

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**



**ELABORACIÓN DE GEOBASES DE DATOS PARA BALANCE HIDROLÓGICO
REGIONAL.**

Por:

ALEJANDRO JOSUÉ ARAIZA ORNELAS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MEXICO

Marzo 2013

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

ELABORACIÓN DE GEOBASES DE DATOS PARA BALANCE HIDROLÓGICO REGIONAL.

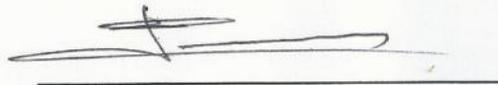
POR:

ALEJANDRO JOSUÉ ARAIZA ORNELAS

QUE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

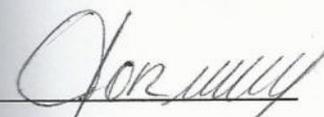
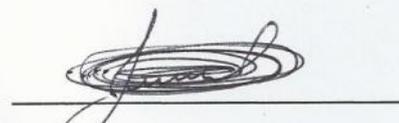
INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADO POR:



M.I.H. Oscar Lemus Ramírez

PRESIDENTE DEL JURADO


Dr. Felipe Ortega Rivera
SINODAL
M.C. Julio Gerardo Charles Cárdenas

SINODAL
Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"


MC. Luis Rodríguez Gutiérrez

CORDINADOR DE LA DIVISION DE INGENIERIA
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MEXICO



DICIEMBRE DE 2012

DEDICATORIA

A mi abuelita Andrea Salazar Godínez porque siempre me apoyó y me orientó en los momentos más difíciles de mi juventud.

A mi tía Isabel Araiza Salazar por darme su calor de madre e impulsarme y sostenerme, no dejando que declinara mis estudios.

A mi mamá y papá Artemia Josefina Ornelas Toledo y Laurencio Araiza Salazar por darme la vida y guiarme por el camino correcto, dejando atrás los senderos fáciles, apoyándome con los valores que me enseñaron.

A mis hermanos Erandi Andrea Araiza y Fernando Laurencio Araiza Ornelas por entenderme mi forma de ser.

"El conocimiento es el alimento del alma." Platón

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro que me dio una excelente educación, brindándome las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente.

Al M.I.H. Oscar Lemus Ramírez por brindarme su amistad a lo largo de mi carrera y su apoyo en el presente trabajo,

Dr. Felipe Ortega Rivera por su amistad y apoyo en el presente trabajo

AL M.C. Julio Gerardo Charles Cárdenas por brindarme su amistad a lo largo de mi carrera y su apoyo

A todos mis maestros que me brindaron humildemente su conocimiento y experiencias en pro de mi formación profesional

Contenido

I.- INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVO:	8
HIPOTESIS:	8
II.- REVISION DE LITERATURA.....	9
2.1. EL CICLO HIDROLÓGICO.....	9
2.2. EL BALANCE HIDROLOGICO.	11
2.3. LA CUENCA HIDROLÓGICA.....	13
2.4. USO DE SUELO, COBERTURA VEGETAL Y CONDICION HIDROLÓGICA.	13
2.5. PRECIPITACIÓN	14
2.6. NATURALEZA DE LA PRECIPITACIÓN	14
2.7. SISTEMA DE INFORMACION.	16
2.8. SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA.....	16
2.9. ELEMENTOS QUE INTEGRAN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.	17
2.10. TELEDETECCIÓN Y SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL SATELITAL.	20
2.11. GEODATOS.....	20
2.13. GEODATOS Y SU REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA.	21
2.14. GEOREFERENCIACIÓN.....	21
2.15. RED IRREGULAR DE TRIANGULOS (RIT).....	21
2.16. EL VOXCEL.....	22
2.17. GEODATOS Y SUS FORMATOS DIGITALES (MODELOS GEOESPACIALES).	22
2.18 FORMATO VECTORIAL.....	23
2.19. TOPOLOGÍA.	23
2.20. LA RESOLUCIÓN DEL ARCHIVO.....	25
2.21. GEODATOS Y SUS ATRIBUTOS.....	25
2.22. CALIDAD DE LOS GEODATOS.....	26
2.23. METADATOS	27
2.24. ERIC.....	28
2.25. BANDAS.....	28
2.26. USO DE SUELO.	30
2.27. CARTOGRAFÍA INEGI.....	30
2.28. MODELOS DE SIMULACIÓN.....	31

III MATERIALES Y METODOS	33
3.1. EQUIPO DE CÓMPUTO.....	33
3.2 SISTEMA DE GEOPOSICIONAMIENTO GLOBAL.....	33
3.3. PROGRAMAS INFORMÁTICOS.....	34
3.4. MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL.....	34
3.5. ESTACIONES METEOROLOGICAS.....	35
3.6. ESTACIONES HIDRÓMETRICAS.....	35
3.7. IMÁGENES DE SATÉLITE.....	35
3.8. LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA.....	36
3.9. PROCEDIMIENTO.....	38
IV RESULTADOS Y DISCUSION	45
4.1. CLIMA.....	45
4.2 SUELO.....	45
4.3 TEMPERATURA.....	¡Error! Marcador no definido.
4.4. COBERTURA VEGETAL.....	¡Error! Marcador no definido.
4.5. ESTACIONES HIDROMETRICAS.....	45
4.6. CARTOGRAFIA DIGITAL.....	45
4.7. IMÁGENES DE SATELITE.....	46
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
VI BIBLIOGRAFÍA	49

I.- INTRODUCCIÓN

Un balance hidrológico precisa de elementos de los más acabados posibles y de la mayor resolución espacial y temporal, como el caso del balance con ayuda de sistemas de información geográfico, misma que debe considerar realizar un escalamiento discreto a nivel de celda cuasi-distribuida, es decir considerando la totalidad de la cuenca como un conjunto de celdas en donde se realizará el balance hidrológico.

Normalmente se utilizan los registros históricos de información mensual tanto para lluvia total; temperaturas medias mensuales, y/o evapotranspiración. Con los que mediante modelos de interpolación simple, es posible generar los mapas para reproducir el ciclo hidrológico y así mismo cuantificar los volúmenes de agua, los que son potenciales de recarga para el acuífero. Adicionalmente se requiere de la topografía del terreno y del nivel estático para determinar la dirección del flujo obtenido en cada una de las celdas, ya sea superficial o subterránea, etapa conceptual denominada ruteo y abreviada como RoTo, por sus siglas en ingles

Por otra parte, durante la últimos 10 años se ha percibido una disminución de la precipitación, por efectos del cambio climático, aunado al hecho de una mayor demanda y presión sobre las fuentes de los recursos hídricos para los 3 distintos tipos de uso del agua, doméstico, industrial y

agrícola. El balance hidrológico se concibe como la relación de los procesos de precipitación, escurrimiento, infiltración y recarga, la cual permitirá determinar la disponibilidad de agua para las diferentes actividades, originalmente éste proceso se realiza tomando como base un cuerpo de agua pero actualmente se ha modificado tomando una variante a nivel de la microcuenca. Durante el mismo proceso es posible la definición de zonas de infiltración y probable recarga de acuíferos, así como determinación de zonas artificiales de recarga considerando un escurrimiento superior al 90% de tal manera que es posible pulir los procesos de planeación para una gestión integral del agua y una menor huella hídrica ecológica.

En un escenario de mayor escasez de agua y sequía, la única alternativa es la gestión integral del agua sobre un balance hidrológico regional más preciso, mismo que puede ser alcanzado, utilizando herramientas de percepción remota.

OBJETIVO:

Obtener las geobases de datos para realizar un balance hidrológico a nivel de cuenca, subcuenca y/o microcuenca.

HIPOTESIS:

Las geobases de datos simplifican el balance hidrológico regional y facilitan el intercambio de coberturas entre diferentes plataformas de sistemas de información geográfica.

II.- REVISION DE LITERATURA

2.1. EL CICLO HIDROLÓGICO.

El amplio dinamismo del agua en la naturaleza define diferentes etapas o fases; la secuencia que siguen, generan o dan origen a un ciclo continuo, en el cual es muy difícil definir el inicio y el fin del mismo y que se define como el ciclo hidrológico.

Este ciclo del agua o ciclo hidrológico influye en la disponibilidad de agua tanto para vegetales como animales (Figura 1.1). Se considera que cualquier cantidad de agua discretizada a nuestro arbitrio, es susceptible de transitar ciclos cerrados por diferentes, la cual se puede ejemplificar iniciando desde la nube, para su posterior precipitación desde las distintas formas que existen de ella Maderey (2005).

