



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA

TESIS DE TITULACIÓN
USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN
LA INGENIERÍA CIVIL

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
JUAN ERASMO PINEDA RODRÍGUEZ

ASESOR:
DR. EDUARDO REINOSO ANGULO

México D.F., 04 de Octubre de 2012



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/060/11

Señor
JUAN ERASMO PINEDA RODRÍGUEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. EDUARDO REINOSO ANGULO, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA INGENIERÍA CIVIL"

- INTRODUCCIÓN
- I. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA(SIG)
- II. USO DE LOS SIG EN LA INGENIERÍA CIVIL
- III. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LOS SIG EN LA INGENIERÍA CIVIL
- IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES
- V. REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 16 de Mayo del 2011.
EL PRESIDENTE

ING. RODOLFO SOLÍS UBALDO

RSU/MTH*gar.

Agradecimientos:

Con estas líneas, quiero mandar un sincero agradecimiento a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la culminación de esta meta.

A mis padres.

La Sra. María Teresa Rodríguez Barajas y el Sr. Erasmo Pineda Mata. Gracias por el incondicional apoyo tanto moral como económico que finalmente me llevó a lograr este trabajo, por todos los valores que me han inculcado y el cariño que a manos llenas me han brindado, este logro es también de ustedes.

A ustedes mi gran motivación y a la vez responsabilidad, espero que pronto vengan cosas buenas para todos.

A mis incontables amigos gracias a todos por su incondicional apoyo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme ser parte de ella dándome la oportunidad tanto de trabajar como de estudiar. Espero algún día poder devolverte de alguna manera parte de lo mucho que me ha dado.

A la Facultad de Ingeniería, por ser la cuna de grandes profesores a quienes también agradezco infinitamente el compartir su conocimiento durante esta etapa de mi vida. En particular a mis sinodales.

Un agradecimiento muy especial al Dr. Eduardo Reinoso Angulo por permitirme ser parte de su equipo de trabajo y apoyarme en la realización de este trabajo de tesis. Al Dr. Miguel Angel Jaimes por el apoyo en la revisión del presente y por supuesto al Instituto de Ingeniería donde realicé este trabajo con el cual se culmina el esfuerzo realizado durante tantos años.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO I | 1 |
| 1 Introducción | 1 |
| 1.1 Generalidades | 1 |
| 1.2 Objetivo | 2 |
| CAPÍTULO II | 3 |
| 2 Descripción de los sistemas de información geográfica (SIG)..... | 3 |
| 2.1 Antecedentes..... | 3 |
| 2.2 ¿Qué son los sistemas de información geográfica?..... | 5 |
| 2.3 Importancia de los sistemas de información geográfica..... | 7 |
| 2.4 Información geográfica de un SIG | 8 |
| 2.5 Sistemas de coordenadas y proyecciones en un SIG..... | 8 |
| 2.5.1 Coordenadas geográficas..... | 8 |
| 2.5.2 Proyección universal transversal Mercator (UTM)..... | 9 |
| 2.5.3 Proyecciones cartográficas | 10 |
| 2.6 Cómo funciona un sistema de información geográfica | 11 |
| 2.7 Tareas que desempeña un SIG..... | 13 |
| 2.8 Componentes de un sistema de información geográfica | 14 |

| | | |
|---------------------------|---|----|
| 2.9 | ¿Qué evaluar en los datos? | 17 |
| 2.10 | Tecnologías relacionadas..... | 18 |
| 2.11 | Demandas que puede responder un SIG..... | 19 |
| 2.12 | Aplicaciones de los SIG | 20 |
| 2.13 | software SIG existentes en el mercado..... | 22 |
| CAPÍTULO III | | 25 |
| 3 | Usos de los SIG en la ingeniería civil | 25 |
| 3.1 | Introducción..... | 25 |
| 3.2 | Uso de los SIG en la hidráulica | 26 |
| 3.3 | Usos de los SIG en geotecnia | 29 |
| 3.4 | Uso de los SIG en la rama de construcción..... | 31 |
| 3.5 | Uso de los SIG en la zonificación sísmica | 33 |
| 3.6 | Uso de los SIG en ingeniería sanitaria y ambiental..... | 35 |
| 3.7 | Uso de los SIG en sistemas de transporte..... | 37 |
| CAPÍTULO IV | | 40 |
| 4 | Ejemplos de aplicación de los SIG en la ingeniería civil | 40 |
| 4.1 | Generalidades | 40 |
| 4.2 | Georreferenciación de colonias inundadas..... | 41 |
| 4.2.1 | Georreferenciación de las colonias inundadas en la zona de aeropuerto | 47 |
| 4.2.2 | Georreferenciación de colonias inundadas por el canal de la compañía | 48 |
| 4.3 | Georreferenciación de colonias con gas natural | 48 |
| 4.4 | Georreferenciación de huracanes en México (caso huracán Alex) | 51 |
| 4.5 | Gerreferenciación de sondeos geotécnicos (SIG-SG) | 53 |
| 4.6 | Georreferenciación de isoyetas..... | 56 |
| 4.7 | Georreferenciación índice de riesgo sísmico..... | 57 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.8 | Georreferenciación de escenarios de inundación | 59 |
| 4.9 | Georreferenciación de red de distribución de agua potable | 60 |
| 4.10 | Georreferenciación de potenciales embalses con fines de riego y generación de energía eléctrica | 62 |
| 4.11 | Georreferenciación y cálculo de volúmenes de tierra | 63 |
| | CAPÍTULO V | 65 |
| 5 | Discusiones y conclusiones en torno a los usos de los SIG en la ingeniería civil | 65 |
| 5.1 | Discusiones | 65 |
| 5.2 | Conclusiones | 67 |
| | REFERENCIAS | 68 |

