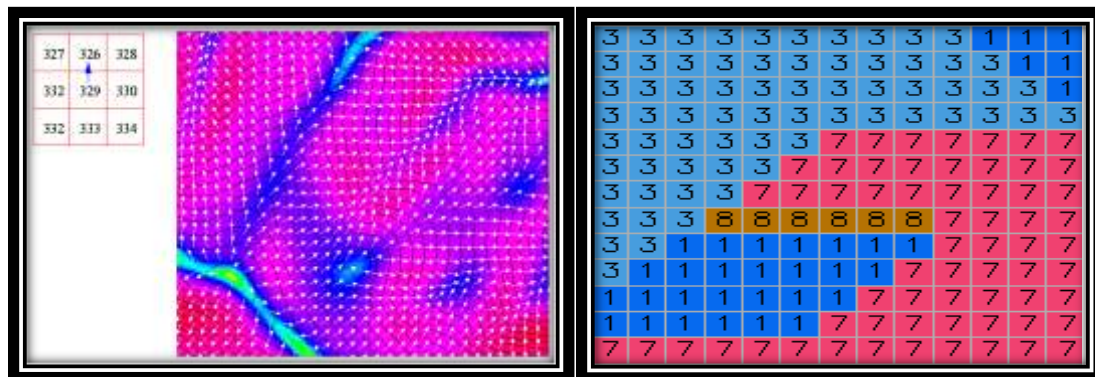


Fig. 4.12: Operador de vecindad. Cálculo de la dirección de flujo

El problema de estos parámetros es que quedan indeterminados cuando la pendiente es cero. Otros parámetros relacionados con la curvatura y que no tienen este problema son la convexidad máxima y mínima:

$$Conv_{max} = a - b + \sqrt{(a - b)^2 + c^2}$$

$$Conv_{max} = a - b - \sqrt{(a - b)^2 + c^2}$$

La **dirección de flujo** representa la dirección hacia la que drenaría un volumen de agua situado sobre una celdilla. Puesto que toda celdilla está rodeada por otras 8, puede tomar 8 valores diferentes. Es necesario establecer criterios para asignar valores numéricos a las 8 direcciones posibles. Generalmente se toma un valor de 1 para la dirección Norte y los siguientes en el sentido de las agujas del reloj. Un valor 0 indicaría una celdilla endorreica.

La **rugosidad** es un concepto intuitivamente sencillo pero del que se han propuesto múltiples definiciones matemáticas. El rango, la desviación típica, el

coeficiente de variación de la altitud o la varianza de la pendiente en la vecindad de una celdilla constituyen buenos estimadores de la rugosidad.

4.7.6 Clasificación de las formas del relieve

Los parámetros cuyo cálculo se ha estudiado en la sección anterior (pendiente, orientación, curvaturas y rugosidad) van a constituir un conjunto de nuevas capas raster que forman parte, junto al MDE, del MDT. De este modo cada celdilla pasa de estar caracterizada por un valor único de altitud a presentar un conjunto de variables que pueden ser utilizadas para caracterizar, desde un punto de vista geomorfométrico, las diferentes celdillas en unidades de paisaje tipo. No hay que olvidar sin embargo la fuerte dependencia que todos estos parámetros que tienen respecto a la escala.

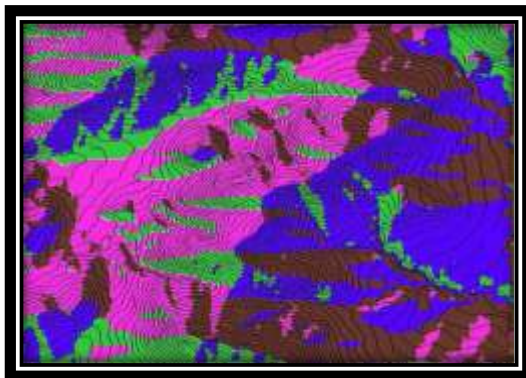


Fig. 4.13: Mapa de dirección del flujo

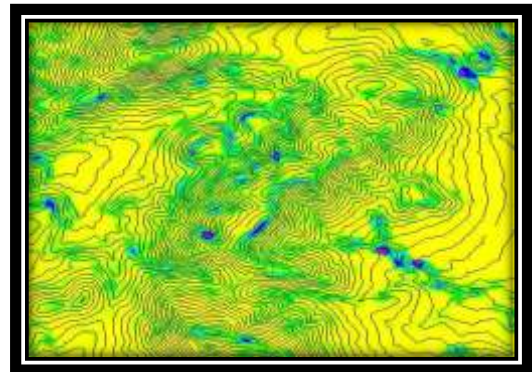


Fig. 4.14: Mapa de rugosidad

Wood propone un esquema de clasificación simple basado en 6 formas que se caracterizan, de un modo semicuantitativo, en la siguiente tabla:

Forma	pendiente	C_t	$Conv_{max}$	$Conv_{min}$
Pico	0	#	+	+
Cresta	0	#	+	0
	+	+	#	#
Collado	0	#	+	-
Plano	0	#	0	0
	+	0	#	#
Canal	0	#	0	-
	+	-	#	#
Pozo	0	#	-	-

Cuadro Criterios de clasificación de formas de relieve



En esta tabla + significa mayor que 0, - significa menor que 0 y # indiferente. Lógicamente es necesario definir para cada variable unos umbrales, negativo y positivo, entre los cuales el valor se considera igual a cero.

Para resolver el problema de la dependencia de la escala se han propuesto esquemas de clasificación basados en el cálculo de estas variables a partir de ventanas de diferente tamaño.

4.7.7 Aplicaciones de los MDT. Apoyo en análisis estadísticos

Las variables incluidas en un MDT son factores de gran importancia en un gran número de procesos ambientales (precipitación, insolación-temperatura, flujos hídricos, erosión, distribución de hábitats, entre otros) por tanto van a ser un elemento clave a la hora de estimar otras variables mediante procedimientos de interpolación global por regresión.

El procedimiento básico sería medir en diferentes puntos del área de estudio la variable independiente junto con las variables dependientes incluidas en el MDT. Un análisis posterior generaría un modelo de regresión de tipo $Y = F(Z, S, O, C_t, \dots)$. Puesto que se dispone de capas raster para cada una de estas variables, resultará fácil llevar a cabo la interpolación por regresión.

Los tipos de modelos que se tratan a continuación son:

- Modelos climáticos
- Modelos hidrológicos
- Modelos de visibilidad
- Modelos Icónicos
- Modelos análogos
- Modelos simbólicos
- Modelos digitales del terreno

4.7.7.1 Modelos climáticos

La topografía es el principal factor local que limita la energía solar incidente sobre la superficie terrestre. La variedad de altitudes, pendientes y orientaciones crean fuertes contrastes locales que afectan directa e indirectamente a procesos biológicos y físicos. Algunos de estos factores son modelizables con los MDT.

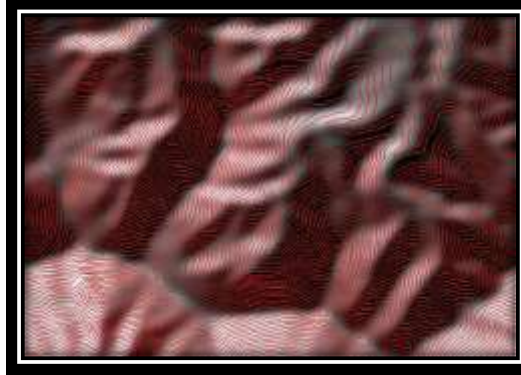


Fig. 4.15: Insolación recibida en hora solar

- Sombras para una determinada posición del sol
- Angulo de incidencia del sol

La existencia de zonas de sombra es una variable de gran interés en regiones montañosas, donde el relieve puede ser el factor determinante más importante del clima local. Se define la insolación potencial en un punto como el tiempo máximo que ese lugar puede estar sometido a la radiación solar directa en ausencia de nubosidad. La insolación potencial depende directamente del ángulo de incidencia del sol respecto a la superficie terrestre y del ocultamiento topográfico ante una trayectoria concreta del Sol.

La insolación potencial se expresa en unidades energía partido por espacio y se refiere a un instante concreto. Puede, sin embargo, integrarse para períodos de tiempo mayores.

La relación entre cada celda y la superficie de referencia se realiza mediante un índice de exposición definido como el cociente entre la radiación solar incidente sobre un lugar del terreno y la superficie de referencia. El cálculo de los índices de exposición nos da un parámetro cuantitativo útil a la hora de comparar las condiciones ambientales en una zona determinada ya que representan una medida objetiva de las diferencias dentro del área del modelo basada exclusivamente en criterios geométricos.

El ángulo solar resulta además de utilidad en aplicaciones relacionadas con la teledetección (corrección por iluminación y cálculo de reflectividades). En cuanto a la radiación recibida se utiliza en:



1. Modelos de estimación de variables climáticas (temperatura, evapotranspiración)
2. Modelos de distribución potencial de especies animales o vegetales.

4.7.7.2 Modelos hidrológicos

La superficie terrestre constituye la base sobre la que tienen lugar, y que por tanto condiciona, gran parte de los procesos de transferencia de materia y energía que tienen lugar sobre la superficie terrestre.

La disponibilidad de un modelo de dicha superficie permite simular estos procesos, con lo que se consigue experimentar independientemente del sistema real. La simulación permite obviar los riesgos inherentes a la experimentación, alcanzar una completa independencia temporal, repetir el experimento el un número de veces arbitrario.

Las características topográficas de una ladera determinan las pautas por las cuales el agua circula sobre ella. El modelo digital de elevaciones contiene información suficiente para definir, al menos en una primera aproximación, las propiedades de la red de drenaje superficial y, por extensión, de la cuenca hidrológica.

Se denomina **línea de flujo** al trayecto que, a partir de un punto inicial, seguiría la escorrentía superficial sobre el terreno.

Las líneas de flujo siguen la línea de máxima pendiente por lo que pueden deducirse del modelo digital de pendientes con las únicas limitaciones que las derivadas de la calidad del MDE original.

A partir del trazado de las líneas de flujo es posible definir la red hidrológica, el **área subsidiaria de una celda** y, por extensión, las cuencas hidrológicas: Se define el área subsidiaria de una celda como el conjunto de celdas cuyas líneas de flujo convergen en ella; una cuenca hidrológica está formada por el área subsidiaria de una celda singular, que actúa como sumidero.

La magnitud del área subsidiaria de una celda del MDE está directamente relacionada con el **caudal máximo potencial**, CMP, en el mismo. En efecto, el caudal que puede circular en un momento dado en un punto del terreno depende, entre otros factores, de la magnitud del área subsidiaria, de las precipitaciones sobre ella y de la pendiente de la zona, que permite la circulación con menor o mayor rapidez. En función de estos parámetros es posible simular el CMP en un modelo digital del terreno.

Otra información de gran interés hidrológico directamente extraíble de un MDT son las redes de drenaje. Para ello se parte de la hipótesis de que hay un valor umbral de área subsidiaria por encima del cual el cauce en cuestión puede considerarse como perteneciente a un cauce. Por tanto basta con reclasificar el mapa de áreas subsidiarias para asignar un valor 1 a aquellas celdillas con área subsidiaria mayor que dicho umbral y valor 0 o nulo a las restantes. Finalmente, si se quiere el mapa de redes de drenaje en formato vectorial se deberá realizar el correspondiente cambio de formato.

Las redes de drenaje extraídas con este procedimiento presentan algunas deficiencias.

- El que en una determinada celdilla se inicie un cauce depende no sólo de su área subsidiaria sino también de las características litológicas e incluso de uso del suelo de la misma. Por tanto utilizar un sólo valor umbral para todo el área de trabajo resulta bastante simplista.