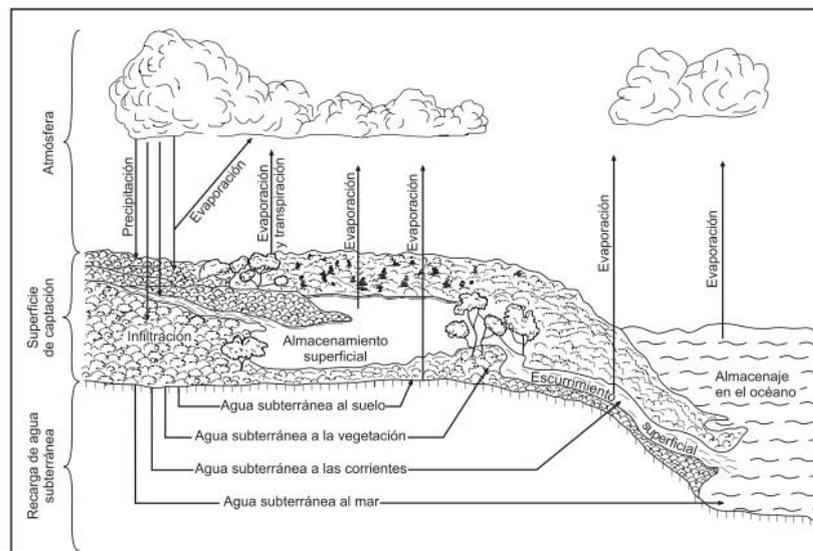


Figura 2.1. El ciclo hidrológico a partir de: Principios de hidrogeografía; Maderey Rascón (2005).

El ciclo inicia con el agua evaporada teniendo como origen el mar. Los sistemas de vientos transportan, dicha agua en forma de humedad, hacia las partes interiores de los continentes; en cuyo interior se lleva a cabo el proceso de precipitación de distintas formas líquida, sólida o de condensación (llamada rocío y escarcha).

En el proceso de precipitación el agua puede iniciar su retorno hacia la atmósfera, mediante evaporación ya que una parte de ella no llega al suelo; otra, queda en la masa foliar, en lo que se conoce como precipitación interceptada, donde se evapora y de esta manera también regresa a la atmósfera. El agua que llega al suelo será considerada como la que recorre el ciclo hidrológico; una parte de esta precipitación eventualmente parte de la precipitación cae de manera directa sobre los cuerpos de agua (ríos, lagos, lagunas, presas, etc.), pero otra parte cae al suelo y después de saturar las capas superficiales da lugar al escurrimiento superficial o escorrentía que de manera difusa converge a la red de drenaje hidrológico y de esta manera a un cuerpo interior de agua o a otra cuenca mayor y de ahí al mar o a un lago. De llega a los cauces de los ríos y, a través de éstos, al mar. Una parte relativamente pequeña que no sobre pasa el 5 % se infiltra, debido a que las tasas de infiltración son bajas se satura pronto y produce el flujo subsuperficial el cual, de la misma manera que el superficial, llegan a la red de drenaje; asimismo, en un proceso cuasi simultáneo la percolación profunda llega a los mantos freáticos y a través del flujo subterráneo alimenta el caudal base de los ríos. De la misma manera parte del agua infiltrada vuelve a la superficie en forma de manantiales de proximidad espacio-temporales o por

el contrario, profundizar y tener grandes recorridos y de larga duración hacia el mar o hacia depresiones endorreicas, en esta fase subterránea del ciclo. Es conveniente tomar en cuenta que la mayor parte de los movimientos subterráneos del agua son muy lentos Maderey (2005).

El escurrimiento comprende los flujos superficial, el flujo subsuperficial y el flujo subterráneo, escurrimiento que recorre los cauces de los ríos y a través de ellos llega al mar, con la consideración de que una parte menor del agua de escurrimiento es retenida en los cuerpos de agua y vasos de los ríos.

Una vez que el agua ha llegado al mar empieza la evaporación con la que comienza y se cierra el ciclo.

Una fase corta intermedia es la que inicia con la absorción por las raíces de las plantas y mediante la asimilación capilar de los vegetales, vuelve a la atmósfera en forma de vapor de agua. Los animales (Nosotros entre ellos) también al beber agua y devolverla se pueden hacer partícipes del ciclo hidrológico aunque cabe destacar que la contribución marginal es muy pequeña un caso digno de mención es el uso industrial, el cual en volumen es relativamente pequeño pero su contaminación es cualitativamente mucho mayor .

2.2. EL BALANCE HIDROLOGICO.

La cuantificación de los procesos de precipitación, escurrimiento, infiltración y recarga, la cual sirve para determinar la disponibilidad de agua para las diversas actividades económicas que se efectúan en la microcuenca es conocido como el balance hídrico. De manera paralela permite la identificación de las zonas de infiltración y probable recarga de acuíferos, de tal manera que es posible hacer una gestión integral del agua a nivel de zona orográfica.

Parte activa	Parte pasiva
<p>Escurrimiento ---- Q</p> <p>Evaporación ---- E</p> <p>Aportaciones al período siguiente:</p> <p>Infiltración ---- I'</p> <p>Nieve y Hielo ---- N'</p>	<p>Precipitación ---- P</p> <p>Precipitaciones ocultas ---- C</p> <p>Aportaciones del período precedente:</p> <p>Infiltración ---- I</p> <p>Nieve y Hielo ---- N</p>

Figura 2.2. Esquema general del balance hídrico Maderey (2005)

Normalmente las relaciones lluvia-escurrimiento utilizaban registros históricos de la lluvia total mensual y de las temperaturas promedio mensual, así como evapotranspiraciones promedio mensual. Con los cuales se posibilitaba la reproducción del ciclo hidrológico, y la posterior obtención de los volúmenes de agua almacenados en un acuífero de referencia. Con el advenimiento tecnológico es posible reducir o acortar el espacio de la obtención de la información a un nivel discreto cuasi continuo, con lo que es posible tener el balance cuasi en tiempo real.

2.3. LA CUENCA HIDROLÓGICA.

Normalmente o de manera tradicional el balance se realizaba sobre un cuerpo de agua, sin embargo la definición de cuenca hidrológica, como unidad base de todos los aspectos hidrológicos y socioeconómicos ha permitido realizar el balance sobre esta base física y la cual contribuye al escurrimiento directo y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y sus tributarios. A la línea imaginaria que divide cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento producido por la precipitación, se le conoce como parteaguas y entre otras características fisiográficas tiene : Área, Pendiente, Elevación media, Red de drenaje, Pendiente del cauce, Tiempo de recorrido, Área-elevación , Área, la cual es la proyección sobre la red de drenaje, Pendiente media, que es el promedio de la pendiente del cauce principal de una cuenca.

2.4. USO DE SUELO, COBERTURA VEGETAL Y CONDICION HIDROLÓGICA.

Una variable importante en el estudio del escurrimiento a nivel de cuenca es el uso del suelo ya que esta tiene un efecto directo sobre la capacidad que tiene de interceptar o infiltrar el agua de lluvia, la cual se define, en el caso de la hidrología superficial, como la cantidad de lluvia en exceso, es decir la diferencia aritmética de la lluvia total y que es la que no se pierde y genera el escurrimiento en la parte difusa del terreno, como de la

parte puntual en la red de drenaje de la cuenca integrado por los cauces naturales (arroyos y ríos).

La determinación de la cantidad de agua de lluvia que cae directamente al suelo y escurre es una función directa de los factores: características fisiográficas de la cuenca, uso del suelo, cobertura vegetal, textura y condición hidrológica de esta.

2.5. PRECIPITACIÓN

Una de las definiciones de precipitación es la que lo caracteriza como un fenómeno físico que transfiere volúmenes de agua de la atmósfera a la superficie terrestre en sus diferentes formas (lluvia, nieve, granizo, etc.). Como consecuencia del nivel de humedad en el ambiente se puede o no presentar el: punto de rocío es la temperatura a la que se presenta la condición de saturación máxima de vapor por unidad de volumen. La condensación ocurre cuando se unen varias de la pequeñas gotas (diámetro entre 5 y 100 nm) que se encuentran en las nubes. Sin embargo, para que esto suceda deben existir núcleos de condensación, que para condiciones de supersaturación comunes, son corpúsculos de naturaleza mineral u orgánica, presentes en la atmósfera y provenientes de la erosión de suelos, humos de combustiones, polen ó cristales de sal marina.

2.6. NATURALEZA DE LA PRECIPITACIÓN

El proceso de generación de la precipitación involucra la humedad en la atmósfera la cual es influenciada por factores climáticos tales como el

viento, la temperatura y la presión atmosférica. La humedad de la atmósfera es necesaria pero la precipitación no ocurre si no se tiene la suficiente condensación.

Debido a la condensación sobre núcleos, se forman gotas de tamaño entre 100 y 500 nm, que debido al propio peso, se precipitan. En la caída, al chocar con otras gotas, van creciendo y pueden alcanzar diámetros entre 5 y 7 mm.

Las masas de aire continental por lo general contienen muy poca humedad, por lo que la mayoría de la precipitación proviene de corrientes de aire húmedo que se genera sobre los océanos.

Tipos de Precipitación.- Los principales tipos de precipitación son: 1. Llovizna es un riego tenue compuesto exclusivamente de pequeñas gotas de agua de tamaños bastante uniforme. Las gotas son tan pequeñas que parecen flotar en el aire y siguen las evoluciones del movimiento de éste.

Además deben cumplir el requisito de que sean muy numerosas y encontrarse muy próximas unas de otras. La nieve es precipitación de agua en estado sólido en forma de cristales de hielo, en su mayor parte ramificados. Aún a temperaturas inferiores a las de congelación, estos cristales están rodeados de una delgada capa líquida, y cuando chocan unos contra otros quedan soldados constituyendo grandes copos. El Aguanieve se considera que es una mezcla de nieve y lluvia.