CAPÍTULO I

1 Introducción

1.1 Generalidades

El presente trabajo de tesis es una investigación acerca de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica y de los usos que pueden tener estos sistemas en los diferentes campos de acción de la ingeniería civil.

Una de las razones por la que se decidió abordar el tema, es por la importancia que están adquiriendo estos sistemas en los últimos años, consolidándose como una poderosa herramienta capaz de manipular grandes cantidades de información, siempre que esta contenga alguna característica geográfica. Otra de las razones, es por que se considera que estos sistemas no han sido explotados en su máxima capacidad y finalmente, por que dada la complejidad de las labores que desarrollan los ingenieros civiles en la creación de infraestructura, la utilización de esta herramienta resultaría ser una importante alternativa en la búsqueda de soluciones ingenieriles.

El objetivo primordial de este trabajo es mostrar algunos de los usos y aplicaciones que puede tener esta herramienta en materia de ingeniería civil. Básicamente se muestran ejemplos de referenciación de información o georreferenciación hablando en términos de SIG, siendo que esta es una de las primeras etapas en el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica.

El trabajo se desarrolla de la siguiente manera:

En el capítulo I que es el presente, se hace una introducción al tema, indicando el objetivo general del trabajo.

En el capítulo II se detallan las características de los SIG, iniciando con los antecedentes y continuando con una descripción de qué son, cuál es su importancia, para qué sirven, cómo se integran, cómo funcionan, cuáles son las tareas que desempeñan, cuáles son sus componentes principales, algunas tecnologías relacionadas, demandas que puede responder y finalmente se mencionan algunas de las principales aplicaciones a nivel general.

El capítulo III aborda algunos de los principales usos de estos sistemas en las distintas ramas de la ingeniería civil siendo estas: la hidráulica, la geotecnia, la construcción, la zonificación y su relación con las estructuras, la ingeniería sanitaria y ambiental y los sistemas de transporte.

En el capítulo IV se presentan algunos de los ejemplos de aplicación de los SIG. Utilizando el software Arcgis, se desarrolla la georreferenciación de información para distintos casos, dentro de los que se muestran diferentes escenarios asociados a desastres naturales y de otras aplicaciones en la ingeniería civil.

Por último en el capítulo V se realizan las discusiones y conclusiones del trabajo. Todo ello esperando crear el interés de los profesionistas de la construcción en el uso de esta herramienta como una alternativa más a utilizar en las labores que realizan cotidianamente.

1.2 Objetivo

El objetivo del presente trabajo es mostrar los usos y aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica en la Ingeniería Civil.

CAPÍTULO II

2 Descripción de los sistemas de información geográfica (SIG)

2.1 Antecedentes

Desde que el ser humano apareció en la tierra se ha visto en la necesidad de utilizar referencias geográficas, por ejemplo, se sabe que el hombre prehistórico dibujaba en las cuevas figuras de animales acompañadas de líneas y trazos que se supone referían rutas de migración de ciertas especies que cazaba para diferentes fines. Si se pone atención en ese comportamiento, puede hacerse una sencilla analogía con los Sistemas de Información Geográfica ya que, en ambos casos se trata de una imagen asociada a unos atributos geográficos.

Años más tarde los fenicios y otras civilizaciones trazaron rutas de navegación referenciadas principalmente como base para estrategias militares, sin embargo, estas rutas también permitieron la mezcla de razas y culturas. Por su parte los griegos y los romanos utilizaron este tipo de información como base en la planeación de sus ciudades ya que en esa época los agrimensores eran sin duda una parte indispensable del gobierno en la Roma.