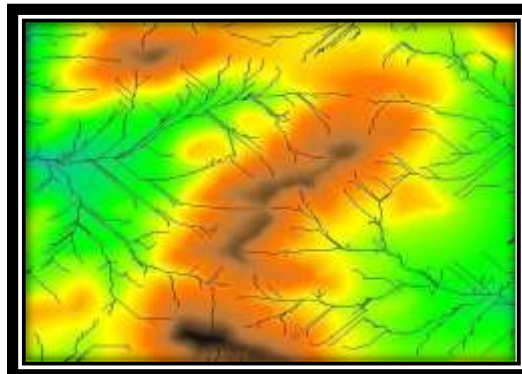


Fig. 4.16: Red de drenaje extraída por procedimientos automáticos a partir del modelo de elevaciones.



- Debido al algoritmo que genera las direcciones de flujo y los mapas de área subsidiaria, los cauces resultantes tienden a adoptar un carácter rectilíneo.

La modelización hidrológica basada en modelos digitales de terreno pretende estimar los caudales generados en una cuenca a partir de sus características topográficas así como las áreas inundables en función de la altura esperable de las láminas de agua. Evidentemente, es necesario compaginar los resultados obtenidos a partir de los modelos de elevaciones con estimaciones de la capacidad de infiltración de los suelos o la estimación de precipitaciones máximas esperables.

4.7.7.3 Modelos de visibilidad

Los modelos de visibilidad establecen el área que se puede ver desde un punto y, por tanto, el área desde la que puede verse ese punto. El primer caso puede ser útil para el diseño de redes de control (de incendios forestales por ejemplo), el segundo como criterio a la hora de ubicar infraestructuras desagradables (vertederos). Dos puntos serán mutuamente visibles si la línea recta que los une tiene siempre una altitud superior a la del terreno. La cuenca visual de un punto base sería entonces el conjunto de puntos de un MDE que son mutuamente visibles con dicho punto base.

El análisis de cuencas visuales puede utilizarse para la evaluación del impacto visual de actuaciones con efectos negativos sobre el paisaje. Es posible construir un modelo de visibilidad, donde cada punto tiene asignado un valor proporcional a la extensión de su cuenca visual. Un modelo de este tipo puede servir de base objetiva para la toma de decisiones ya que permite conocer y comparar con fiabilidad la incidencia visual de las alternativas existentes.

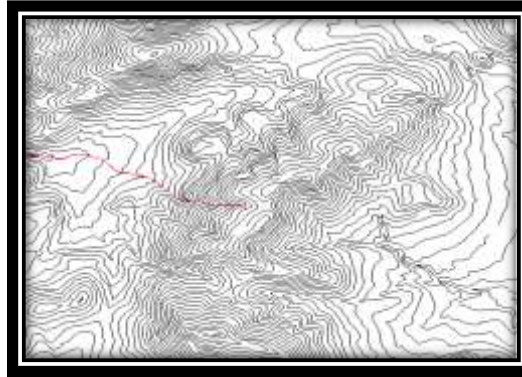


Fig. 4.17: Trayectoria del agua a partir de un punto

4.7.7.4 Modelos icónicos

Un ejemplo de modelo icónico es una maqueta, hay una reducción de tamaño, conservando dimensiones básicas, pero la implicación de esto es que, las características que dependen del tamaño del objeto no podrán ser apreciadas con un modelo de este tipo.

4.7.7.5 Modelos análogos

Poseen una cantidad de propiedades similares a los objetos que representan, sin embargo, la atención de estos modelos radica en mostrar de una manera sobresaliente la propiedad que se quiere distinguir.

Normalmente se construyen utilizando un conjunto de convenciones que sintetizan propiedades del objeto real y que facilita la interpretación de las mismas. Como ejemplo se puede mencionar un mapa impreso que fue construido mediante un conjunto de convenciones de cartografía, en el cuál la propiedad distinguible la temperatura promedio anual de las regiones.

4.7.7.6 Modelos simbólicos

Se construyen mediante reglas más abstractas, debido a que estos modelos se utilizan principalmente cuando los objetos a representar están contruidos mediante una codificación matemática, estadística, etc.

Un ejemplo de este tipo de modelos puede ser un modelo de una ciudad maya de acuerdo a la ubicación de los cimientos de los restos de edificaciones.



Los modelos digitales del Terreno son modelos simbólicos y para construirlos es necesario un proceso de codificación de la información, esta codificación indica que los datos son almacenados como cifras, esta naturaleza numérica representa 3 ventajas.

- 1) **No ambigüedad:** cada elemento del modelo posee propiedades y valores explícitos y específicos.
- 2) **Verificabilidad:** los resultados se construyen mediante pasos específicos que pueden verificarse en cada fase del proceso.
- 3) **Repetitividad:** los resultados pueden ser comprobados y replicados las veces que sea requerido.

4.7.8 Propiedades básicas de los modelos digitales del terreno o MDT

- Los MDT no son solamente un conjunto de cifras, su construcción debe corresponder a una estructura interna, toman la forma de estructuras de datos.
- Los MDT representa una distribución espacial de una variable; esto quiere decir que la construcción de modelos es acotada.
- La variable representada por el MDT debe ser cuantitativa y de distribución continua.

En los modelos digitales del terreno, la información asociada a la topología o a cualquier característica tridimensional, se puede representar por medio de 3 modelos de datos diferentes. Los elementos base utilizados para cada uno de ellos son:

- 1) **Puntos:** en cada punto se ha recogido su posición geométrica por medio de las coordenadas (x, y) y la altura z de ese lugar.
- 2) **Líneas:** en este caso se utiliza una línea para recoger la localización espacial y la altitud de los datos. Es posible usar las propias curvas de nivel tomadas de un mapa como las líneas estructurales del relieve, ríos, entre otros.
- 3) **Funciones matemáticas:** establecen la relación entre dos coordenadas espaciales y la variable altura, son validas para trozos reducidos del terreno.

Para el modelo de datos de puntos, en cada punto se ha pedido las coordenadas x e y de la posición geométrica y la z de la altitud. También es necesario representar la topología, indicando la relación de vecindad entre los

puntos. Según como estén dispuestos los puntos, puede ser regularmente sobre el espacio (matriz de altitudes) o distribuidos de modo irregular (organización de red irregular de triángulos, TIN).

La distribución regular (matriz de altitudes), es una estructura muy usada en la creación de un modelo digital del terreno, pero posee un inconveniente, la incapacidad para adaptarse a las diferentes características de la topografía del terreno; en donde éste plano, sobran puntos que sólo reiteran la característica ya conocida; por el contrario, cuando el terreno se hace empinado y es muy cambiante, puede llegar a faltar información y no se representa adecuadamente la disposición del relieve.

En la estructura de datos de puntos irregulares la topología ya no está implícitamente contenida, se puede añadir de forma explícita. Normalmente la recolección de información necesaria para crear un modelo digital del terreno se hace obteniendo una muestra de las alturas en diversos puntos, con éstos se crea la red denominada TIN.

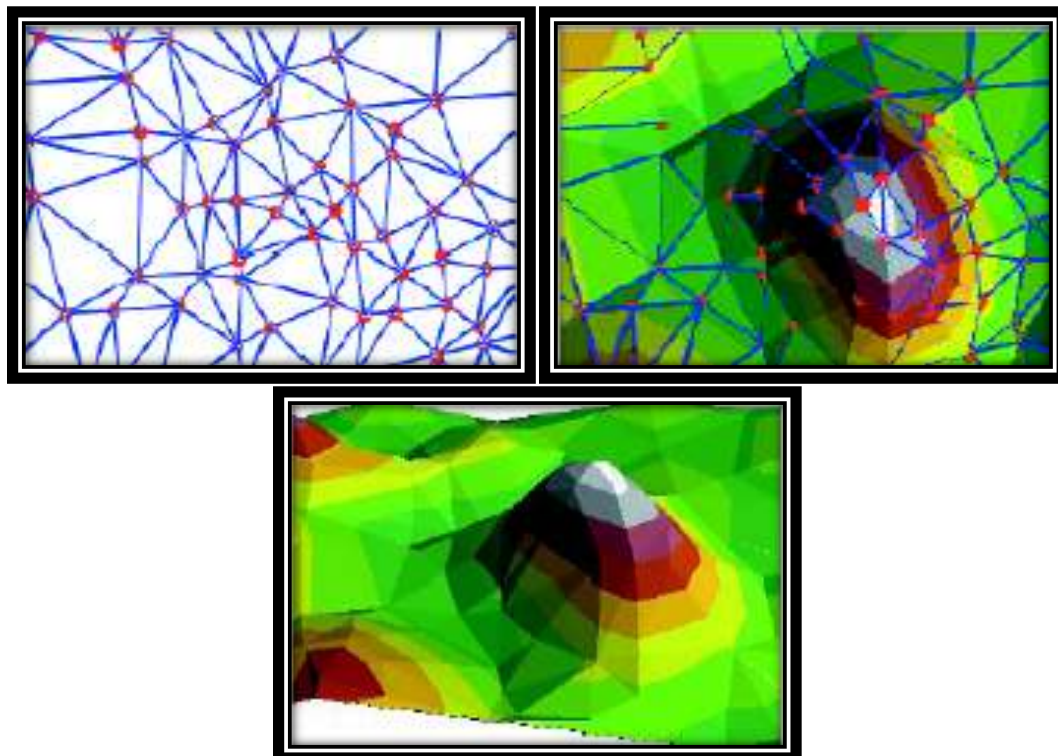


Fig. 4.18: TIN (red de triángulos irregulares)

4.8 GPS (sistema de posicionamiento global)

Los Sistemas de Posicionamiento Global han revolucionado las ciencias relacionadas con la georreferenciación, como la navegación, la geodesia y la topografía, reemplazando los métodos tradicionales por sofisticados sistemas de simple operación para el usuario final.

El GPS es un sistema basado en satélites artificiales, dispuestos en una constelación de 24 de ellos, para brindar al usuario una posición precisa. Para un excursionista o un soldado que se encuentre en el desierto, la precisión significa más o menos 15 m., para un barco en aguas costeras, la precisión significa 5m., para un topógrafo, la precisión significa 1 cm o menos. El GPS se puede emplear para obtener todos estos rangos de precisión, la diferencia radicarán en el tipo de receptor a emplear y en la técnica aplicada.

Este revolucionario sistema creado en la posguerra con fines militares se ha ido convirtiendo lentamente en la herramienta más utilizada en el mundo entero para la georreferenciación, navegación y localización de elementos. Conceptualmente hablando se trata de una red de satélites que envuelven al globo terráqueo, más una serie de estaciones de control que les permiten a los equipos receptores recibir y procesar las señales de radio enviadas por dicha red, y al disponer de la señal de cuatro satélites se pueden obtener las coordenadas del punto con precisiones que alcanzan rangos entre 10 y 25 metros con equipos de uso común.

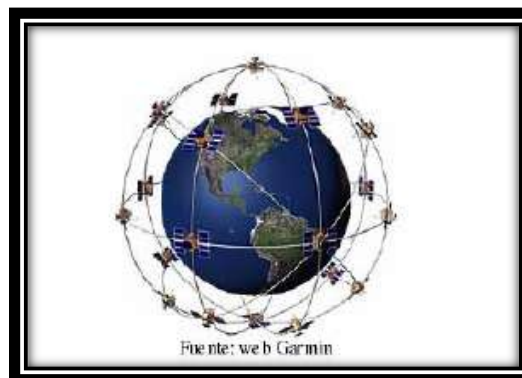


Fig. 4.19: Constelación de satélites GPS

El uso correcto de un equipo receptor GPS está definido por entregarle a este los parámetros correctos, los que variarán de acuerdo con las características y modelo del equipo, entre los que se destacan la definición del datum, tipo de coordenadas y el huso cartográfico.

4.8.1 Ventajas y desventajas de los GPS

Ventajas:

- Proporciona cobertura continua las 24 horas del día.
- No es afectado por los terrenos accidentados o el mal clima.
- Mucho menos tiempo en el campo.
- El GPS se convierte en un nuevo accesorio que fácilmente puede ser utilizado.
- El GPS resulta más exacto y rápido. El GPS nos da la posición incluso cuando no tenemos referencias visuales.
- Las funciones de memoria del GPS nos permite grabar y recuperar posteriormente los datos, una vez en casa, podemos archivarlos para su uso posterior o compartirlos con otras personas.