2.7. SISTEMA DE INFORMACION.

Un sistema de información (SI) es un conjunto ordenado de diversos elementos los cuales están orientados al tratamiento y administración de datos e información. La clasificación de los elementos caer dentro de alguna de las siguientes categorías: a) personas b) datos, c) actividades o d) técnicas de trabajo; en general (generalmente recursos informáticos y de comunicación, aunque no necesariamente). Todos estos elementos interactúan para procesar los datos y dan lugar a información más elaborada, misma que se distribuye de la manera más adecuada posible en una determinada organización, en función de sus objetivos.

Habitualmente el término se usa de manera errónea como sinónimo de sistema de información informático, en parte porque los recursos materiales de un sistema de información están constituidos casi en su totalidad por sistemas informáticos.

2.8. SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA.

La singularidad de los sistemas de información geográfica radica en el hecho de que los elementos particulares que lo integran, están referidos de diversa maneras a aspectos geográficos y demográficos., mediante levantamientos censales o cartográficos.

Los levantamientos cartográficos permiten sistematizar geodatos y crear geoinformación relevante para clarificar los escenarios posibles y orientar la toma de decisiones de la gestión de los bienes y servicios en los

ámbitos público y privado. La velocidad del manejo informático mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG), desplaza en buena medida al uso de mapas de papel y descripciones verbales para documentar los elementos geográficos del entorno ecológico, social y económico (e.g. nombre de un pueblo, extensión de los ecosistemas) estas nuevas tecnologías, herramientas y métodos de análisis solo son susceptibles de usarse considerando los siguientes aspectos:

- Definición y funciones de un Sistema de Información Geográfica.
- Datos necesarios formatos y fuentes para alimentarlo.
- Papel del SIG en alguna institución de referencia.
- Dado el alto costo del software comercial especializado, buscar alternativas de software libre.

2.9. ELEMENTOS QUE INTEGRAN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

El Sistemas de Información Geográfica (SIG) asistido por computadora es una tecnología que tiene sus raíces en la década del 60; sin embargo su uso a nivel mundial se popularizó a partir de 1990 gracias a los avances en el área de las microcomputadoras y a la disponibilidad de programas para ambiente de PC's (Fallas 2011). EL SIG tiene como finalidad gestionar geodatos mediante herramientas y procedimientos computarizados con el fin de facilitar el proceso de toma de decisiones en ambientes de trabajo multidisciplinarios (Fallas 2011).

En un SIG, a nivel general y sobre la base de que cada objeto ocupa un solo lugar a la vez en el espacio tiempo, a cada ente o elemento del mundo real se le define por su posición geográfica instantánea y por sus características o atributos aplicables en ese momento. Un ejemplo, de ello, es un campo de cultivo que posea una serie de coordenadas (e.g. longitud y latitud) y una altura sobre el nivel del mar, los primeros definen su perímetro, adicionalmente se le puede agregar una tabla de atributos que describe las características como tipo de cultivo, área, estado fenológico y una o más fotos del sitio. A partir de estos datos los tomadores de decisiones en diferentes instituciones y localidades pueden acceder y analizar una situación particular desde diferentes puntos de vista utilizando las funciones y operaciones del SIG. Una ventaja del SIG es que elimina ambigüedades en cuanto a aspectos tales como ubicación y características del objeto o tema analizado (Fallas2011).

Se considera que esta nueva geotecnología devino a partir de la evolución propia e integración de otras tecnologías y disciplinas las cuales incluyen el diseño asistido por computadora o CAD (por sus siglas en inglés) la teledetección y telemetría, las bases de datos y la cartografía digital.

Por esa razón a los SIG's se les considera primordialmente gestores de bases de datos más que software de preproceso o postproceso de cartografía digital los cuales integran elementos de las tecnologías que se mencionadas.

Existen muchos SIG's en el mercado sin embargo se considera que los elementos esenciales o subsistemas para operar con éxito que debe de contener son seis:

1. Equipo de cómputo y sus periféricos,
2. Soporte lógico (programas),
3. Geodatos,
4. Usuarios(as), incluye operadores del software
5. Técnicas y métodos de análisis y
6. El ambiente organizacional.

En la vida cotidiana solemos reducir un SIG a un conjunto de herramientas tecnológicas, computacionales primordialmente y procedimientos que permiten poner en formato digital, codificar, almacenar, editar, analizar, visualizar y compartir datos geoespaciales. El software especializado para SIG's precisa de datos de entrada como capas de geodatos (por ejemplo mapa de vías de comunicación, servicios, uso de suelo, marinos, aeropuertos y poblados) ambos en formato vectorial como raster. Los datos de las características propias de los objetos en forma alfanuméricos pueden almacenarse en software de bases de datos con formato estándar .dbf o incluso en hojas de cálculo como Excel, lo que permitirá establecer relaciones en una base de datos relacional, en el formato estándar de consulta SQL Structured Query lenguaje. La función que juega un SIG es la gestión de los datos geoespaciales o

georeferenciados para su ubicación física proporcional y generar información.

2.10. TELEDETECCIÓN Y SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL SATELITAL.

Aunado a los SIG's otras tecnologías que se utilizan son el Sistema Global de Posicionamiento Geográfico (GPS por sus siglas en inglés) que permite la ubicación precisa, de personas u objetos a nivel del globo terráqueo y con error menor a 50 cm, dependiendo del aparato usado. La segunda es la teledetección la cual posibilita la obtención de imágenes de alta resolución espacial, espectral y temporal mediante satélites y sensores aerotransportados, imágenes que captan gran parte del espectro electromagnético, en zonas de longitud de onda, donde el ojo humano es incapaz de alcanzar.

2.11. GEODATOS

La definición de un geodato se refiere a cualquier objeto físico que por sus características propias, espacio temporales, precisa de su ubicación geográfica, ya sea de manera explícita o implícita. El procedimiento mediante el cual se le asigna una posición fija o ubicación a un objeto se le denomina georeferenciación. A diferencia de un dato común el geodato posee coordenadas geográficas o de un sistema proyectado. Los geodatos posibilitan la ubicación física de objetos o fenómenos con características particulares y en ocasiones de variables compuestas: ejemplos de objetos físicos son carreteras y brechas, zonas boscosas y de variables compuestas

serían: de patrón de propagación de la gripe común, tasa de natalidad por regiones.

2.13. GEODATOS Y SU REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA.

Los objetos del mundo físico son en ocasiones de forma indefinida, compleja y tamaño variable para representarlos en los mapas y digitalmente, es necesario simplificarlos. Por esta razón se ha hecho necesario estandarizar su representación en mapas impresos y digitales utilizando puntos, líneas, polígonos, colores, tramados y texto para representar los elementos de la realidad.

2.14. GEOREFERENCIACIÓN.

La georeferenciación es el proceso matemático-digital utilizado para relacionar la posición topográfica de un objeto dentro de un mapa (impreso ó digital) de acuerdo a su posición en la superficie de la Tierra.

2.15. RED IRREGULAR DE TRIANGULOS (RIT).

Una Red Irregular de Triángulos (RIT) (TIN del inglés Triangular Irregular Network) es una representación de una superficie continua derivada de un conjunto de puntos y de un proceso de triangulación, por efecto del cambio de variable continua del objeto físico a variable discreta en el plano en función de la memoria de la computadora personal donde se esté trabajando. Dicha malla RIT tiene como característica el conectar una serie

de puntos (x, y, z) a través de una red irregular de triángulos cuyos vértices corresponden a dichos puntos. La RIT es utilizada para el cálculo de volúmenes, pendientes, dibujo de curvas de nivel y otras operaciones similares. El teselado resultante cubre toda la superficie a representar, con triángulos lo más equiláteros posible

2.16. EL VOXCEL.

El vóxel por extensión del pixel (del inglés voxel: volumetric pixel o volumetric Picture Element) es la unidad mínima procesable de una matriz tridimensional y equivalen al píxel en un objeto 2D, en función de la capacidad de memoria, es un variable semidiscreta o semicontinua. Para crear una imagen en tres dimensiones (3D), los vóxeles poseen la propiedad de opacidad decremental, lo que les permite ser translucidos digitalmente hablando. Este formato es utilizado para mantener la referencia de las capas externas de los objetos pero que puedan mostrar detalles internos que en el mundo físico quedarían ocultos. Estas imágenes permiten mostrar los objetos físicos en tres dimensiones. Por ejemplo, utilizando este formato de geodatos se puede mostrar la estructura interna de un acuífero. Al igual que los píxels en 2D, los vóxels no contienen su posición (x,y,z) en el espacio 3D, sino que la misma se deduce por la posición del vóxel en el archivo de datos.

2.17. GEODATOS Y SUS FORMATOS DIGITALES (MODELOS GEOESPACIALES).

En un SIG los elementos del mundo físico deben representarse en coordenadas (X, Y, Z) usando una referencia geográfica o una proyección. Los mapas contiene tres elementos: puntos, líneas y polígonos; los cuales se almacenan en el SIG utilizando archivos tipo vector y tipo raster.