En el Siglo XVII, cartógrafos especializados como Mercator demostraron que no sólo un sistema de proyección matemático y un ajustado sistema de coordenadas mejoraba la fiabilidad de las medidas y la localización de áreas de tierra, si no que el registro de fenómenos espaciales a través de un modelo convenido de distribución de fenómenos naturales y asentamientos humanos representaba un gran avance en la búsqueda de rutas, en la navegación y como estrategia militar.

En el siglo XVIII en la comunidad europea comprendió la importancia de tener un cartografiado sistemático de sus tierras, así que se crea un organismo llamado

Geographical Information Society, encargado de realizar los mapas catastrales y topográficos de todos los países de ese continente, mismos que en la actualidad siguen actualizándose continuamente.

Antes de implementar ordenadores a la cartografía, todos los mapas se representaban en bases de papel, toda la información con respecto a este se representaba con puntos, líneas o áreas, y las características básicas mediante símbolos, colores o códigos de texto, todos ellos explicados en una leyenda adjunta, sin embargo, como existen infinidad de características espaciales que pueden representarse en los mapas, surge la necesidad de crear mapas con información de algún tema en específico o mapas temáticos. Lo mismo sucedía con las bases de datos de algún mapa las cuales eran representadas en papel, lo cual representaba una gran limitante.

Uno de los precursores de los Sistemas de Información Geográfica fue el Dr. John Snow quien es considerado el pionero de la epidemiología, para ello utilizó un sistema geográfico a través del cual pudo identificar puntos críticos de brotes de cólera que se estaban suscitando en ese momento, así como también pudo ubicar los pozos de agua contaminada que eran los causantes de la epidemia. En este sistema, no sólo se utilizó información real, si no que, también se analizaron por primera vez datos geográficos dependientes.

Más adelante, en la década de los 60's en Canadá fue donde surgió el primer prototipo de los SIG con características muy similares a los sistemas actuales, fue creado para resolver problemáticas respecto a usos de tierra de ese país, pero en realidad es el primer Sistema de Información Geográfica como tal. El mecanismo de operación de este sistema era a través de una mesa iluminada donde se realizaba una superposición de mapas con diferentes atributos, pero que guardaban una relación entre sí, este procedimiento hizo posible el cálculo de distancias, proyecciones y escaneos de la información.

Este sistema conocido como el Sistema de Información Geográfica de Canadá es considerado como el pionero de estos sistemas ya que su implantación no se limitó a utilizar sólo la información ya conocida si no que en su desarrollo se crearon tecnologías como software y scanners, tecnologías que hoy en día siguen formando parte de los SIG.

La incorporación de los sistemas computacionales en los años 70 aunado a la evolución de otras herramientas como la topografía, la fotogrametría y la percepción remota dieron a los sistemas de información geográfica un gran avance, ya que pese a que en un principio fue difícil relacionarlos en poco tiempo pudieron adaptarse convirtiéndose en verdaderos SIG.

A partir de los años 80's y debido a la continua actualización de los sistemas de cómputo así como su facilidad de manejo y acceso, los SIG se consolidaron como una poderosa herramienta para resolver problemas con alto grado de dificultad, de ahí que se hallan implementado en escuelas, en la investigación, instancias gubernamentales, empresas privadas y otros organismos.

La innovación de las redes de comunicación conjuntamente con otras tecnologías actuales como las imágenes satelitales han permitido que los datos geográficos se hallan estandarizado mundialmente para dar paso a una nueva era de los SIG ya que, con estas herramientas es posible generar parte de la información referenciada desde cualquier equipo de cómputo, esto hace que estos sistemas tengan una gran ventaja sobre otros ya

existentes y que por ende se hallan convertido en una tecnología muy útil y confiable de la cual muchas disciplinas se han beneficiado.

2.2 ¿Qué son los sistemas de información geográfica?

En años recientes las tecnologías han permitido tener acceso a ciertos tipos de información de buena calidad y bajo costo, por ejemplo, imágenes satelitales, bases de datos, navegadores GPS. Así como a gran variedad de equipo y programas de cómputo, herramientas que administran y procesan información de toda índole, aunado a esto se dispone de personal capacitado en diferentes áreas a abordar y también con metodologías o estrategias de aplicación. Si se reúnen y relacionan correctamente todos esos elementos, puede hablarse de un SIG.

Dar una definición concreta de lo que es un SIG es una tarea un tanto compleja, ya que, en el mismo concepto integra tanto componentes como funciones, además si se observan sus antecedentes podrá notarse que estos sistemas han venido evolucionando continuamente a través del tiempo lo que supone modificaciones relativas en su grado de complejidad o importancia de sus componentes.

Diferentes autores han dado su definición de SIG, así podrían mencionarse tantas definiciones como autores. Algunos enfatizan su importancia en alguno de sus componentes, otros en su funcionalidad, pero en general todas las definiciones coinciden en que un SIG tiene su máximo beneficio al operar con información geográfica, ya que este concepto define la posición real de algún objeto sobre la tierra y que además esta se relaciona con infinidad de áreas y disciplinas. Una característica importante y propia de los SIG, es que están dentro de la gran familia de los sistemas, mismos que han tenido una importante aceptación en los últimos años.