Desventajas:

- El GPS cuesta más que una brújula y un altímetro. Por ello para poder sacarle todo su provecho hay que saber leer un mapa y conocer la terminología de la orientación: rumbo, latitud, longitud, entre otros.
- El GPS genera un alto consumo eléctrico, con lo que las baterías recargables se convierten en un extra imprescindible si es que no queremos contaminar con las pilas alcalinas.

4.8.2 Tipos de Receptores GPS

- Navegadores
 - Poca exactitud.
 - Portátiles.
 - Código c/a.
 - Expuestos a disponibilidad selectiva.
 - Alternativa en diferencial.
- Geodésicos
 - Mediciones diferenciales.
 - Código c/a, L1, L2 y código p.



- De alta precisión.



4.8.3 Aplicaciones de los GPS.

- Navegación: Marítima, terrestre, aérea.
- Campo militar. (Guía de misiles, navegación de tropas, misiones nocturnas).
- Geodesia. (Control de redes geodésicas).
- Geodinámica. (Determinación de deformaciones de la superficie terrestre).
- Geología. (Estudio de tectónica de placas, posicionamientos geológicos).
- Topografía y Fotogrametría. (apoyo fotogramétrico, puntos de control).
- Obras civiles. (Bases de replanteo en vías, túneles, puentes, redes eléctricas).
- Hidrografía (batimetría, evolución fluvial).
- Actualización de SIG (incorporar datos de campo, inventarios, usos suelo).
- Defensa Civil. (Localización de zonas afectadas, vehículos de auxilio).

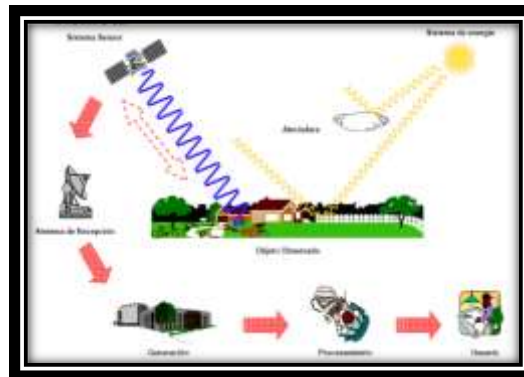


Fig.4.20: Elementos que participan en la Percepción Remota.

4.9 Redes geodésicas

Antes de hablar de las redes geodésicas, se definirá que es la geodesia. Esta es considerada como una ciencia matemática que determina la forma, el tamaño, las dimensiones y el campo gravitacional de la tierra y trabaja con otras ciencias auxiliares. Esta se aplica comúnmente para fines de control en el ordenamiento de tierras, para establecer los límites de suelo para edificaciones o para determinar las medidas de obras construidas.



Una red geodésica consiste en una serie de puntos de control establecidos, los cuales cuentan ya con mediciones de su posición en el planeta. Estos puntos son utilizados como referencia cuando se necesitan realizar carreteras, edificaciones y otras construcciones.

Actualmente se utilizan satélites para ayudar a determinar las características irregulares del paisaje y las coordenadas de los puntos (generalmente con equipo de GPS) que conforman la red geodésica.

Un levantamiento geodésico se utiliza para áreas extensas, en donde las mediciones topográficas deben tomar en cuenta el geoide utilizado. Estos levantamientos se basan en un meridiano definido por un eje de rotación y se apoyan en la geometría esférica.

4.10 Catastros

En la información catastral se tienen datos espaciales de territorio, mediciones de los espacios, ubicación, propietario. Esta información se utiliza principalmente para recaudación de impuestos y para el ordenamiento de tierras.

Todos estos datos se encuentran almacenados principalmente en papel, haciendo que el cambio de propietario o venta de una porción del terreno sea un proceso lento en muchas ocasiones. Si en algunos países, la información de catastro se tiene almacenada en bases de datos y manejada con computadoras, posiblemente ayude a que los trámites no tomen mucho tiempo.

Como se ha dicho, durante la construcción de un SIG, la parte de mayor esfuerzo es la recopilación de los datos y el ingreso de éstos al sistema. Los datos provenientes de catastro son de gran volumen y el trabajo que se necesita es aún mayor. La ventaja de poseer estos datos es que se cuenta con un nivel de detalle que no es posible obtener de otras fuentes.

Una forma de actualizar la información de catastros en un SIG es a través de encuestas y censos. En nuestro país, el proyecto de SIG para catastro nacional, prevé una duración aproximada de 20 años. La forma de

almacenar los datos geográficos de la información catastral es generalmente con estructuras de datos vectoriales, utilizando fotografías aéreas ocasionalmente para proporcionar una mejor idea de la ubicación y medidas de las edificaciones.

4.11 Sistemas de coordenadas

Un sistema de coordenadas geográficas es un sistema de referencia usado para localizar y medir elementos geográficos. Para representar el mundo real, se utiliza un sistema de coordenadas en el cual la localización de un elemento esta dado por las magnitudes de latitud y longitud en unidades de grados, minutos y segundos. La longitud varía 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 varía 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. Las coordenadas cartesianas son generalmente usadas para representar una superficie plana. Los puntos se representan en términos de las distancias que separan a dicho punto de los ejes de coordenadas.

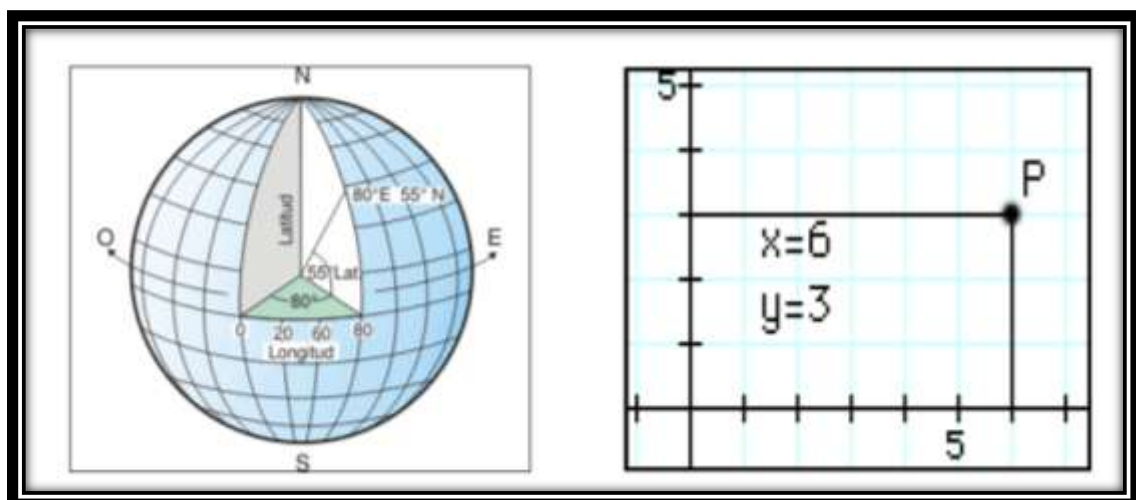


Fig.4.21: Sistema de coordenadas geográficas y Sistema de coordenadas cartesiano.

4.11.1 Sistema de coordenadas UTM

El sistema de coordenadas UTM (universal transversa de mercator), divide al planeta en 60 zonas o husos, la forma en que funciona este sistema de coordenadas es ubicando en un cilindro de tal forma que sea tangente a un meridiano. El ecuador y el meridiano principalmente son representados por líneas perpendiculares. Cada una de las zonas en las que se divide el planeta tiene 6° de separación entre cada línea que limita la zona, haciendo un total de 360°.

Las coordenadas planas de este sistema resultan convenientes, especialmente para la representación de mapas topográficos. Este sistema es muy utilizado y valido en cualquier parte del mundo. Para identificar a una de las 60 zonas que lo componen, se hace mediante un identificador de zona y una pareja de coordenadas(x, y); proporcionando los datos en metros. El hecho que se tome el meridiano central y el ecuador como puntos clave de referencia, permite la conversión de coordenadas UTM a geográficas y a otros sistemas de coordenadas.

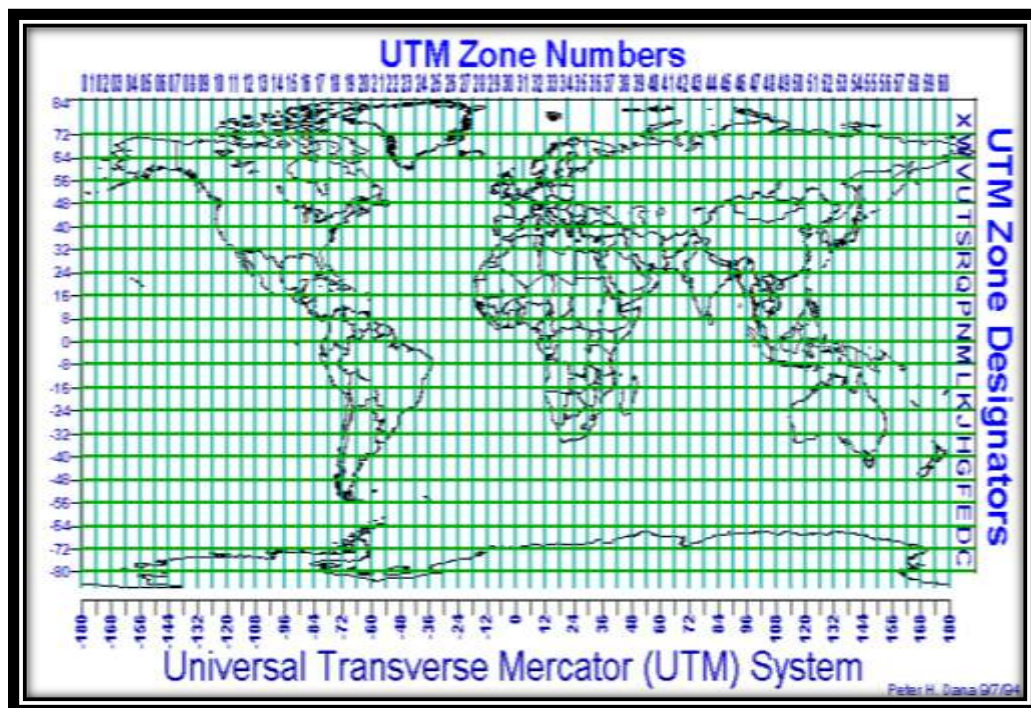


Fig. 4.22: Zonas UTM (Universal Transversa de Mercator).



4.11.2 Sistema de coordenadas geográficas

Las estaciones GPS proporcionan las coordenadas de: latitud, longitud y altura elipsoidal, la latitud varía de 0 a 90 grados en el hemisferio norte y de 0 a 90 grados en el hemisferio sur con las líneas imaginarias en posición paralela al ecuador y se les denomina paralelos o líneas ecuatoriales. La longitud varía de 0 a 180 grados en el hemisferio Este y de 0 a -180 grados en el hemisferio Oeste de acuerdo a las líneas imaginarias llamadas meridianos y que son paralelas al meridiano de Greenwich.

El origen de ese sistema de coordenadas está determinado en el punto en donde se encuentran la línea del ecuador y la del meridiano de Greenwich. La altitud geodésica, o elipsoidal es la distancia del punto considerado al elipsoide elegido.

Para comprender este sistema de coordenadas, se debe conocer la forma y tamaño de la tierra. Aunque no es necesariamente una figura geométrica como una esfera debido a su rugosidad, tiende a ser considerada como tal. Algunas personas toman en cuenta que está ensanchada en el ecuador y achatada en los polos y por esto la consideran como un elipsoide, otros como un geoide.

Puede parecer extraño, pero hasta la fecha no se cuenta con un sistema estandarizado para las mediciones terrestres, existen varios sistemas de referencia que se basan en diferentes elipsoides, los receptores GPS utilizan mayormente el elipsoide WCS84.