2.18 FORMATO VECTORIAL.

El elemento fundamental o básico es el punto, el cual está formado por un par de coordenadas X, Y. A partir de ellos se crean las líneas, polilíneas y polígonos, la parte complementaria de un lienzo (canvas), se encuentra hueco, lo que redundaría en menor cantidad de memoria física del computador y menor espacio de disco duro; sin embargo no posee atributos espaciales; la cual expresa las relaciones entre los diferentes elementos gráficos y su posición en el mapa como proximidad, inclusión, conectividad y vecindad.

2.19. TOPOLOGÍA.

La acepción de topología en este contexto se refiere a las relaciones espaciales de conexión y adyacencia entre elementos geográficos en un tema o capa de geodatos. Las relaciones topológicas se construyen de elementos simples a elementos complejos: puntos (elementos más simples), arcos (conjunto de puntos conectados), áreas (conjunto de arcos conectados) y rutas (conjuntos de secciones conformadas por arcos o porciones de arcos). La topología permite utilizar el software de SIG para

ejecutar operaciones geoespaciales sin utilizar coordenadas geográficas. Por ejemplo, para encontrar una ruta óptima entre dos puntos solo se necesita la lista de arcos que conectan los puntos y el costo de recorrer cada arco en cada dirección. Las coordenadas sólo se utilizan para dibujar la ruta después de realizados los cálculos. La topología tiene cuatro componentes básicos (de Smith et al. 2009,):

- Dimensionalidad: es la dimensión en el sentido euclidiano y la diferencia entre punto, línea, área y volumen, los cuales tienen dimensiones geométricas de 0, 1, 2 y 3, respectivamente.
- Conectividad (Topología Arco–Nodo): es la unión entre arcos en los nodos. Los puntos finales de un arco se denominan nodos
- Definición de área / contenido (Polígono – Topología Arco): Los polígonos son representados como una serie de pares ordenados x, y que se conectan para definir un área.
- Contigüidad: Todo arco tiene una dirección. El software de SIG mantiene una lista de los polígonos ubicados a la derecha e izquierda asociados a ellos; sin embargo no posee topología; la cual expresa las relaciones espaciales entre los diferentes elementos gráficos y su posición en el mapa (e.g. proximidad, inclusión, conectividad y vecindad).

2.20. LA RESOLUCIÓN DEL ARCHIVO.

La resolución del archivo es una función directa de las dimensiones de la celda (largo*ancho). Cuanto menor sea dicha dimensión mayor será la resolución y por ende mayor la precisión geométrica de la base de datos.

Cada compañía proveedora de software tiene su formato raster, sin embargo, todos los archivos raster pueden convertirse a un archivo de intercambio denominado ASCII (American Standard Code for Information Interchange), el cual puede ser leído por todos los programas de SIG. A los archivos raster también se les denomina mapa de bits, imagen matricial o mapa de píxeles.

A la transferencia de información de un raster a uno vectorial se le denomina vectorización y el proceso inverso se denomina rasterización ambos pueden ser realizados por SIG's aunque no necesariamente.

Las imágenes son archivos raster utilizados para almacenar imágenes de satélite, fotos aéreas digitales y mapas/fotos escaneadas uno de los formatos más usado es el de TIF (Tagged Information File) y la extensión a GeoTif se refiere a un archivo gráfico con georeferencia. Algunos de los formatos de uso común en la actualidad son TIF, GeoTif, JPG, JPG2000, IMG de ERDAS, entre otros.

2.21. GEODATOS Y SUS ATRIBUTOS.

Las tablas son datos tabulares asociados a las capas de geodatos. Cada tabla está relacionada a un grupo homogéneo o no de elementos de geográficos tales como edificios, zonas de cultivo, colonias, establecimientos comerciales carreteras, ríos, curvas de nivel, etc.) y son bases de datos de un número variable de filas e hileras. Cada fila, llamada registro, contiene una descripción de una característica y cada columna campo o atributo almacena una característica específica. Las características de los elementos geográficos son generalmente expresadas como valores numéricos o alfabéticos antes de digitarlos en la tabla correspondiente. Las tablas y bases de datos se utilizan para almacenar las características, propiedades o atributos de los elementos geométricos (puntos, líneas, áreas y pixeles). Los formatos más comunes son tablas simples como las de Excel y Dbase; archivos ASCII, CSV (Valores separados por coma) y diversos formatos de bases de datos relacionales susceptibles de ser consultados bajo el standard SQL de tales como Oracle, MySQL, SQL Server, PostgreSQL, IBM DB2, SQLite y Microsoft Access.

2.22. CALIDAD DE LOS GEODATOS.

La evolución tecnológica ha redundado en mayor calidad de métodos y herramientas para crear, analizar y divulgar geodatos. Un efecto subyacente de dichos adelantos es que con frecuencia se transmite la idea de que los datos están libres de errores y que los productos son “perfectos”. Sin embargo, no es así demostrado. Todo geodato utilizado en un software de SIG poseen errores y por ende los productos creados a partir de ellos

heredarán dichos errores, los cuales son acumulativos y con una media geométrica ponderada, las fuentes de error pueden ser:

- Datos desactualizados: esto es particularmente cierto en estudios multiespaciales que no consideran la variabilidad temporal.
- Calidad de material cartográfico: las fuentes de datos deben de ser homogéneas en espacio tiempo, dicho de otra manera la escala de los datos fuente debe ser homogénea, ya que aunque se remuestren estos, cuando tengan escala diferente, el error se propaga.
- Datos incorrectos: esto toma relevancia cuando la fuente de datos ya es mayor a diez años. Los geodatos contenidos tendrán una incertidumbre mucho mayor o simplemente ya no existen físicamente, además de los que por error han sido incluidos en la cartografía base.
- Ausencia de buenas prácticas de trabajo: En ocasiones los técnicos además de no establecer normas y buenas prácticas de trabajo, no realizan a conciencia su trabajo, lo que repercute en datos incompletos o inexactos. Adicionalmente es recomendable designar a un solo encargado de digitalizar geodatos, ya que de esta manera tendrán mayor homogeneidad

2.23. METADATOS

Los metadatos son datos que contienen otras bases de datos. El metadato describe el contenido, calidad, condición y otras características de los geodatos. Siempre hay que registrar el origen de los metadatos el sistema de referencia que incluya proyección, datum vertical y horizontal; contenido y estructura fecha de adquisición y publicación así como la calidad de los datos.

2.24. ERIC

El instituto mexicano de tecnología del agua desarrolló: El Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III; 2006), ya que debido a convenios internacionales, la base de datos climáticas del país se encuentra en formato binario en la base de datos CLICOM. La información contenida se refiere a todas las estaciones meteorológicas del país, la cual data de distintas fechas, en algunas tan anterior como de principios del 1900 y otra desde 1985, ambas con terminación a alrededor de 1995. Las variables base que contiene son, Precipitación, Temperatura, Granizo, Nubosidad, Tormenta eléctrica, entre otras.

2.25. BANDAS

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) por encargo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha desarrollado un sistema informático del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) el cual está integrado por la red hidrométrica nacional. Las variables que registra, entre otras, están el nivel de agua (escalas) y la cantidad de agua

que pasa a una determinada hora (aforos) en los principales ríos de la República Mexicana.

De acuerdo al mismo IMTA (2006) "Cuenta con los datos de 2,070 estaciones hidrométricas, las cuales son el resultado de una depuración al catálogo BANDAS hecho en 2008 por la Conagua y el IMTA. Aproximadamente 480 estaciones fueron actualizadas hasta el año 2006 y tiene registradas aproximadamente 180 presas.

La información que se puede encontrar de cada estación hidrométrica es:

- Valores diarios: Gasto medio diario (m^3/s) día 1 a día 29-31.
- Valores mensuales: Se incluyen la hora y el día del gasto máximo y el gasto mínimo (m^3/s). Además de la lectura de volumen máximo y medio de escurrimientos (miles de m^3), sedimentos (miles de m^3) y la lectura del día y hora de las escalas para el gasto mínimo, medio y máximo.
- Valores anuales: Menciona el mes, día y hora en que ocurre el gasto máximo y gasto mínimo (m^3/s). La lectura de escala para el gasto máximo y mínimo (m), además del volumen anual de escurrimientos (miles de m^3), gasto medio anual (m^3/s) y volumen anual de sedimentos (miles de m^3).
- Hidrograma: Incluye la fecha en que ocurre el gasto, Hora en que ocurre el gasto y Gasto instantáneo (m^3/s).
- Limnograma: Muestra la fecha de lectura, hora de lectura y lectura de escala (m).

- Sedimentos: Se incluye la fecha de lectura, hora de lectura y porcentaje de sedimento. “

2.26. USO DE SUELO.

Dentro de las coberturas importantes necesarias para estimar escurrimiento se encuentra la de: uso de suelo, ésta por sí sola no es posible obtenerla, pero es posible producirla, mediante el inventario nacional forestal realizado por el Instituto de Geografía de la UNAM, la escala es 1:50000 y se realizó en el año 2006.