Para fines del presente trabajo un Sistema de Información Geográfica puede definirse de manera muy general como un conjunto de elementos computacionales, datos geográficos y recursos o capital humano que con base en una metodología, es capaz de capturar, almacenar, procesar y presentar en todas sus formas información espacial debidamente referenciada atendiendo múltiples propósitos.

Un SIG es un sistema que permite al usuario integrar y manipular información desde un equipo de cómputo sobreponiendo y relacionando mapas con datos alfanuméricos y espaciales referidos a distintas temáticas pero con un fin en común, dar soluciones a problemáticas manipulando información geográfica. En general, toda información que contenga alguna referencia geográfica implícita o explícita puede integrarse a un SIG.

Antes de su implantación, la manipulación de información geográfica implicaba grandes cantidades de datos plasmados en papel, lo cual traía consigo errores en las operaciones además de hacer muy laborioso tratar de relacionarlas. En cambio, las operaciones en la actualidad son automatizadas de fácil y rápido acceso, lo cual agiliza las tareas en lo referente a procesamiento de datos reflejando sus beneficios en la toma de decisiones.

Por lo antes mencionado, se puede observar que un SIG es un elemento que no existe por si solo ni se puede adquirir como un software, más bien es una integración de diferentes componentes y tendrá que ser implementado atendiendo una problemática en específico.

Resulta importante aclarar que, aunque conceptualmente nada se opone a que los Sistemas de Información Geográfica sean computarizados o no (Aronoff, 1989), en la actualidad cuando se habla de SIG se está haciendo referencia a los sistemas computarizados.

Figura 2.1 mapas temáticos que pueden integrar un sistema de información geográfica.

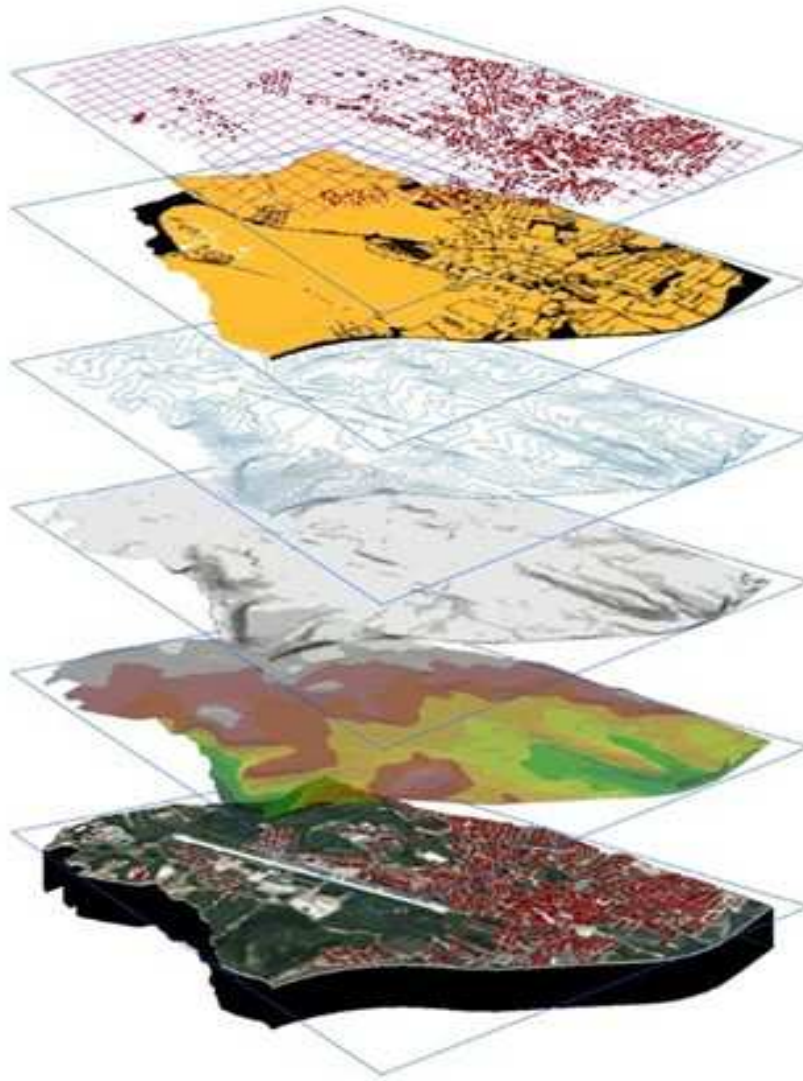


Figura 2.1. Sistema de Información Geográfica.