Cuando se usa un elipsoide como superficie de referencia se dice que la latitud es geodésica. La latitud geodésica es el ángulo formado por la línea ecuatorial y una línea perpendicular a la elipse en una localización dada.

El Geoide es otra forma de aproximación para la tierra, ésta es una forma tridimensional que se aproxima por el nivel medio que alcanza el mar en el océano y además de la superficie de varios canales cruzando los continentes, incluyen las depresiones debido a las variaciones y densidades de roca así



como el relieve. Si el geoide solo fuera una aproximación del nivel del mar, estaríamos hablando de un elipsoide.

4.12 Nociones básicas de cartografía

Junto al manejo de archivos digitales y a las facilidades que brinda un Sistema de Información Geográfica (SIG), de mezclar información a distintas escalas y provenientes de fuentes diversas, surge la necesidad de dominar conocimientos relativos a como se representa la información de la Tierra en una superficie plana o mapa.

Dichos conocimientos, son fundamentales para entender y evitar la generación de errores en el manejo de información en un SIG. Términos como "escala", "proyección", "datum", "transformación de coordenadas", son algunos de los más comunes en un SIG. El desconocimiento de esta información lleva a cometer errores importantes durante el ingreso de la información y sobre todo, cuando se quiere juntar datos e información provenientes de fuentes distintas.

4.12.1 Elementos de cartografía básica

La Cartografía se define como la ciencia de representar la Tierra, y ha de tener el criterio suficiente para suprimir más o menos detalles, según el sistema de proyección, la escala y el objeto de cada mapa; los elementos representados lo son mediante símbolos, dibujos y colores.

Coordenadas Geográficas: Término con que se designa indistintamente las coordenadas geodésicas o astronómicas

Huso o Zona: Sección de un globo limitado por dos meridianos o círculos máximos, el volumen esférico correspondiente se llama cuña. En la proyección UTM cada huso viene determinado por dos meridianos separados por una longitud de 6 grados sexagesimales y dos paralelos de latitud 80 grados N y S. En Chile continental se emplean 2 husos distintos: el huso 18 y el huso19.

Norte Geográfico: El norte geográfico o verdadero es el que señala hacia el polo norte, o punto de la superficie terrestre por donde pasa el eje de rotación de la Tierra.

Norte Magnético: Situado en el polo magnético del hemisferio norte.



Azimut: Angulo que forma una línea con la dirección Norte - Sur, medido de 0° a 360° a partir del norte, en el sentido del movimiento del reloj.

Datum: Punto fundamental del terreno, determinado por observación astronómica, con el que se enlazan los extremos de la base del primer triángulo de una cadena de triangulación y que sirve de origen a todas las coordenadas geográficas de la red. En Chile se ha adoptado el Datum provisorio sudamericano 1956 (cartas IGM), sudamericano 1969 (cartas IGM y ortofotos CIREN) y WGS 84 (últimas ediciones de cartas IGM y ortofotos CIREN).

Es fundamental que los usuarios sepan el origen de las coordenadas geográficas que están utilizando. Observe las siguientes coordenadas geográficas:

- 33° 20' 05" S ; 72° 10' 34" W Elipsoide Internacional de 1909 (1924), Datum PSAD56
- 33° 20' 05" S ; 72° 10' 34" W Elipsoide Internacional de 1969, Datum SAD69

Pese a lo que pueda parecer a simple vista, ambas coordenadas geográficas corresponden a dos puntos diferentes sobre la Tierra.

Escala: Se definen como la razón constante que existe entre algún elemento de la realidad y su respectiva imagen de representación. La escala de trabajo puede ser 1:100.000; 1:20.000; 1:1.000; escala nacional, regional o predial.

Escala	1 cm. Lineal	1 cm²	Hás
1: 100	1 m	1 m ²	0.0001
1: 5.000	50 m	2.500 m ²	0.25
1: 10.000	100 m	10.000 m ²	1.0
1: 50.000	500 m	250.000 m ²	25.0
1: 100.000	1.000 m	1.000.000 m ²	100.0

En los SIG puede modificarse la escala, pero el nivel de detalle, definido como el mayor o menor grado de aproximación que se puede obtener de los distintos elementos de una representación cartográfica, no varía.

Geoide: Las superficies en las cuales el potencial de gravedad es constante. Coincide con nivel medio del mar en reposo.



Elipsoide: Es una esfera achatada en los polos, modelo matemático de la Tierra utilizado para realizar cálculos y que se sitúa lo más cerca posible del geode.

4.13 Proyecciones

La superficie de referencia más comúnmente usada para la descripción de localizaciones geográficas es una superficie esférica. Esto es válido aún sabiendo que la figura de la tierra se puede modelar más como un elipsoide que como una esfera. Se sabe sin embargo que para la generación de una base de datos que permita la representación de elementos correctamente georeferenciados, y en unidades de medidas comunes como metros o kilómetros, debe ser construida una representación plana. Toda proyección lleva consigo la distorsión de una o varias de las propiedades espaciales ya mencionadas. El método usado para la proyección será el que en definitiva nos permita decidir cuales propiedades espaciales sean conservadas y cuales distorsionadas. Proyecciones específicas eliminan o minimizan la distorsión de propiedades espaciales particulares. Las superficies de proyección más comunes son los planos, los cilindros y los conos, según el caso se exige la proyección azimutal, cilíndrica y cónica respectivamente. Las propiedades espaciales de forma, área, distancia y dirección son conservadas o distorsionadas dependiendo no solo de la superficie de proyección, sino también de otros parámetros. Puesto que cada tipo de proyección requiere de una forma diferente de transformación matemática para la conversión geométrica, cada método debe producir distintas coordenadas para un punto dado. Por ejemplo: Transformación de mercator, transformación estereográfica.

4.13.1 Proyecciones Cartográficas, cilíndricas, cónicas y planas

- Métodos para definir una correspondencia matemática entre los puntos del elipsoide y sus transformados en el plano.
- Transforman superficies curvas en superficies planas.
- Se pueden agrupar según su distorsión y/o su superficie.



Fig. 4.23: Proyección Boggs.

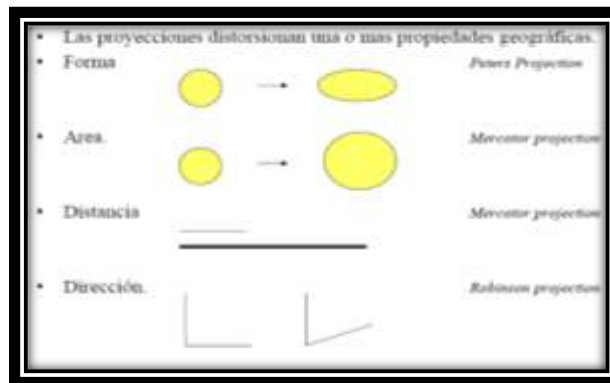


Fig. 4.24: Distorsiones de las proyecciones.

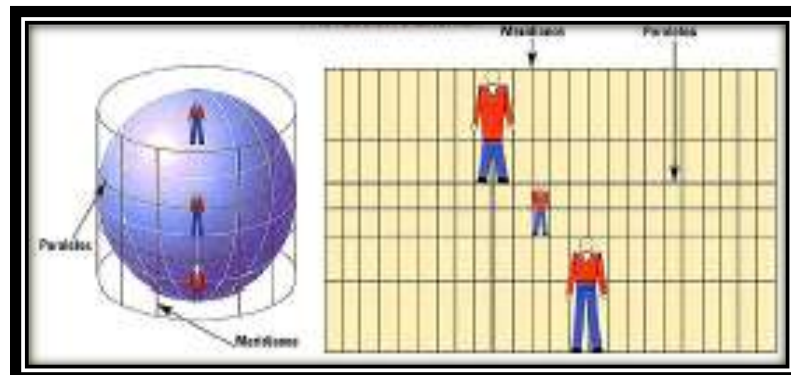


Fig. 4.25: Proyección cilíndrica (se concibe como un cilindro que coloca tangente a la Tierra por el ecuador).

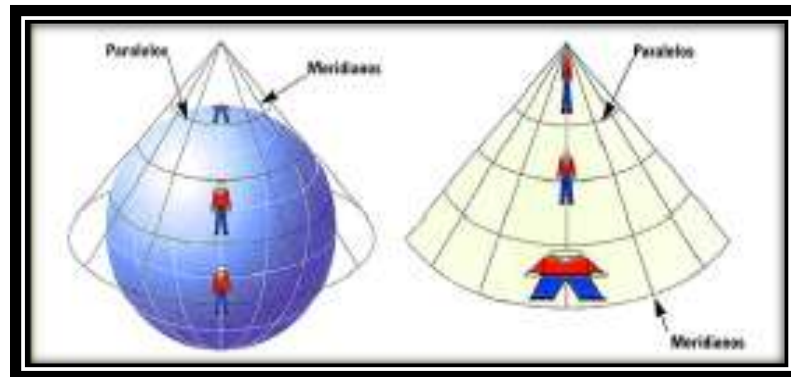


Fig. 4.26: Proyección cónica (proyección sobre un cono secante o tangente a la Tierra por el ecuador).

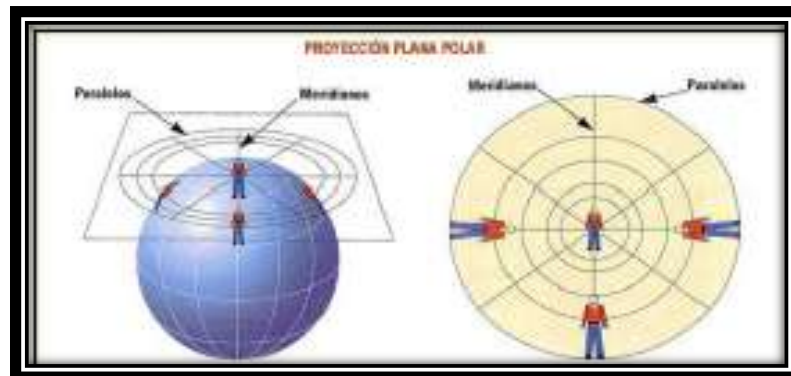


Fig. 4.27: Proyección plana polar (plano tangente al globo).

CAPÍTULO 5

CAPÍTULO 5 EJEMPLO DE APLICACIÓN

CAPÍTULO 5

EJEMPLO DE APLICACIÓN

El ejemplo que se realizará a continuación será con la ayuda de un Sistema de Información Geográfico “ArcView Gis 3.2” y la Carta Topográfica del Río San Pedro Excatán del estado de Nayarit.

5.1 Abrir el programa

Para comenzar con el manejo del programa ArcView Gis 3.2 es necesario abrirlo, presionando doble vez sobre el icono que representa dicho programa. Ver figura 5.1.

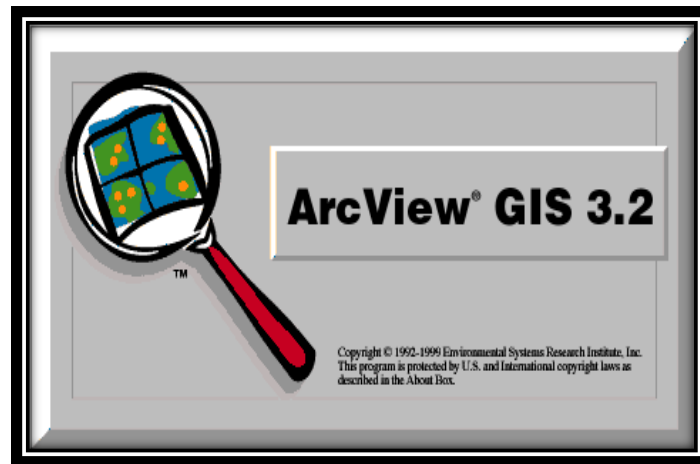


Fig. 5.1: Icono del programa ArcView Gis 3.2.