2.27. CARTOGRAFÍA INEGI.

El Instituto nacional de estadística Geografía e Informática, posee un continuo de elevación a nivel nacional para obtener los modelos digitales de elevación, en una escala 1:50000, los cuales son 1 representación digital de las alturas del terreno en forma tridimensional, mismas que son obtenidas a partir de las curvas de nivel de las Cartas Topográficas o por métodos fotogramétricos. Consiste en un registro de las elevaciones sobre el nivel del mar, calculadas a intervalos regulares. Permite la observación y análisis de las altitudes y características morfológicas del territorio, por lo que resulta muy útil en los trabajos donde la elevación y pendiente del terreno son factores indispensables a considerar: estudios de impacto ambiental, evaluación de riesgos, arquitectura del paisaje, investigación y educación, entre otros. Son archivos tipo Band Inter Leaved *.BIL, en proyección geográfica. Adicionalmente disponible en escala 1:50 000 coincidiendo con

el cubrimiento y clave de hoja en cada escala, en proyección UTM. INEGI (2012)

2.28. MODELOS DE SIMULACIÓN.

Los modelos hidrológicos tiene dos grandes vertientes, los primeros son los globales, los cuales parten del supuesto de la cuenca como una sola entidad homogénea, con una única entrada de lluvia, donde la estimación del gasto de salida se hace a partir de una dinámica global del sistema. sobre la base del concepto del hidrograma unitario HU, la cual asume la cuenca como un sistema cuasi lineal, casuístico y constante en el tiempo, dónde una parte porcentual de la precipitación de lluvia efectiva produce escurrimiento, solo afectada por los procesos de lluvia interceptada evaporación, e infiltración considerados dentro del balance.

Esta conceptualización se puede considerar gruesa, un poco burda, y con bases físicas poco explícitas, sin embargo, puede servir como base, para obtener una primera aproximación dentro de los procesos hidrológicos.

En la búsqueda de mayor precisión, es posible plantear como un problema inverso, la incógnita del HU, esto a partir de información hidrológica disponible de la cuenca (con datos de lluvia y gasto de estaciones meteorológicas e hidrométricas), pero los datos no siempre están disponibles en cantidad y calidad.

Con la finalidad de hacer los modelos más explícitos y sobre una física más apegada a los fenómenos, se han desarrollado modelos

agregados. Los cuales consisten en subsistemas secuenciales de elementos conceptuales interconectados y que representan la respuesta particular en espacio y tiempo de los componentes del ciclo hidrológico (evaporación, escorrentía en medio saturado, escorrentía superficial en canal), con el consecuente incremento de parámetros sin embargo, los subsistemas distan de modelar, por completo, la totalidad de los fenómenos involucrados.

Los denominados modelos distribuidos incorporan aproximadamente la variabilidad espacial de las diferentes incógnitas y parámetros y reproducen más fielmente los procesos que tienen lugar dentro la cuenca. Los modelos distribuidos con base física modelan los procesos hidrológicos de la cuenca, donde se plantean las ecuaciones características de los diferentes procesos, integrando las salidas de los diferentes procesos de cada celda con las vecinas. Así, devienen en modelos muy complejos que requieren una gran cantidad de información, lo que dificulta, la calibración de un número extenso de parámetros.

Las posibilidades actuales ofrecen una solución intermedia entre ambos tipos de modelos. Los modelos de parámetros distribuidos, los cuales dividen a la cuenca en subcuencas menores más homogéneas, donde se aplica un modelo global. La respuesta global de la cuenca se compone a partir de la aportación de las diferentes subunidades.

III.- MATERIALES Y METODOS

3.1. EQUIPO DE CÓMPUTO.

Se utilizó un equipo de computo personal con:

- Procesador I5.
- 4 Gb de memoria RAM.
- Velocidad de reloj 2.9 MHz.
- 2 Discos duros de 1 TByte.
- Monitor de 21 pulgadas a 1024 X 1068 de resolución.
- Tarjeta gráfica Nvidia de 2 Gbyte. acelerador independiente.
- Quemador de DVD.

3.2 SISTEMA DE GEOPOSICIONAMIENTO GLOBAL.

- Professional mobile mapper 6 +.
- Mobile mapping software.
- Sistema operativo microsoft windows mobile version 6.
- Procesador: Samsung a 400 mhz.
- Bluetooth.
- Usb.
- Antena gps: sirfstarii.
- Precision (sbas): 1.2 a 5 m sin post proceso. .50 m postproceso
- Canales: 12 (l1 code).
- Antena: integrada.
- Protocolos: nmea, sirfstarii.
- Características físicas tamaño: 14.6 cm x 6.4 cm x 2.9 cm peso con baterías: 224 g.
- Pantalla: 6.86 cm resolucio: qvga (240 x 320 pixels).
- Interfase de usuario pantalla touch screen teclado virtual (touch) reconocimiento handwriting.

- Audio.
- Luz de fondo (backlight) medio ambiente contra lluvia y polvo ipx7
- Temp de operación: -20°C to 50°C,
- Memoria SD cards memoria nand flash: 8 Gb,
- Memoria sdram: 64 mb,
- Energía baterías: 2 x AA duracion: ¿???
- Camara: integrada de 2mpx cmos bocina y micronefona led flashlight (lampara),
- Sensores: E-compass, G-sensor, barométrico.
- idioma: español.

3.3. PROGRAMAS INFORMÁTICOS.

Los programas informáticos utilizados, para sistematizar la construcción de las geobases de datos fueron:

- ArcGis 10.1 Esri
 - Módulo de análisis espacial.
 - Módulo de análisis tridimensional.
 - Módulo de análisis de redes.
- ArcPad 10
 - En el dispositivo móvil
- ENVI5.0
 - Pre y postprocesamiento de imágenes.

3.4. MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL.

Los modelos de elevación digital son los provistos por la NASA en la versión V2 del GDEM el cual incluye 260.000 pares estereoscópicos, los cuales reducen la aparición de objetos en la escena, la escala es 1:50000 en proyección UTM. Debido al algoritmo de la producción de refinado se tiene una mejor resolución espacial, y un incremento en la precisión horizontal y

vertical, el formato de los datos es GeoTIFF y el mallado tiene celdas de 30 metros y un mosaico de 1 x 1 grado. Los modelos son gratuitos y están disponibles en la página de la NASA.

3.5. ESTACIONES METEOROLÓGICAS.

En la región sureste de Coahuila, se localizan 18 estaciones meteorológicas tradicionales más un observatorio, todos los datos contenidos en el ERIC III, de los cuales se usaron únicamente las variables Precipitación y temperatura.

3.6. ESTACIONES HIDRÓMETRICAS.

Existen alrededor de 30 estaciones hidrométricas en Coahuila, de las cuales solo seis tienen información relevante relacionada con la red hidrológica, estas son: Canal Principal, Presa Vicente Guerrero, Canal Guadalupe Victoria, Arroyo Vaquería, Arroyo San Juan y Canal La Concha. Los datos que tiene son referentes a los niveles y gasto de los arroyos interconectados, en periodos variables desde 1932 hasta 1976.

3.7. IMÁGENES DE SATÉLITE.

Las imágenes de satélite que se utilizaron son LandSat7 ETM+, con una resolución espectral de 7 Bandas, resolución espacial de 30X30 m y una

resolución temporal de 16 días, los Path y Rows correspondientes a la región sureste de Coahuila son los que van desde el 26,40, hasta el 34,42, las cuales se usaron para complementar la cartografía y estas se procesaron en ENVI 5, con la finalidad de formar composiciones en color verdadero, para su posterior exportación a ArcGis 10.1

3.8. LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA.

La región sureste del estado de Coahuila comprende los municipios de Arteaga, General Cepeda, Parras, Ramos Arizpe y Saltillo, y se extiende desde los 24°31´43" hasta 26°00´49" de latitud norte y desde los 100°13´45" hasta los 102°46´17" de longitud oeste



Figura 3.1. Regiones económicas de Coahuila Fuente: página web Gobierno de Coahuila.

Para fines prácticos, la región sureste está contenida en 5 cuencas de 3 regiones hidrológicas distintas