2.3 Importancia de los sistemas de información geográfica

Si por un momento se reflexiona acerca de la situación que se vive en la actualidad es fácil observar que cada vez es más frecuente encontrar por todas partes avenidas con problemas de vialidad, problemas muy fuertes de basura y otros tipos de contaminación, que en general, existe carencia de infraestructura, o que en su defecto la ya existente es insuficiente para satisfacer las necesidades de la población que sigue en aumento, sin olvidar que el planeta entero esta siempre en riesgo por las acciones naturales tales como sismos, inundaciones, huracanes, etc., que históricamente han dejado a su paso una estela de destrucción causando perdidas materiales incalculables y lo más lamentable, pérdida de vidas humanas. En este sentido el ser humano ha utilizado cualquier cantidad de elementos que le permitan anticiparse a esos eventos, es decir, utiliza la tecnología disponible con el fin de disminuir la incertidumbre ante situaciones de riesgo, aminorando en la medida de lo posible su impacto.

Para resolver la mayoría de los problemas a los que se enfrenta el ser humano, se requiere en la mayoría de los casos contar con una herramienta que sea capaz de relacionar simultáneamente diferentes tipos de información, para procesarla y de esa manera poder observar ciertos patrones y tendencias que sin duda sean una sólida base para una buena toma de decisiones.

De esta manera toma gran relevancia el uso de los SIG, ya que, a través de esta herramienta es posible hacer simulaciones de escenarios de algún evento bajo circunstancias particulares, también se pueden simular escenarios deseados o no y en el más desfavorable de los casos disponer de información para poder reaccionar con tiempo ante algún desastre, así es como los SIG justifican su importancia dentro de las diferentes disciplinas y consolidan su participación en proyectos que suponen un importante grado de complejidad ya que sin esta herramienta difícilmente podrían llevarse a buenos términos.



Figura 2.2. Manejo de diferentes tipos de información en un SIG.

2.4 Información geográfica de un SIG

La información geográfica es el elemento que diferencia a los SIG de otros sistemas existentes, ya que tiene la particularidad de relacionar dos aspectos esenciales, la base de datos espacial y la descriptiva, elementos que definen cualquier característica geográfica.

Una base de datos espacial es aquella que maneja datos existentes en el espacio o datos espaciales, mismos que previamente a ser utilizados tendrán que adaptarse a un lenguaje informático, es decir, pasar de ser elementos que se encuentran en el espacio a ser puntos líneas y polígonos, ahora bien, para dar origen a esta base de datos será necesario establecer un sistema de referencia geográfico que permita identificar y relacionar objetos sobre la superficie de la tierra, estos sistemas de referencia pueden ser georreferenciados (comúnmente utilizados) y no georreferenciados.

La base de datos descriptiva en cambio, refiere grandes bases de datos con caracteres alfanuméricos que se almacenan en una tabla de atributos, en términos generales, es el elemento que da nombre a alguna característica geográfica.

Un SIG tiene la particularidad de relacionar ambas características, su forma perfectamente definida sobre la superficie junto con sus datos descriptivos a través de un atributo geográfico de unión, dando lugar con ello a una sola base de datos, esta relación se establece tanto desde el punto de vista posicional como topológico y descriptivo, de manera que los datos posicionales establecen donde está un elemento, mientras que los topológicos nos dicen donde está ubicado el elemento con respecto a otros elementos y los atributos descriptivos nos dicen qué es y como es el elemento en cuestión. Así por ejemplo podemos definir una entidad federativa mediante una forma geométrica asociándole además atributos descriptivos como pueden ser, población, división política, usos de suelo, etc. Ahora bien los objetos en un SIG se agrupan de manera que relacionen características comunes entre sí para formar campos temáticos, las agrupaciones son dinámicas y se ordenan de manera que respondan a problemáticas específicas puesto que una de las grandes ventajas de estos sistemas es poder visualizar, actualizar, modificar y consultar la información contenida.

2.5 Sistemas de coordenadas y proyecciones en un SIG

Para poder ubicar con precisión los eventos que ocurren en el espacio es necesario contar con un sistema de referencia bien establecido, un sistema de coordenadas geográficas es eso, es un sistema de referencia comúnmente utilizado para localizar y medir elementos geográficos.

2.5.1 Coordenadas geográficas

En general las coordenadas geográficas suponen ángulos o arcos imaginarios que determinan con cierta exactitud un lugar dentro del sistema geográfico, esta división imaginaria de la Tierra es un sin fin de líneas y círculos que cumplen la función de ubicarnos y orientarnos en cualquier parte de la superficie terrestre, de manera que para representar el mundo real, se utiliza un tipo de coordenadas en el cual la localización de

un elemento está dada por valores de latitud y longitud en unidades de grados, minutos y segundos.