Mostrará una ventana con 3 opciones a elegir: un nuevo proyecto, un proyecto en blanco ó abrir un proyecto existente. Ver figura



Fig. 5.2: Se observan las tres diferentes opciones que se dan, el programa ArcView Gis 3.2, por de fault marca la primera opción, es decir, “un nuevo proyecto”.

Se deja la opción de “un proyecto en blanco” y se da click en “OK”, enseguida aparecerá la ventana del proyecto donde se estará visualizando los temas que se agreguen a ella. Ver figura 5.3.

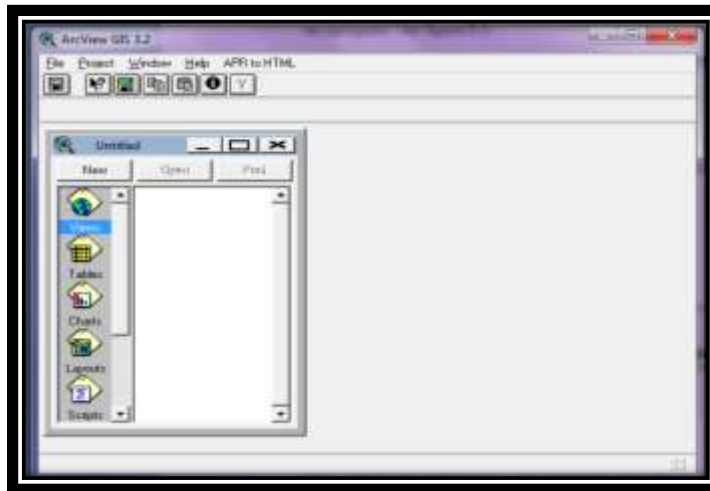


Fig. 5.3: Visualización de la ventana del proyecto.

5.2 Abrir una vista

Para abrir la vista hay dos formas de acceder a ella, una es dando doble click en “Views”, de forma tal que se ponga de color azul y la segunda es presionando en el botón superior “New”. Ver figura 5.4

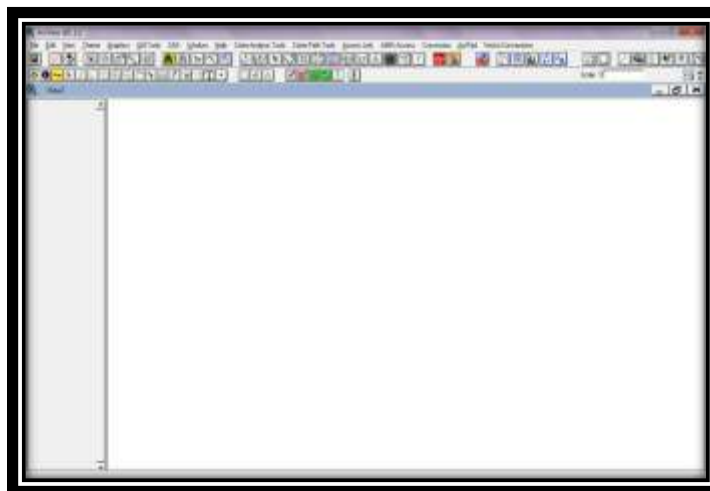


Fig. 5.4: Presentación de una vista abierta

5.3 Propiedades de la vista

En el menú “View”, seleccionamos la opción “Properties”. Allí, podemos establecer las propiedades de la vista. Es muy importante seleccionar las unidades de la cartografía (unidades en las que fue construida) y las unidades de distancia que usaremos para esa vista. En este caso usaremos las unidades en metros y kilómetros. Ver figura 5.5.

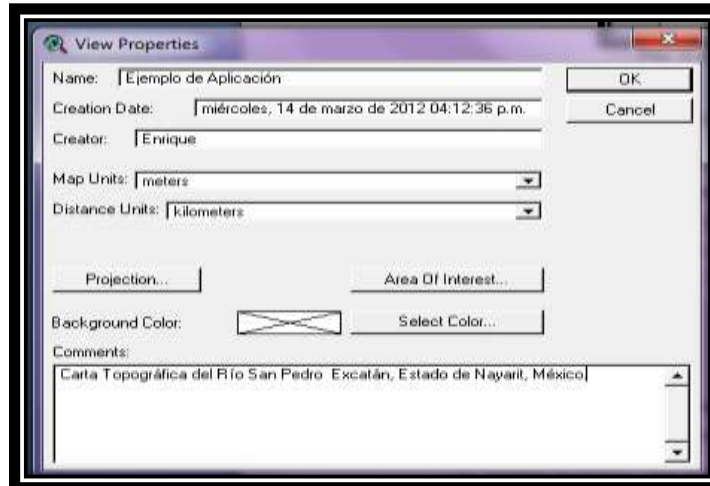


Fig. 5.5: Propiedades con las que se trabajará en el trazo de la cuenca

5.4 Activar extensiones

Dentro de una vista, podemos agregar diferentes tipos de “temas” o capas de información cartográfica: vectoriales, raster, etc.

Los temas o capas del tipo “vectoriales” representan elementos geográficos, mediante tres formas básicas: puntos, líneas y polígonos.

Los temas pueden ser creados desde una variedad de fuentes, incluso mapas digitales existentes, imágenes y ficheros tabulares.

Para cargar la información que requerimos para el trazo de la cuenca es necesario activar las extensiones del programa, haciendo click en el menú “File”, seleccionamos la opción “Extensions”, nos aparece un cuadro donde se encuentran instaladas en ArcView Gis 3.2, activamos todas y damos click en “OK”. Ver figura 5.5.

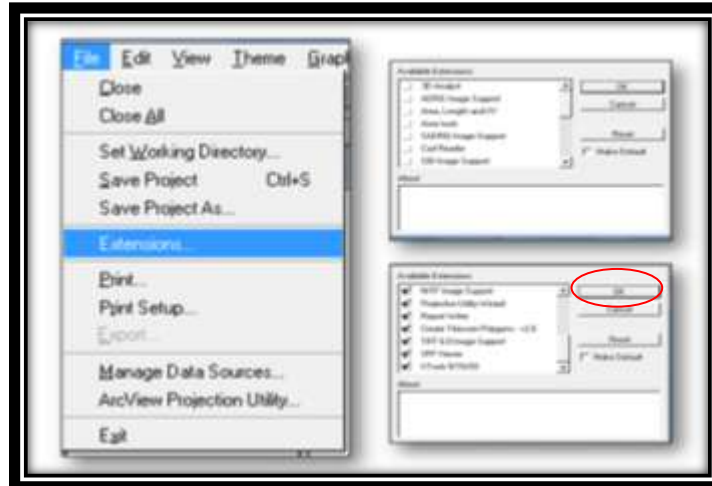



Fig. 5.6: Activación de las extensiones de ArcView Gis 3.2

5.5 Añadir temas a la ventana del proyecto

Para empezar a trabajar con el trazo de nuestra cuenca es necesario que en nuestra ventana del proyecto visualicemos nuestros temas que se estudiarán. Para ello nos vamos a la barra de botones y presionamos en el icono “Add Theme” , se despliega una ventana de dialogo para seleccionar los archivos adecuados. Es necesario aclarar que debemos crear una carpeta en una unidad y guardar todo ahí para llevar un mejor control ya que el programa crea carpetas y es más complicado encontrar su ruta, en este caso se creó la carpeta en la unidad **c:\esr\ejemplo de aplicación**, otro dato muy importante es que no pasemos de 8 caracteres en cada paso que guardemos, a veces el ArcView Gis 3.2 no reconoce la ruta cuando es muy largo el nombre.

Para poder abrir nuestros archivos, es necesario seleccionar en la pestaña de la parte inferior izquierda la forma “Feature Data Source”, esta opción nos muestra las diferentes subcarpetas que se encuentran para nuestro ejemplo, seleccionamos las 3 que se encuentran en formato “.dxf” y presionamos “ok”. Ver figura 5.4.

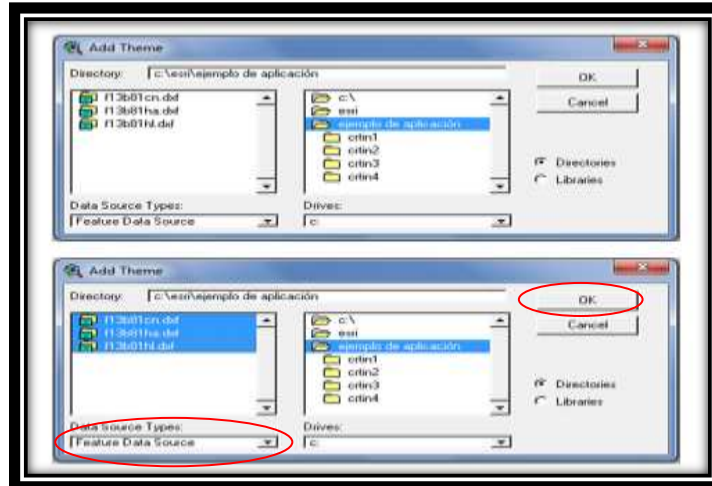


Fig. 5.7: Abriendo los temas de elección

Una vez hecho lo anterior nos aparece en la tabla de materiales los diferentes temas a estudiar. Ver figura 5.8.

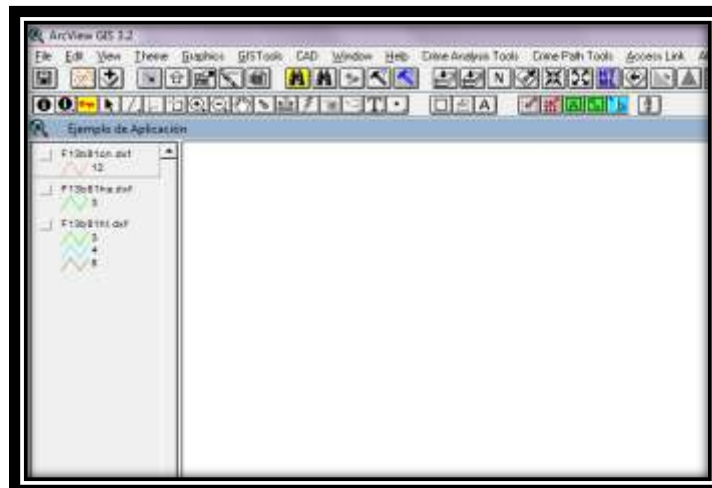


Fig. 5.8: Temas añadidos a la ventana del proyecto.

5.6 Hacer visible los temas

Para hacer visible las curvas de nivel y la hidrografía de la carta topográfica, se logra cliqueando sobre el cuadro gris que se encuentra a la izquierda de cada tema, notaremos en seguida que aparecerán las diferentes capas en la ventana del proyecto. Ver figura 5.9

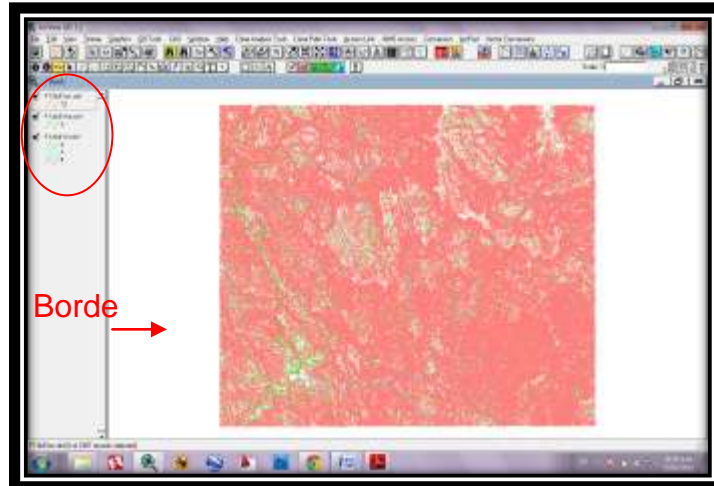


Fig. 5.9: Visibles los temas

Para visualizar completo la descripción de los temas, nos dirigimos en nuestra tabla de materiales y arrastramos su borde hacia la derecha con el mouse.