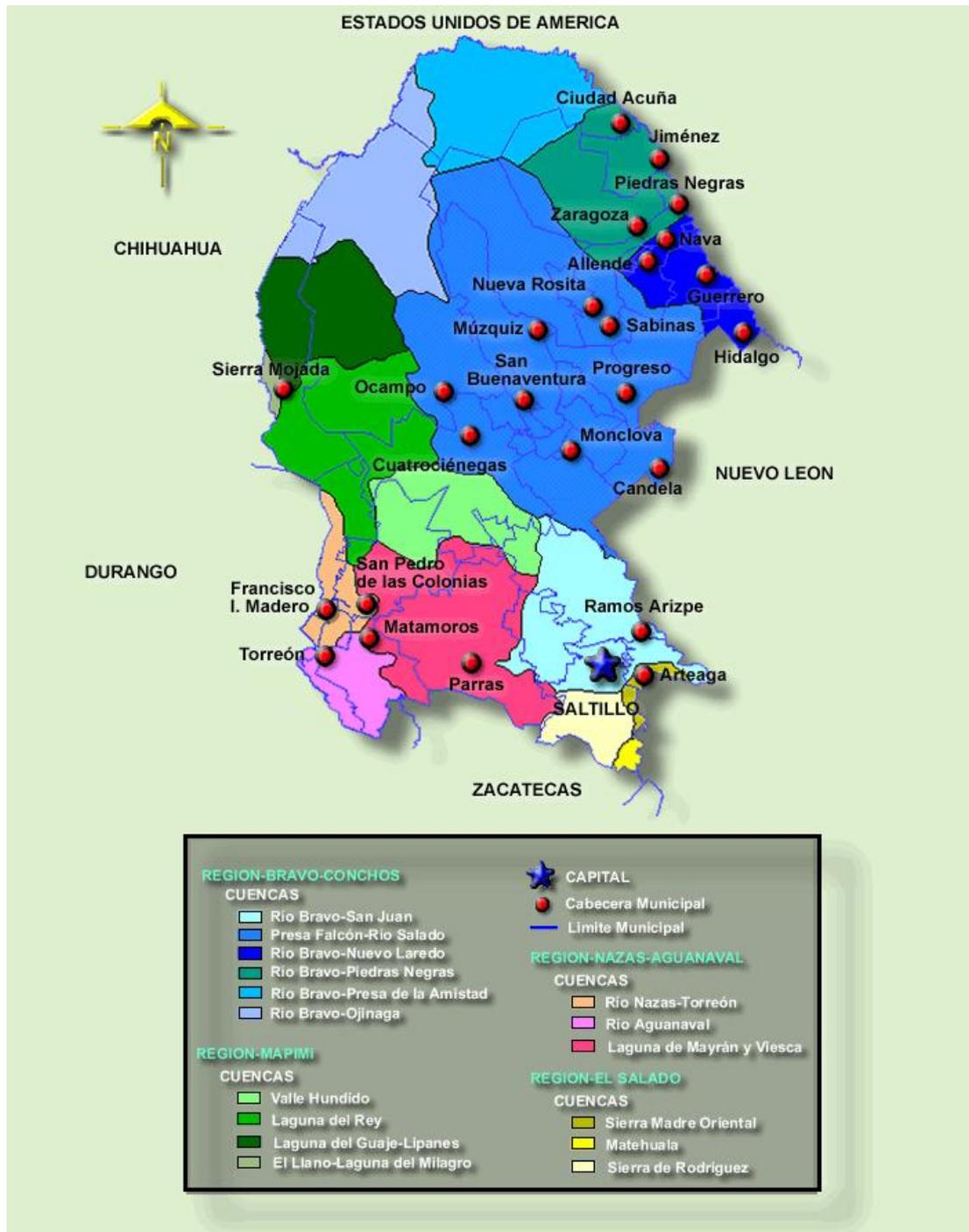


Figura 3.2. Cuencas en Coahuila, Fuente: pagina web INEGI.

En la Figura 3.2. se puede apreciar las cuencas de la región sureste del estado, la que corresponde a Saltillo, Ramos Arizpe, dentro de la región

Bravo-Conchos, es la Río Bravo-San Juan. La que corresponde a Parras, General Cepeda dentro de la región **Nazas-Aguanaval** es la cuenca de la **Laguna de Mayrán** y Saltillo, Arteaga dentro de la región **El Salado** Las cuencas de la **Sierra madre Oriental, Matehuala y Sierra de Rodríguez**.

3.9. PROCEDIMIENTO

La primera fase consiste en obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce), el cual se estima como la proporción de lluvia efectiva que se transforma en escurrimiento para una determinada región. Con la finalidad de tener coherencia se formarán las geobases de datos de acuerdo al método descrito en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, la cual establece las especificaciones y criterios para estimar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Es un modelo de tipo global, que posibilita las estimaciones, aunque gruesas, pero con fundamento hidrológico sólido.

Como un apartado de esta primera fase hay que desarrollar las tablas en formato dbf, del total precipitado mensualmente en las estaciones meteorológicas de la región sureste en la que estamos trabajando.

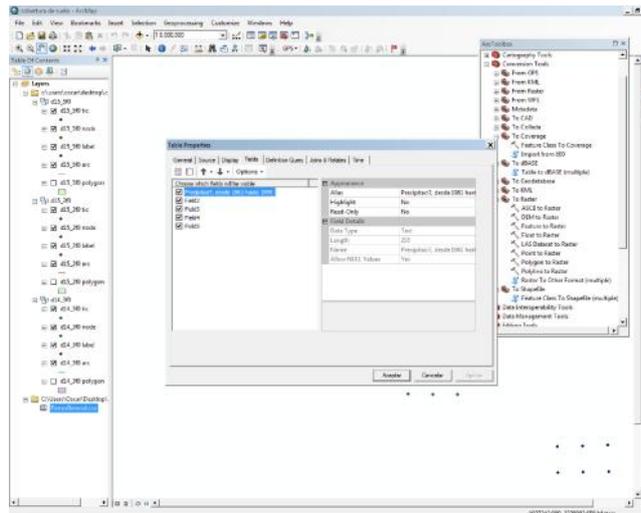


Figura 3.3. Importación de datos de precipitación en ArcMap (ArcGis 10.1).

En la Figura 3.3. se observa el total de la precipitación mensual y el promedio anual y en la Figura 3.4, se presenta la precipitación total mensual promedio. En la Tabla 1., donde se aprecia la distribución de la lluvia a lo largo del año y donde en los meses de mayo a octubre se registran las mayores precipitaciones.

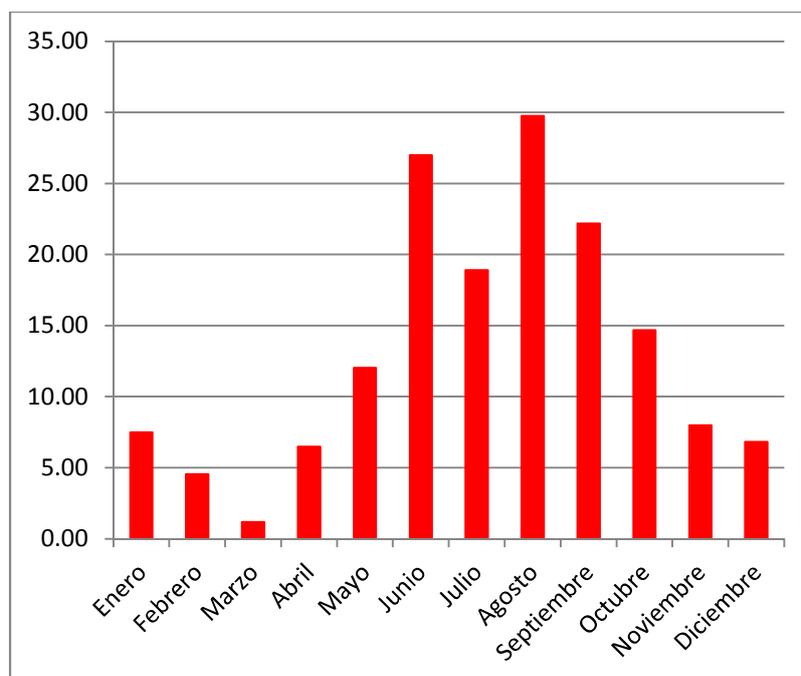


Figura 3.4. Datos de precipitación para 1 estación en ArcMap (ArcGis 10.1).

Precipitación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1969	0	0	0	0	11	27	0	15.5	10	0	0	0
1970	0	18	0	0	20	29.5	0	0	13	0	0	0
1971	5	0	2.6	0	5.5	68.4	0	165	7 82.	9 132.0	0	5
1972	0	3	0	0	53.5	35.5	9	1.3	74	10	1.1	0
1973	5	13.4	0	0	7.3	52.7	4.7	37.9			0	2
1974	3.5	0	1.5	0	1.5	0	6.5	36.3	23.2	3.2	0	2
1975	0	0	0	0	8.5	2	32	39.8	0	0.5	0	18.8
1976	7	0	0	20.2	19.5	23.5	57.9	0	52	5.2	33	16.9
1977	0.8	0	0	8.5	12.3	58.1	18.5	36.5	0	1.5	0	0
1978	0.5	0	0	2.2	0.8	3.5	15.5	58.4	25	7.9	0.7	2.5
1979	0.2	0.5	0.2	0.7	11	13.6	17	4.7	1	0	0.2	2.8
1980	4	17	0	0.6	0.2	0	2	29	10	44	23	0
1981	46	3	17	28	10	41.9	25.6	0	24	79	0	0
1982	0	0	0	10.5	0.7	22	20	0	4.2	0	54	10
1983	12	11	0.6	0	11	10	30	32	39.6	9	7	0
1984	41	6	0	0	8	12	67.4	46	10.7	10.5	0	30
1985	11.5	2	0	47	20	14.7	11	6	15	60	16	0
1986	3	6	0	25	18	54	42	48	53	61	5	
1987												
1988	0											
1989											52	23
1990	19.5	13	0	0	25	52	18	25	35	16.5	0	0
1991	0	5										
1992									0	0	0	0
1993	7	7	0	0	0	59.5	18	11	17	0	0	16
1994	14	0	4	0	0	2	0	52	32	0	0	12
1995	0	0	0	0	21	12	21	10	27	0	0	16
Promedio	7.50	4.56	1.18	6.49	12.04	27.00	18.91	29.75	22.18	14.68	8.00	6.83

Tabla 3. 1. Datos tabulares de precipitación en ArcMap (ArcGis 10.1).