Ahora bien, por latitud se entiende la distancia medida con respecto a las líneas horizontales llamadas paralelos cuyo origen es la línea ecuatorial, mientras que la longitud es la distancia medida con respecto a las líneas verticales o meridianos cuyo origen de referencia es la línea imaginaria conocida como meridiano de Greenwich.

La longitud oscila entre 0 y 180 grados hacia el este, y de 0 a -180 grados en el hemisferio oeste tomando como referencia las líneas imaginarias conocidas como meridianos. La latitud en cambio varía de 0 a 90 grados en el hemisferio norte y de 0 a -90 grados en el hemisferio sur en referencia a las líneas paralelas denominadas paralelos o bien líneas ecuatoriales. El origen de este sistema queda determinado en la intersección entre el ecuador y el meridiano de Greenwich.

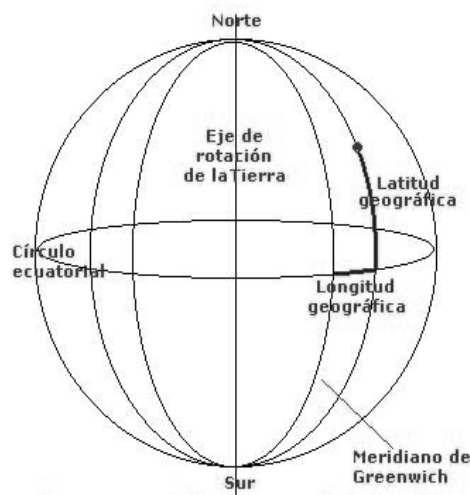


Figura 2.3. Sistema de coordenadas geográficas.

2.5.2 Proyección universal transversal Mercator (UTM)

La proyección UTM es un sistema cilíndrico conforme, tangente al elipsoide a lo largo de un meridiano, que se elige como meridiano de origen. El hecho de ser una proyección conforme significa que las mediciones angulares realizadas sobre su superficie son verdaderas. La proyección está basada en un cilindro que es ligeramente más pequeño que el esferoide y después se desarrolla en forma horizontal. Este método es utilizado por muchos países y se adapta bien especialmente a países grandes próximos al ecuador.

Esta proyección se obtiene de un cilindro de revolución cuyo eje se encuentra en el plano del ecuador, por ser transversa. Los puntos sobre la superficie del esferoide se proyectan sobre la superficie plana. Es fácil pensar que sólo donde el plano corta al esferoide las dimensiones se pueden representar sin deformación.

Como proyección cilíndrica, los meridianos se representan por rectas paralelas igualmente espaciadas y los paralelos son rectas perpendiculares a los meridianos, por lo que se transforma en una cuadrícula.

Como proyección conforme conserva los ángulos. Se caracteriza por que la red de paralelos y meridianos es ortogonal. Presenta la misma deformación lineal en todas direcciones y se conserva las formas elementales.

Si este sistema se aplicase a grandes extensiones en longitud, las deformaciones aumentarían notablemente a medida que el punto a proyectar se alejara del meridiano de tangencia; por ello, la superficie terrestre queda subdividida en 60 husos de 6° de amplitud, con lo que se constituyen 60 proyecciones iguales repartidas por el globo pero referidas cada una al meridiano central del huso respectivo al ecuador y las mediciones realizadas con este sistema estarán dadas en unidades de metros.