5.7 Formato “.dxf” a “.shp”

Podemos observar que nuestras capas se encuentran en formato “.dxf” por lo cual procedemos a convertirlos en formato “.shp”. Esto se hace de la siguiente manera. Seleccionamos la capa que vamos a convertir, nos dirigimos al menú “Theme”, dentro de esa lista de funciones, presionamos en “convert to shapefile”, nos aparecerá una ventana en donde nos indica cómo y dónde guardarlo, (para esto hemos creado nuestra carpeta de información) nos dirigimos a ella colocamos el nombre a elegir y presionamos “OK”, veremos que nos aparece un nuevo tema con el nombre que elegimos en formato “.shp” el mismo procedimiento hacemos para los demás temas. Ver fig. 5.10.

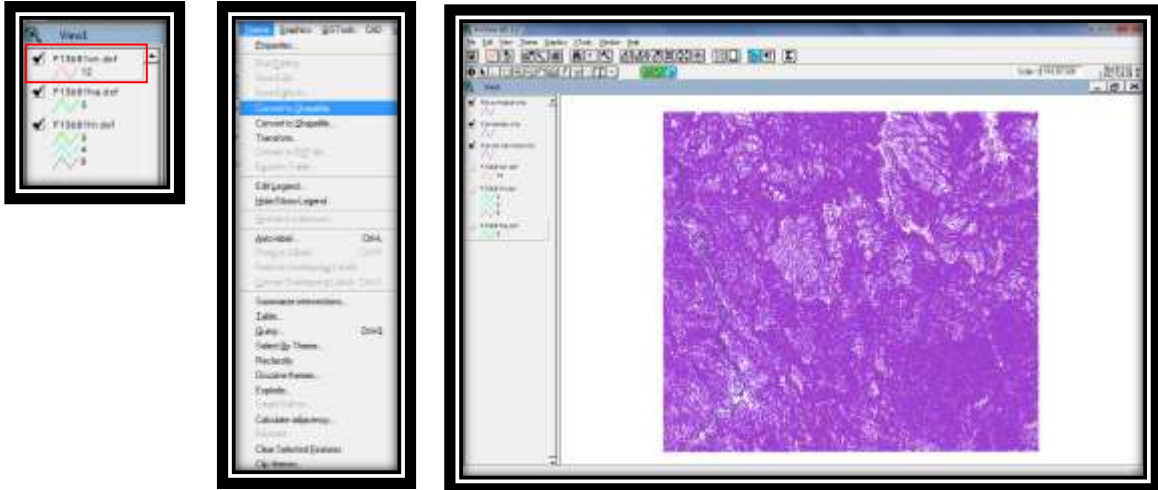


Figura 5.10: Resultado de la conversión de un archivo en formato “.dxf” a uno de “.shp”.

5.8 Eliminar temas

Una vez nuestras capas convertidas a formato “.shp” procedemos a eliminar las que no vamos a requerir. Seleccionamos nuestra primera capa a eliminar, nos vamos a la herramienta “Edit” nos despliega un listado y presionamos en “Delete Themes”, nos aparece una nueva ventana, y presionamos en “Yes to All”, veremos que desapareció de nuestra tabla de materiales, esto mismo hacemos para las demás. Ver figura 5.11.

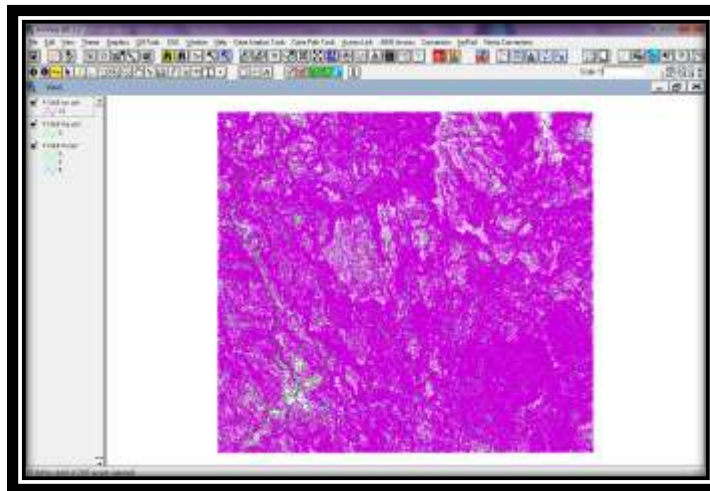


Fig. 5.11: Eliminación de Temas de nuestra tabla de materiales.

5.9 Acomodar temas

El tema que aparece primero se dibuja sobre los que lo siguen. Los temas que sirven de fondo a la vista deben colocarse al final. Por este motivo, al

finalizar esta tarea probablemente no puedan visualizar los ríos, que quedaron debajo de las curvas de nivel.

Para poder ver toda la información, el próximo paso es ordenar las capas. Se acomodan arrastrándolas hacia arriba o hacia abajo, para que se puedan visualizar.

Cuando suelte el tema sobre su nueva posición, la vista se volverá a trazar automáticamente para reflejar el nuevo orden. Ver figura 5.12.

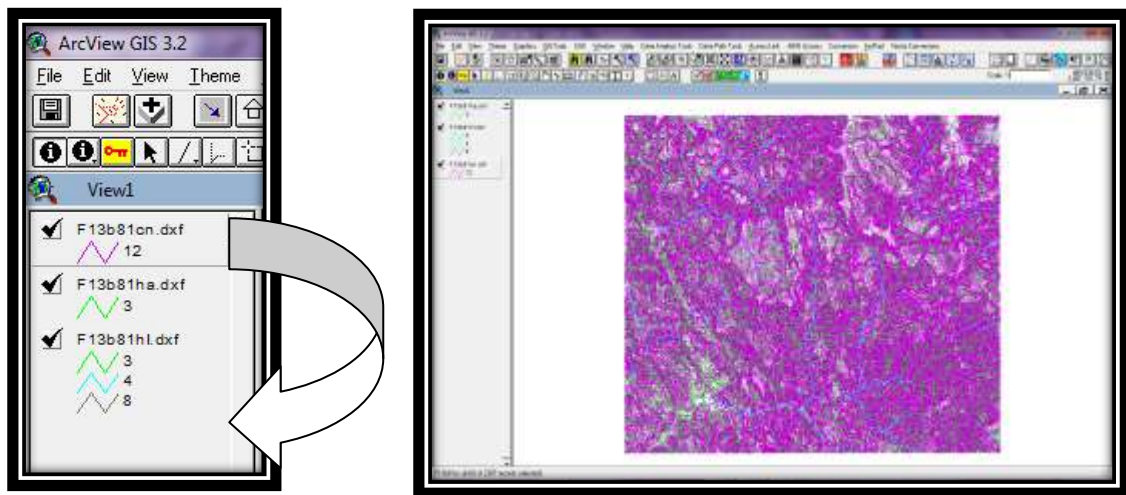


Fig. 5.12: Ordenamiento de los temas según su estudio.

5.10 Renombrar tema

Para renombrar cada uno de los temas que aparecen en nuestra tabla de materiales seleccionamos uno y nos dirigimos al menú “Theme”, damos click en “Properties” y nos aparecerá una ventana donde procederemos a cambiar el nombre del tema que en este caso lo llamaremos “corrientes de estudio” y presionamos “OK”. Ver figura 5.13.

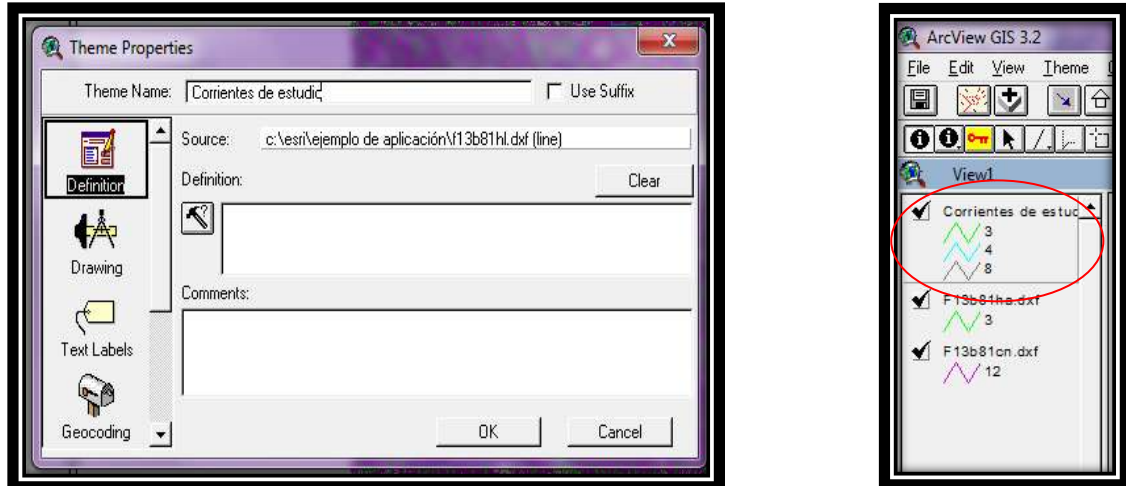


Fig. 5.13: Renombrar tema

5.11 Cambio de color y tipo de leyenda

Para cambiar los colores de cada una de los temas, seleccionamos la capa, damos doble clic en ella, aparecerá una primera ventana nos dirigimos a “symbol” y presionamos doblemente en ella, nos aparece otra ventana en donde elegiremos el color o cambios que sean necesarios. Por último damos en “apply” y cerramos las ventanas. Así mismo hacemos para las demás capas. Ver fig. 5.14.

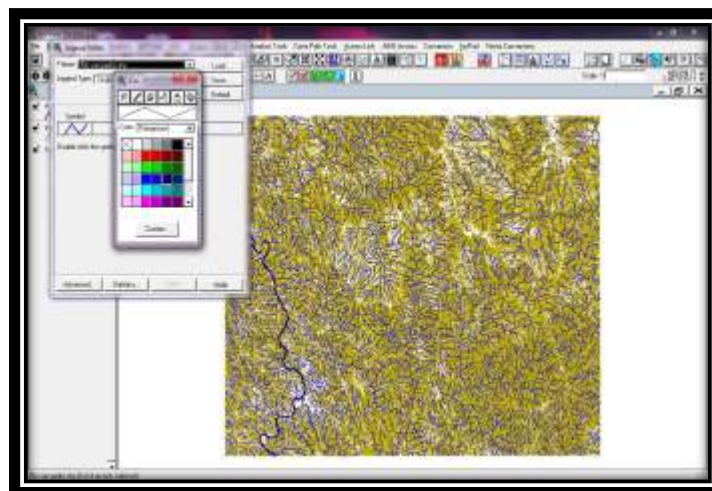



Fig. 5.14: Demostración de cambio de color y tipo de leyenda

5.12 Delimitación de la cuenca hidrográfica

Uno de los primeros pasos que se consideran para efectuar el análisis hidrológico de una cuenca, es definir la ubicación y delimitar la cuenca de estudio. Lo que lleva a efectuar el trazo de la línea imaginaria que la delimita, comúnmente llamada parteaguas. Para el trazo de nuestro parteaguas procederemos a instalar un punto de salida que se hace de la siguiente manera: nos dirigimos al menú “View” le damos click y elegimos la opción “New Theme”, aparecerá una ventana y seleccionamos la opción “point”, presionamos “OK”, aparecerá otra ventana pidiéndonos como y donde guardar nuestra nueva aplicación, una vez hecho lo anterior presionamos “OK”, inmediatamente nuestro tema “punto de salida” aparecerá en la tabla de materiales.

Nos dirigimos al icono  “Draw point”, y lo colocamos en el área de estudio. Por último procederemos a detener nuestra acción dirigiéndonos a la herramienta “Theme” y presionamos “Stop Editing”. Ver figura 5.15.