Para la determinación del factor k es necesario tener el mapa de uso de suelo ya que dicho factor va a depender de la cobertura vegetal y de la textura del mismo. Se toman en cuenta también las características de

permeabilidad del suelo, y la capacidad de interrupción de la lluvia por parte de la vegetación, ambas incluidas en el parámetro “k”.

A pesar de que la permeabilidad del suelo es un factor que está en función de la conductividad hidráulica y esta a su vez de la textura y compactación del suelo, así como del potencial mátrico, se hace la simplificación de considerar la textura del suelo como una media de ese factor, debido a la permeabilidad, esto deberá remplazar a las texturas.

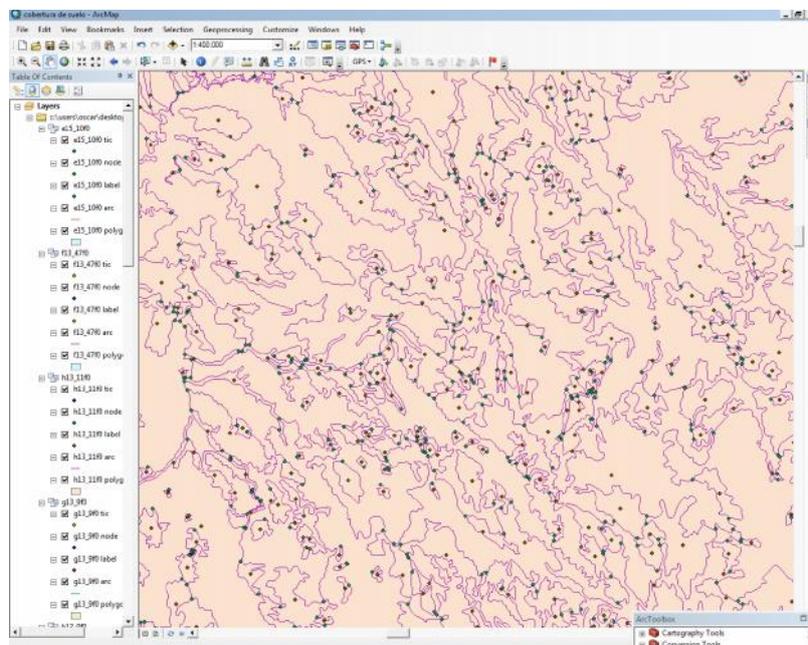


Figura 3.5. Mapa de uso de suelo en el municipio de Arteaga, Coahuila. (ArcGis 10.1).

El coeficiente k no es un valor constante sino una aproximación, ya que adicionalmente a que es una dependencia directa de la calidad de los datos y del tamaño de la microcuenca, el coeficiente varía espacialmente y temporalmente en el transcurso del año, en función de la intensidad de lluvia y por ende las condiciones previas de humedad en la microcuenca.

El procedimiento consiste en abrir en Arc Map, un mapa base con las coberturas de uso de suelo provenientes del Inventario Nacional forestal, realizado por el Instituto de Geografía de la UNAM en el 2006, Figura 3.5. Debido a que ya vienen caracterizadas las unidades de suelo, no es necesario editar las tablas de atributos, de ser necesario, abrir la tabla de datos y añadir un campo nuevo de tipo numérico, con 3 valores permisibles:

TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas

Tabla 3. 2. Clasificación de suelos de acuerdo a su permeabilidad por la Suelos K NOM-011-CNA-2000. (ArcGis 10.1).

La malla nueva permite tener un nuevo mapa con la característica de ser reducido a 3 categorías.

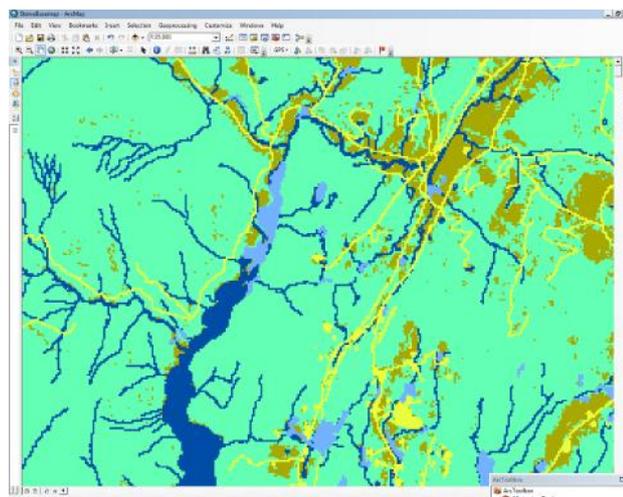


Figura 3.6. Mapa de uso de suelo con la reducción de clase de acuerdo a su permeabilidad. (ArcGis 10.1).

El producto del coeficiente de escurrimiento por la media de la precipitación o lamina media mensual de lluvia (m) por la superficie (m²), da

como resultado el volumen total del agua que cae como precipitación en la microcuenca expresado en m.

El coeficiente de escurrimiento mensual (C_e /mes). Se puede obtener a partir de tablas o manuales hidrológicos, en función del tipo de cobertura del suelo, las pendientes del terreno, el uso y tipo del suelo u obtener mediante la operación aritmética; se divide la precipitación mensual entre la anual y se multiplica por el coeficiente de escurrimiento:

$$C_e = K \frac{P_i}{P_t}$$

Donde:

C_e = Es el coeficiente de escurrimiento medio mensual.

P_i = Es la precipitación media mensual del mes i .

P_t = Es la precipitación media anual.

K = Es el coeficiente de escurrimiento medio anual.

La infiltración en la microcuenca se determina usando la infiltración básica con la siguiente relación.

$$I < f_p \text{ entonces } f = i$$

Donde:

f = infiltración en lámina por unidad de tiempo (mm/h)

f_p = capacidad de infiltración (mm/h)

i = intensidad de lluvia (mm /h)

Ésta fórmula se extrapola a nivel de celdas e todos lo mapásss para obtener la cobertura de infiltración en un archivo primeramente tipo rastere y

después exportado al formato estándar Shapefile. Para el balance hidrológico es necesario el volumen de la evapotranspiración potencial el cual es una función directa de la precipitación y la temperatura. Para determinar la evapotranspiración es necesaria una serie histórica de temperaturas medias mensuales como las cuales se tabulan ese dato se introduce y estima se la evapotranspiración para cada uno de los meses del año, mediante la ecuación de Penman y Monteith, misma que se implementa en el SIG.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Anual
Precipitación	16.7	10.2	7.1	17.4	34.6	39	59.4	65.9	60.2	29	11.8	18	369.3
Evapotranspiración	43	47	64	79	93	94	83	80	72	64	49	40	808

Tabla 3. 2. Datos tabulares de precipitación y evapotranspiración de una estación de la región sureste de Coahuila.

Con estos datos es posible construir los mapas de isoyetas e isolíneas de evapotranspiración.



Figura 3.7. Isoyetas en la región sureste de Coahuila.

IV RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. CLIMA

Se construyeron las tablas de temperatura precipitación y evapotranspiración, así mismo se generaron los mapas de isoyetas, isotermas e isolíneas de evapotranspiración.

4.2 SUELO.

Para fines del balance hidrológico solo se precisan el mapa de uso de suelo y el de vegetación, mismos que fueron obtenidos y modificados de los mapas del inventario nacional forestal (UNAM 2006).

4.4. ESTACIONES HIDROMETRICAS.

Sobre la base del Banco Nacional de Datos Hidrométricos (BANDAS) se construyó la geobase de las fuentes puntuales de descarga o los aportantes a la red hidrológica de la región sureste de Coahuila, que servirá para calibra el balance hidrológico regional.

4.5. CARTOGRAFIA DIGITAL.

La cartografía base usada en el presente trabajo ha sido conformada mediante los modelos de elevación digital, las curvas de nivel y parte de las cartas topográficas del INEGI.

4.6. IMÁGENES DE SATELITE.

Las imágenes de satélite fueron LandSat 7 ETM+, y se realizaron composiciones de color verdadero para complementar la cartografía, las composiciones fueron hechas en ENVI 5.0 y se usaron para el efecto, las Bandas 1,2 y 3, con la finalidad de obtener salidas de imagen del espectro visible en mencionado color verdadero.