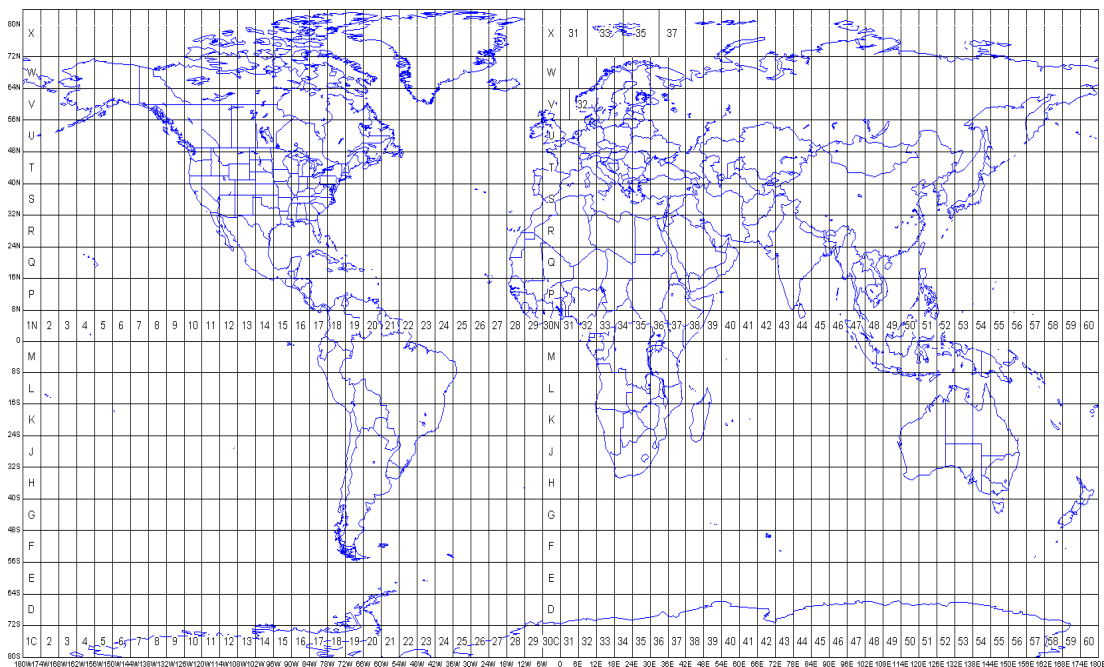


Figura 2.4. Sistema Universal Transversal Mercator (UTM)

2.5.3 Proyecciones cartográficas

La superficie curvilínea de nuestro planeta representa una gran base de datos, mismos que se encuentran en el espacio y es muy difícil poder manipularlos de esa manera, sin embargo, esta se simplificará en gran medida al hacer una representación de toda esa información tridimensional en una superficie esférica o elipsoidal y más aún si esta es transformada a un sistema de dos dimensiones, esto se logra proyectando toda esa información del espacio en un plano de referencia.

La representación de la superficie terrestre sobre un plano tiene grandes ventajas, sin embargo, habrá que tener presente que es imposible representar una superficie esférica o elipsoidal en un plano sin que halla distorsiones en su proyección, este problema puede reducirse en gran medida utilizando correctamente los diferentes sistemas de proyección.

En general se entenderá por proyección cartográfica a la correspondencia biunívoca que existe entre los elementos de una superficie curvilínea tridimensional y su proyección en un plano.

La proyección de algún objeto siempre tiene errores por ello es que utilizamos tres diferentes tipos de proyección según la zona de interés y son; proyección cilíndrica, cónica y polar.



Figura 2.5. Proyecciones cartográficas

2.6 Cómo funciona un sistema de información geográfica

Un SIG funciona mediante la superposición de mapas de información real con diferentes campos temáticos, ya que como se ha descrito anteriormente todas las capas pueden relacionarse por geografía para dar origen a nueva información con características propias. En general estos sistemas funcionan con dos tipos de datos, los datos SIG en formato vectorial y los de formato raster.

La información en formato vector utiliza coordenadas cartesianas para definir un objeto en el espacio, así una vez definida la perspectiva del área de estudio, podrán registrarse las coordenadas de un punto que pueda definir por ejemplo de un sondeo en mecánica de suelos o un poste, a su vez puede definirse una carretera o un río a través de una sucesión de esos puntos, y por supuesto un límite estatal o un lago utilizando un circuito cerrado de puntos, o una sucesión de líneas.

En general puede decirse que el formato vector se utiliza para representar elementos que tienen un límite o frontera perfectamente definido, así que en la mayoría de los casos se tratará de objetos relacionados con la actuación del hombre, aunque existen casos en la

naturaleza que también pueden representarse vectorialmente como puede ser la hidrografía.

La información en formato raster tiene la particularidad de representar el espacio de estudio por medio de matrices integradas por pequeñas celdas denominadas píxeles donde a cada una de ellas se asigna un valor que será representativo de dicha celda en particular, este formato cubre la totalidad de el espacio lo que supone un gran ventaja ya que pueden consultarse valores en cualquier punto de manera inmediata.

Aunque la información raster idealiza al mundo como un conjunto de variables también es posible representar puntos, líneas y polígonos de manera similar al modelo vectorial, por ejemplo se puede representar objetos puntuales mediante celdillas aisladas, una sucesión de celdillas podría describir una línea y un polígono se integraría por un conjunto de polígonos.

Tanto la información en formato vector como la información en formato raster tienen la misma importancia, sólo que tienen características distintas y por ende son utilizadas para resolver diferentes problemáticas. En la figura 2.6 se representa de manera visual la diferencia entre los mapas en formato vectorial y los raster.