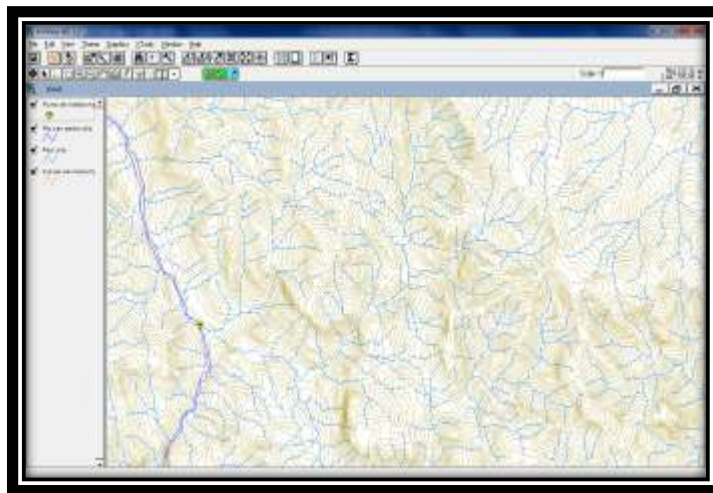



Fig. 5.15: Colocación del Punto de Salida.

Procederemos a trazar nuestra subcuenca de la siguiente manera:

Nos dirigimos a la herramienta “View” y damos click a “New Theme”, nos aparecerá una ventana en donde hay tres opciones a elegir, seleccionamos “polygon” y presionamos “ok”, nuevamente nos aparecerá otra ventana pidiéndonos como y donde guardar nuestra nueva aplicación, una vez hecho lo anterior presionamos “ok” y nos aparecerá nuestra capa “subcuenca” en el listado de capas que tenemos en nuestra

izquierda de la ventana. Nos dirigimos al icono  “Draw point”, y trazamos nuestro polígono en el área de estudio. Por último procederemos a detener nuestra acción dirigiéndonos a la herramienta “Theme” y presionamos “Stop Editing”. Ver figura 5.16.

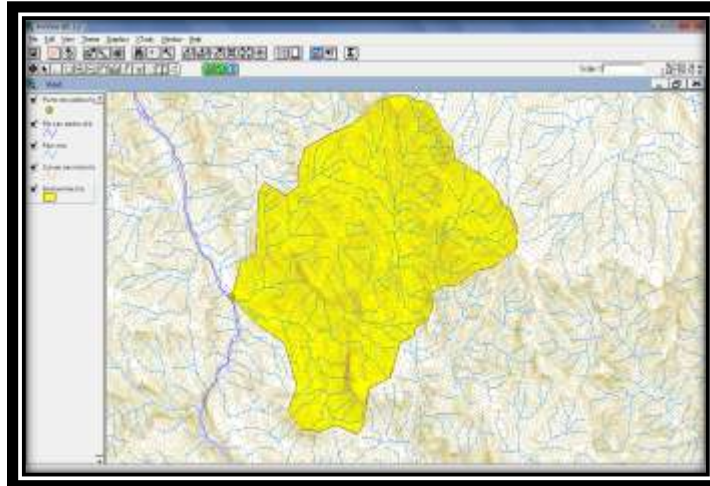


Fig. 5.16: Trazo del parteaguas

Una vez trazada nuestra subcuenca procederemos a recortarla de la general para empezar a trabajar con ella, para ello haremos lo siguiente: Nos dirigimos a la herramienta “View” y le damos click en “Geo Processing Wisard” la cual nos abrirá una nueva ventana en donde nos da a elegir la operación que deseamos en este caso le daremos click en “Clip one theme based on another” , “Next”, y los elegimos en este orden 1) ríos, 2) subcuenca y 3) guardarlo en nuestra carpeta creada, finalmente le damos click en “Finish”. Igualmente hacemos lo mismo para las curvas de nivel. Ver fig. 5.17.

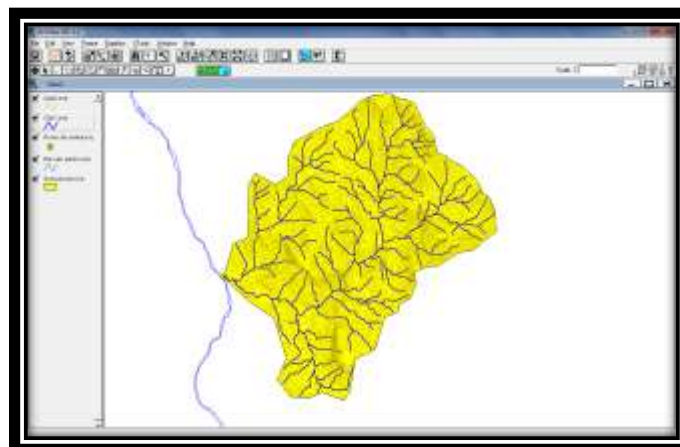




Fig. 5.17: Separación de nuestra cuenca de estudio



Finalmente procedemos a eliminar las capas que no vamos a usar y a modificar cada una de las que nos quedamos.

5.13 Cálculo de los ríos

Para calcular la longitud de cada río procedemos a realizar lo siguiente:




1. Desactivamos las capas que no vamos a requerir
2. Seleccionamos la capa con la que vamos a trabajar
3. Nos dirigimos a la barra de menú, seleccionamos “Tema” y le damos click en “Start Editing”.
4. Ampliamos nuestra área de trabajo desde la barra de botones y damos click en “Zoom in” .
5. Nos dirigimos a la barra de botones y le damos click en “Select Feature” , nos aparecerá una flecha de color blanca y con esta nos dirigimos a un río de nuestra subcuenca, presionamos sobre ella, enseguida veremos en la parte inferior izquierda de nuestra área de trabajo la longitud de tramo de este. Nos dirigimos a nuestra tabla de atributos con el nombre “Open Theme Table” que se ubica en la barra de botones y damos click en ella. Enseguida nos aparecerá nuestra tabla de atributos donde en ella buscaremos nuestro río que seleccionamos (aparecerá en color amarillo), Así mismo se observa que únicamente aparecen 6 columnas las cuales no corresponden a lo que estamos editando por lo tanto creamos una nueva con el nombre “longitud río” desde la barra de menú “Edit” y damos click en “Add Field”, aparecerá un cuadro donde escribiremos el nombre de columna, Name, Tipo, Width y Decimal Places. Y damos click en “ok” enseguida nos aparecerá la nueva columna que agregamos y procedemos a insertar en nuestro
6. para ir seleccionando cada tramo de nuestros ríos lo cual nos permitirá ir tomando las longitudes de cada uno.

5.14 Número de orden de las corrientes

Este parámetro refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de la cuenca “Río San Pedro” y se hace de la siguiente manera:

Abrimos nuestro proyecto existente en formato (.apr) donde tenemos nuestra cuenca trazada con los ríos de estudio siguiendo los siguientes pasos:



1. Damos click en el icono que nos representa dicho programa “ArcView Gis 3.2”.
2. Seleccionamos la opción “Open an existing proyect” y presionamos “ok”.
3. Nos dirigimos al directorio donde anteriormente hemos guardado nuestro proyecto (.apr), lo seleccionamos y presionamos en “ok”.
4. Ya aparecido nuestra cuenca de estudios con sus respectivas corrientes en nuestra ventana del proyecto, procederemos a enumerar cada una de ellas de la siguiente manera:
5. Ampliamos nuestra área de estudio desde la barra de herramientas haciendo click en el icono “Zoom in”  y nos dirigimos donde comenzaremos a numerar cada una de las corrientes.
6. Nos dirigimos al menú “View”, seleccionamos “New Theme”, elegimos la opción “Point” y procedemos a guardarlo en nuestra carpeta ya creada y en este caso con el nombre “Orden de corrientes”.
7. Para colocar cada uno de los puntos a un costado de las corrientes nos dirigimos a la barra de herramientas y damos click en “Select Point”  , esto nos servirá para ir numerando nuestras corrientes.
8. Procederemos a enumerar cada uno de los puntos lo cual nos representara el numero de corriente de la siguiente manera: damos click en el icono “Pointer” y nos desplazamos a un punto que colocamos a un costado de cada corriente, lo seleccionamos y nos dirigimos nuevamente a nuestra barra de herramientas y damos click en “Open Theme Table” , aquí nos aparecerá la lista de de puntos que hemos colocado en cada una de las corrientes de nuestra cuenca y veremos así mismo que uno de ellos esta seleccionado en color amarillo lo que procederemos a numerar nuestra corriente como a continuación se describe:
9. Nos dirigimos a la barra de herramientas y damos click en el icono “Edit”, nos desplazamos al punto seleccionado y damos click en la celda de la columna “Id” y colocamos el numero de corriente a la que le pertenece, esto mismo hacemos para cada uno de los puntos que nos representan el numero de corrientes de nuestra cuenca.
10. Procederemos a detener nuestra edición nos dirigimos al menú “Table” y seleccionamos “Stop Editing” y cerramos nuestra tabla.

11. Para la visualización de nuestros números de corrientes en nuestra cuenca nos dirigimos al menú "Theme" y seleccionamos "Auto Label", nos aparecerá una ventana y seleccionamos la opción "Id" y presionamos "OK".
12. Finalmente veremos nuestras corrientes numeradas en nuestra cuenca como se ve en la figura siguiente.

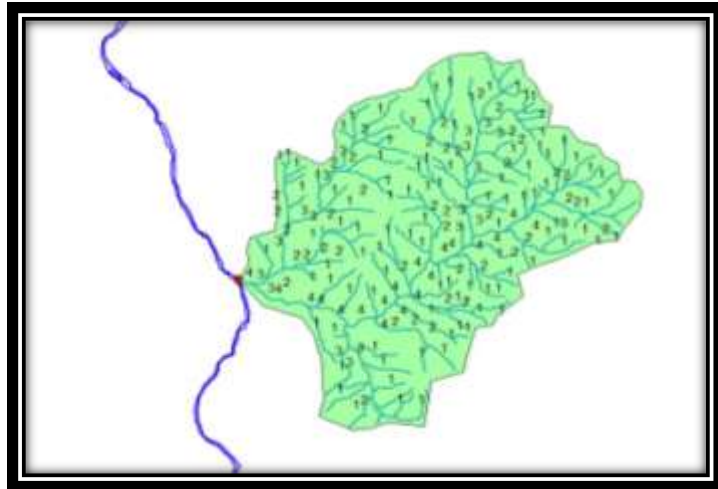


Fig. 5.18: Número de orden de las corrientes

Actualmente, el tema del agua reviste gran importancia por su escasez, degradación y riesgo que representan las avenidas de ríos, deslaves e inundaciones ocasionadas por lluvias intensas, además de considerarse un asunto estratégico para las políticas de los gobiernos.

En este sentido y dada la necesidad de proveer información vectorial a mayor detalle como apoyo a lo mencionado, Antares que forma parte de INEGI generó la Red Hidrográfica escala 1:50 000 la cual modela el drenaje superficial de una cuenca hidrográfica, así como esta aplicación que permite a los usuarios consultar y analizar dicha información. Ver figura XXX.



Fig. 5.19: Localización de la cuenca RH11Aa del Río San Pedro Excatán en el Estado de Nayarit.

Así mismo en la página de Antares podemos calcular los indicadores y perfil del cauce principal del mismo Río San Pedro Excatán como se muestran en las siguientes figuras.

Propiedad	Valor
Elevación máxima	1175 m
Elevación media	627 m
Elevación mínima	80 m
Longitud	8700 m
Pendiente Media	12.5862 %
Tiempo de Concentración	43.81 (minutos)
Área Drenada	23.53 km ²

Figura 5.20: Indicadores del cauce principal del Río San Pedro Excatán, Estado de Nayarit.