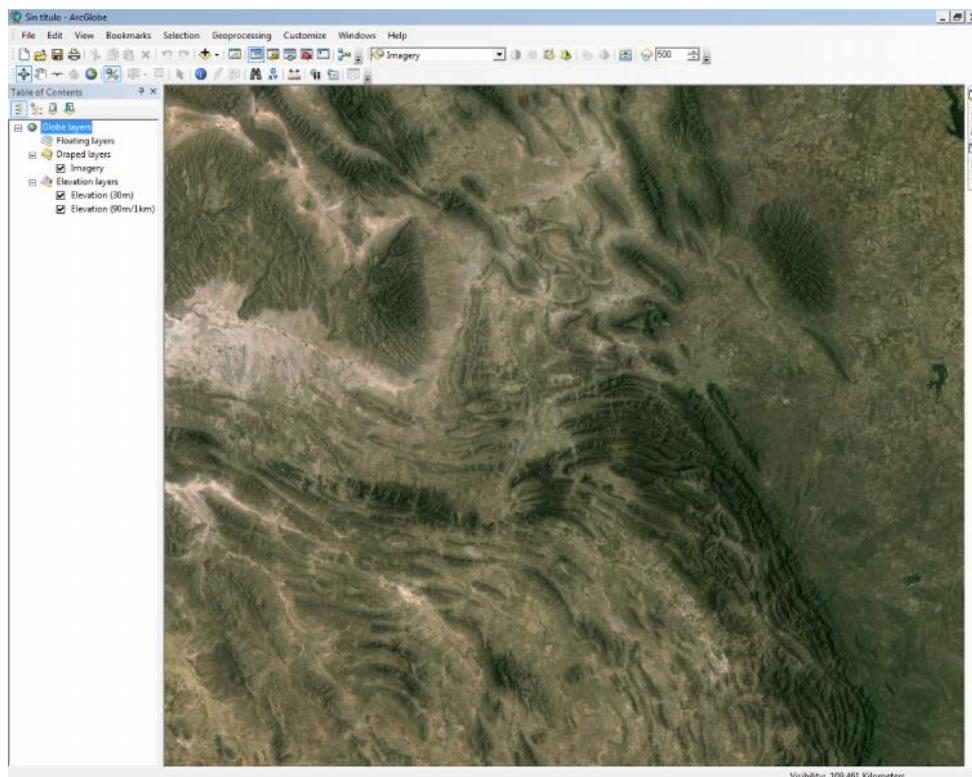


Figura 4.1. Imagen en color verdadero. (ArcGis 10.1).

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La construcción de las Geobases de datos ha demostrado gran ayuda en el balance hidrológico regional, al reducir el margen de incertidumbre a nivel de celda.

Es posible cambiar el espacio de tiempo discreto de los datos meteorológicos al introducir estos y procesarlos dentro de rutinas simuladoras.

La sustitución de datos en papel por magnéticos resulta en un manejo eficiente del tiempo y reducción sustancial en el cambio del mismo para su procesamiento.

Los modelos de simulación de descargas puntuales y fuentes difusas no mostraron necesidades de mayor trabajo postprocesamiento.

Los datos de salida para toma de decisiones se hace cuasi en línea solo en función del nivel discreto de espacio tiempo de las fuentes de datos

El Balance hidrológico con fines de gestión integral del agua se realiza de manera muy eficiente y con un alto nivel de precisión.

Es recomendable continuar con el refinamiento de estos procedimientos técnicos para pulir los procesos de balance hidrológico.

RESUMEN

El presente trabajo de formación de generación de geobases de datos evaluación se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Con el objetivo es prepara sobre una base técnico científica las bases de datos propias para una Balance hidrológico regional.

El procedimiento consistió en preparar la bases de datos a partir de diferentes fuentes e introducirlos a un Sistema de Información Geográfica estimar los factores k para escurrimiento e i para la infiltración, así como la Evapotranspiración de referencia ETo Mediante el Método de Penman y Monteith.

Tomando como base la norma oficial mexicana NOM-011-CNA-2000, para estimación de escurrimiento pero a la vez usando técnicas más precisa y modernas para un balance hidrológico regional.

PALABRAS CLAVE.- Geodabase de datos, Voxcel, escurrimiento.

VI BIBLIOGRAFÍA

- Albrecht Jochen. Semantic net of universal elementary gis functions. In. Proceedings of the International Symposium on Computer-Assisted Cartography February 27-29, 1995. Charlotte, North Carolina. Disponible en: <http://mapcontext.com/autocarto/proceedings/autocarto-12/pdf/pages245-254.pdf>
- Aparicio Mijares, Francisco J, 2001, Fundamentos de Hidrología Superficial, Limusa ,. México, DF,
- Aspinall R. and Pearson D. 2000. Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: Linking landscape ecology, environmental modelling and GIS. Journal of Environmental Management, Volume 59, Issue 4, August 2000, Pages 299-319.
- Aranoff, S. 1989. Geographic information systems: a management perspective. WDL Publications, Ottawa, Canada.
- Ball Jonathan. 2002. Towards a methodology for mapping 'regions for sustainability' using PPGIS, Progress in Planning, Volume 58, Issue 2, Pages 81-140.
- Burrough Peter A. and McDonnell Rachael A. Principles of Geographical Information Systems (Spatial Information Systems). 1998. Oxford University Press. 327p.
- Coppock, J.T. and Rhind, D.W. 1991. The history of GIS. En. Maguire D.J. ; Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds). Geographical Information Systems: principles and applications. Longman, London, pp.21-43.
- Davis F, Quattrochi D, Ridd M, Lam N, Walsh S, Michaelsen J, Franklin J, Stow D, Johannsen C, and Johnston C. 1991. Environmental Analysis Using Integrated GIS and Remotely Sensed Data: Some Research Needs and Priorities. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 57: 689-697.
- Ehlers M, Greenlee D, Smith T, and Star J. 1991. Integration of Remote Sensing and GIS: Data and Data Access. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 57: 669-675.
- Espíldora B., Brown E., Cabrera G. Y P. Isensee, 1975 "Elementos de Hidrología" Centro de Recursos Hidráulicos. Depto de Obras Civiles. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile
- Fallas, Jorge 2011 Geoambiente Universidad Nacional Escuela de Ciencias Ambientales. Sistemas de Información Geográfica, Heredia, Costa Rica.

- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS). Hidrometría y Sedimentos hasta 2006. 8 CD's. CNA—SEMARNAT. IMTA. Jiutepec, Morelos. 2008
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2006, Extractor rápido de información climatológica ERIC III. Información en formato digital. CNA- IMTA. Jiutepec, Morelos.
- Posicionamiento Global en Costa Rica. Memoria. Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 75p.
- Fonseca F., Egenhofer M., Agouris P. and Câmara G. 2002. Using Ontologies for Integrated Geographic Information Systems. *Transactions in GIS*, vol. 6, no. 3, pp. 231-257.
- Gomes J. and Velho L. 1995. Abstraction Paradigms for Computer Graphics. *The Visual Computer* 11: 227-239.
- Goodchild M, Egenhofer M, Kemp K, Mark D, and Sheppard E. 1999 Introduction to the Varenus Project. *International Journal of Geographical Information Science* 13: 731-745.
- Goodchild Michael F., Parks Bradley O. and Steyaert Louis T. (editors). *Environmental modeling with GIS*, Oxford University Press, New York, 1993, 488 pp.
- Krummel, J., R. Gardner, G. Sugihara, R. O'Neill y P. Coleman. 1987. Landscape patterns in a disturbed environment. *Oikos* 48:321-324.
- Guillén Morales, Rafael. 1996. Diagnóstico Sistemas de Información Geográfica en el Salvador.
- Unidad Sistemas de Información Ambiental. San Salvador, El Salvador. 43p. +1 anexo.
- Lafragua J., Gutierrez A., Aguilar E., Aparicio J., Mejía R., Santillán O., Suarez M.A., Preciado M., 2003, Balance Hídrico del Valle de México. *Anuario IMTA* 2003 pp 40-46.
- Lillesand Thomas, Kiefer Ralph W. and Chipman Jonathan. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6th ed. Wiley. 2008. 746p.
- Marr, D. 1982. *Vision*. W. H. Freeman, New York.
- Maderey Rascón Laura Elena. Jiménez R., A. *Principios de Hidrogeografía UNAM* (2005).

- Martin M., 2003, Aspectos Básicos de la Gestión Integral del Agua., Una aplicación a la Subcuenca del Tramo Inferior del Río Ebro, II Jornadas de Ciencias Ambientales; Madrid.
- Mejía, Sandra. 1996. Diagnóstico del estado actual de los sistema de información geográfica (SIG) en Nicaragua. Proyecto NIC/94/P50.Managua, Nicaragua. 16p.
- Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R., 2011 , Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Versión 2009, Grassland, Soil and Water Research Laboratory - Agricultural Research Service Blackland Research Center - Texas AgriLife Research
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-011-CNA-2000, “CONSERVACIÓN DEL RECURSO AGUA – QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES Y EL MÉTODO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE LAS AGUAS NACIONALES”. <http://www.cna.gob.mx> (normatividad)
- Pastor, J. and Broschart, M. 1990.The spatial pattern of a northern hardwood-conifer landscape. *Landscape Ecology*, 4:55-68.
- Stöckle C. and Nelson R., 2003. Cropping Systems Simulation Model User´s Manual, Biological Systems Engineering Department. Washington State University.
- Secretaría del Convenio sobre la Biodiversidad. 2004. Enfoque por ecosistemas. Programas de Trabajo del CDB. 45p.
- Steiniger Stefan and Weibel Robert. 2009. GIS Software - A description in 1000 words. University of Calgary (CA), University of Zurich (CH). Version–1.2–08.May.2009.Disponibleen: http://www.geo.unizh.ch/publications/sstein/gissoftware_steiniger2008.pdf.
- The World Conservation Union/ORMA. 1993. Management of Environmental Information in Central América. Report on Regional Institutions.San José, Costa Rica. 11p. +Anexos.
- Tortajada C, Guerrero V. Sandoval R., 2004. Hacia una gestión integral del agua en México: retos y alternativas México, Miguel Ángel Porrúa, 2004, 461 pp.