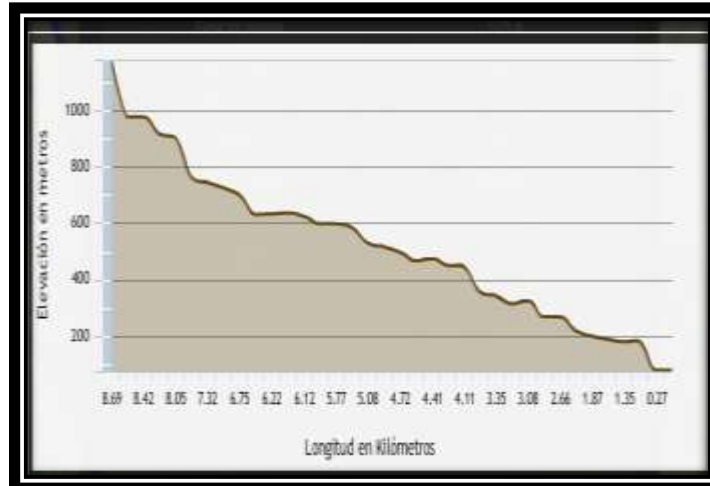


Figura 5.21: Perfil de elevación del cauce principal del Río San Pedro Excatán, Estado de Nayarit.

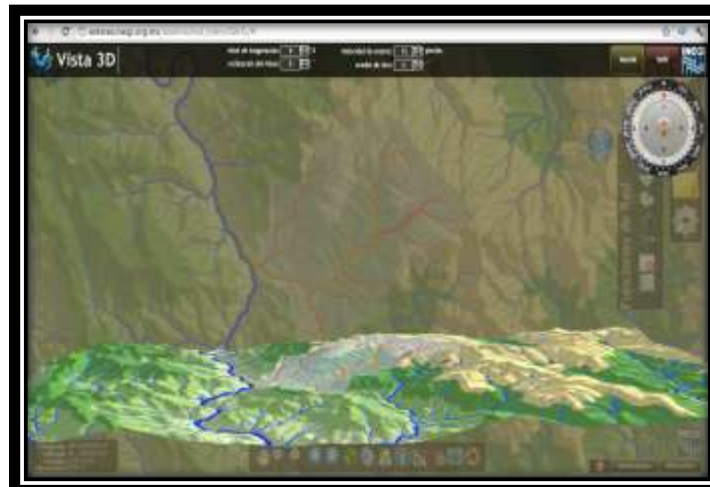


Figura 5.22: Vista en 3D la cuenca San Pedro Excatán, Estado de Nayarit.

Además de:

En el administrador de capas

- Desagrupación de localidades urbanas, localidades rurales, regiones hidrográficas, cuencas, subcuencas.
- Se incluyen como capa las etiquetas de nombres de localidades.
- Función para acercar a los rasgos descritos en el grupo de capas “Sitios de Interés” (grupo dinámico que se estará actualizando).



- Ampliación de la herramienta “Identificar” para consultar las variables del Censo de Población y Vivienda 2010 para estados y municipios.
- Configuración para visualizar coordenadas en grados sexagesimales (grados, minutos, segundos) o grados decimales.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

PRIMERA. Los Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS en su acrónimo inglés Geographic Information System), son una integración organizada de *hardware*, *software* y datos geográficos diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica.

SEGUNDA. Cualquier actividad que realice el hombre en el planeta es necesario ocupar un espacio geográfico. La variedad de estas actividades requieren de un análisis que permita emitir disposiciones que regulen la compatibilidad e interacción entre las diferentes maneras de ocupar o aprovechar el territorio.

TERCERA. Los resultados de la utilización de los SIG pueden ser a corto, mediano y largo plazo. Debe comprenderse que a medida que estos sistemas maduran y se mantienen actualizados, proporcionarán indudablemente, calidad en los resultados.

CUARTA. Los usuarios como componente de los SIG, requieren de conocimientos básicos y de la capacitación adecuada, para aprovechar al máximo los beneficios que se pueden obtener de un SIG. Este recurso es uno de los más escasos en la actualidad, esto debido a que el volumen de trabajo por hacer, crece a medida que se conoce el alcance que pueden tener los SIG.

QUINTA. Los SIG pueden ayudar a crear ventajas competitivas a una organización, por esta razón, está en aumento la cantidad de productos derivados de un SIG que son solicitados. Todos los esfuerzos que toma la



realización de un Sistema de Información Geográfica, principalmente lo laborioso de la adquisición de datos, se ve recompensado por una gran cantidad de beneficios que se obtienen de este.

SEXTA. Los Sistemas de Información Geográfico sobresalen el obtener información instantánea y actualizada, apoyo en la fase de diagnóstico, facilidad en el análisis de la información, agilidad en la manipulación de datos, facilidad en las consultas, mayor nivel de procesamiento, integración y calidad de datos, información detallada, confiable y geo-referenciada, eficiencia en las respuestas (rápida, oportunas y confiables), y mayor velocidad de acceso a información tanto espacial como no espacial.



RECOMENDACIONES

PRIMERA: Los SIG, aplicados a la hidrología en nuestro país son manejados por muy pocos profesionista, debido a que no se imparte su información en las instituciones públicas a nivel licenciatura por sus costos elevados o porque así lo marca el temario. Por tal motivo se recomienda la impartición de los SIG, a los profesionistas para un mayor manejo y dominio ya que es de suma importancia el conocer, manejar y aplicar estos sistemas en tu vida profesional.

SEGUNDA: Se debe fomentar el ambiente de cooperación e intercambio de recursos de los SIG, (especialmente la capacitación de técnicos) dentro de las instituciones gubernamentales que incursionan en este campo de la informática. Debido al crecimiento y demanda que sufrirá la utilización de Sistemas de Información Geográfica en nuestro país, se considera como buena inversión el destinar fondos dirigidos a mejorar las condiciones actuales en las que se desarrolla la utilización de éstos en México.

TERCERA: Proporcionar el servicio de análisis espacial por las instituciones que tienen ya la capacidad de realizar estas actividades. Así como promover o promocionar la información que ya se tiene y los servicios que se pueden proporcionar.



FUENTES CONSULTADAS

DOCTRINA

Aparicio Mijares, Francisco Javier. FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE. Pie de imprenta México: Noriega: Limusa. 1989. Pp. 55-66.

Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W. HIDROLOGÍA APLICADA. Ed. McGraw-Hill. Santafé de Bogotá, Colombia. 1994. Pp.23- 43.

Linsley, R. k. HIDROLOGÍA PARA INGENIEROS. Ed. McGraw-Hill. Ed. segunda. México. 1977. Pp. 56-65.

Llamas, J. "HIDROLOGÍA GENERAL: PRINCIPIOS Y APLICACIONES". Servicio de la universidad del país vasco. 1993.pp. 34-40.

Springall, G. HIDROLOGÍA. Primera Parte. Instituto de Ingeniería de la UNAM. México. 1999. Pp. 98-124.

Tetumo G.,J APUNTES DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL. Tesis de Ingeniería en irrigación. Universidad Autónoma de Chapingo. México.1993. pp.65-77.



PÁGINAS ELECTRÓNICAS CONSULTADAS

Alex Antonio Aguilar Martínez, Universidad de los Lagos, 2007, Manual básico para el análisis de una cuenca hidrográfica, Disponible: http://n2t1.files.wordpress.com/2007/10/manual_basico_analisis_cuenca.pdf, págs. 3-6 y 10-12, 12 de noviembre de 2011, 12:35 hrs.

Carlos Hernando Londoño Arango, Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal, Departamento de Ingeniería, Ibagué 2001, Bases Conceptuales – Caracterización – Planificación – Administración, Disponible: http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_8459.pdf, págs. 57-59 y 64-70, 12 de noviembre de 2011, 23:12 hrs.

Cees van Westen, Ruben D. Vargas International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica SIG. Disponible: http://www.todocuentos.com/pdf/Introduccion-a-los-Sistemas-de-Informacion-Geografica_, págs. 6-8, 21 y 31-32, 20 de octubre de 2011, 03:43 hrs.

Curso Básico de ArcView Teoría y Práctica, Virginia Behm, Caracas 2005, Disponible: http://www.gispoint.es/CursoBasico_ArcView32.pdf, págs. 2-6, 09 de septiembre de 2011, 20:33 hrs.

Curso: “Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas”, Laboratorio de Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental del Territorio, Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias. Disponible: <http://tecrenat.fcien.edu.uy/Cuencas/Gestion%20Integrada%20de%20Cuencas/Practico%202.pdf>, págs. 1-5, 23 de noviembre de 2011, 01:12 hrs.

GEOInformación, Sistema de Información Geográfico, Sensores Remotos, Geofísica, Disponible: <http://www.geoinfo.cl/pdf/ArcView8.pdf>, págs. 1-6, 30 de septiembre de 2011, 23:15 hrs



Geomorfología de Cuencas,
http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oquerre/4_Geomorfologia.pdf, págs. 2-21, 07 de noviembre de 2011, 09:54 hrs.

gvSIG Association gvSIG Desktop 1.11, Manual de Usuario, Plaza Don Juan de Villarrasa 14-5, 46001, Valencia (Spain) Registro Nacional de Asociaciones, julio 2011. Disponible:
http://www.cartografia.cl/beta/index.php?option=com_content&view=article&id=692:manual-de-usuario-de-gvsig-111&catid=57:manuales&Itemid=170, págs. 11-12, 30 de enero de 2012, 11:09 hrs.

Hidrología Avanzada II, Modulo I: Aplicación de los SIG en el Manejo de Cuencas Hidrográficas, Clase 1: Introducción a los SIG, Disponible:
http://www.fing.edu.uy/imfia/imfiaweb/sites/default/files/Clase1_Introducci%C3%B3n.pdf, págs. 2-6, 8, 14-15, 19-21 y 24-28, 04 de diciembre de 2011, 07: 48 hrs.

Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamérica, Asociación Civil, Programa de Desarrollo Sostenible y Sustentable de la Selva Lacandona, Chiapas, México, Unión Europea – SEDESO, Manual de Capacitación de ArcView 3.2, San Cristobal de las Casas, Chiapas, junio 2006, Disponible:
http://www.sedepas.chiapas.gob.mx/web/sedepas/docs/publicaciones_SEDEPAS/Planeacion_territorial/MANUAL%20DE%20CAPACITACION%20EN%20ARCVIEW%203.2.pdf, págs. 2-6, 30 de noviembre de 2011, 10:43 hrs.

La cuenca hidrológica. Disponible:
http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/Hidro2006/libro_texto/HidrologiaCap02.pdf, págs. 22-41 y 52-69, 11 de octubre de 2011, 02:41 hrs.

Marcos Lienlaf Lienlaf, Capítulo I. Nociones Básicas de Cartografía, Disponible:
<http://foro.gabrielortiz.com/comparte/repositorio/mlienlaf/Tutorial%20ARCVIEW%203.2.pdf>, págs. 1-4, 09 de septiembre de 2011, 21:15 hrs.



Medir Áreas y Longitudes, Disponible:
http://web.usal.es/~javisan/hidro/Complementos/Medir_Areas.pdf, págs. 1-4, 23 de noviembre de 2011, 03:16 hrs.

Santiago Sánchez Orta, Montecillo, Texcoco, Edo. De México, 2010, Colegio de Postgraduados, Caracterización Morfométrica y Simulación del Balance de la Cuenca “Tres Valles S.L.P.”. Disponible:
http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/160/1/Sanchez_Orta_S_MC_Hidrociencias_2010.pdf, págs. 5-16, 18 de noviembre de 2011, 23:08 hrs.

Simulador de Flujo de Aguas de Cuencas Hidrográficas. Disponible:
http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#, 23 de enero de 2012, 23:15 hrs.

Simulador de Flujos de Aguas de Cuencas Hidrográficas (SIATL). Disponible:
http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#, 18 de enero de 2012, 20:58 hrs.

Universidad Nacional del Noroeste, Facultad de Ingeniería, Departamento de Hidráulica, Cátedra: Hidrología, Guía de Trabajos Prácticos, Trabajo Práctico No.1: Determinación de las características físicas de la cuenca, págs. 1-11. Disponible: <http://ing.unne.edu.ar/pub/hidrologia/hidro-tp1.pdf>, 15 de octubre de 2011, 17:25 hrs.