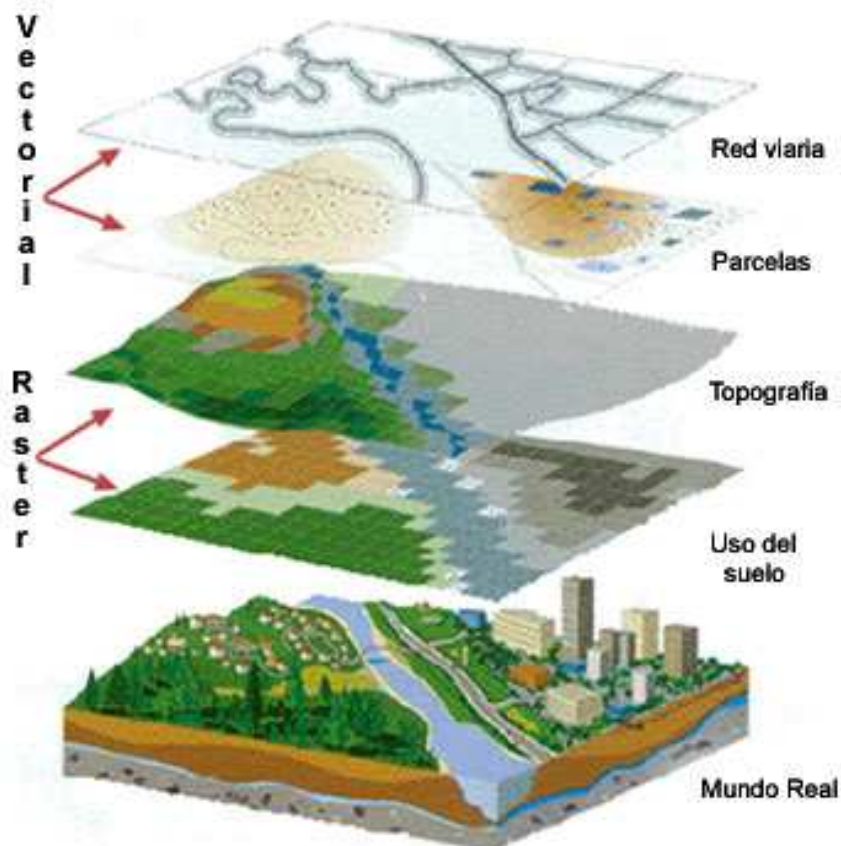


Figura 2.6. Representación de modelos de información vectorial y raster.

2.7 Tareas que desempeña un SIG

Aunque los sistemas de información geográfica resuelven infinidad de problemáticas en muchas disciplinas, en todas ellas se aplican y ejecutan seis actividades en común siendo estas las siguientes.

Entrada y organización de datos

El primer paso, es ingresar toda la información disponible a los ordenadores, para ello habrá que digitalizar la información visual y la alfanumérica tendrá que ser compatible con el lenguaje computacional. De esta manera se consigue reducir los grandes volúmenes de información plasmada en papel en archivos de cómputo lo cual además de hacer más fácil su manipulación tiene la ventaja de conservar los datos en buen estado a diferencia de los almacenados en papel que con el tiempo se deterioran.

Manipulación de datos en formato SIG

Se debe tener especial cuidado en la manipulación de los datos, ya que la información puede encontrarse en formatos distintos, por ejemplo, puede darse el caso de contar con información de mapas a diferente escala, o contar con información que proviene de diferentes proyecciones cartográficas, así que, toda información tendrá que uniformizarse antes de realizar con ella algún tipo de operación.

Administración de la información

La información que se maneja en los SIG puede llegar a abarcar grandes bases de datos, que en ocasiones se necesitara de software especializado en almacenaje organización y administración de dicha información. En la actualidad existen muchos software de tipo SIG que por sí solos pueden administrar grandes volúmenes de información en las llamadas tablas de atributos, y el volumen de información que se administré dependerá de la información que logre conseguirse para la implantación de un sistema en particular.

Búsquedas

Una vez que se ha implantado un SIG y se encuentra funcionando, puede hacerse uso de toda la información disponible en él, por ejemplo pueden hacerse consultas de manera inmediata ya que es una de las grandes ventajas de estos sistemas. Así por ejemplo se pueden responder preguntas como:

- ¿Qué zona es la más apta para ser urbanizada?
- ¿Qué tipo de suelo tiene determinada zona en estudio?
- ¿Cómo se afectará el tráfico al construir una línea del metro?

Análisis

La información que maneja un SIG está geográficamente referenciada esta es una de las grandes ventajas de estos sistemas, ya que a través de el análisis de esta información es posible observar patrones y tendencias del comportamiento de ciertos eventos, también es posible simular distintos escenarios y con ello tomar mejores decisiones.

En la actualidad los SIG tienen poderosas herramientas de análisis, en especial dos muy importantes que son: El Análisis de proximidad y el de superposición.

Análisis de proximidad

Este tipo de análisis se utiliza para resolver cuestiones tales como.

- Cuantas obras se localizan en un radio de 10km de la zona centro del D.F.
- Cual es la vía más cercana a un pozo de agua
- Cual es el banco de materiales más cercano a una presa en construcción

El análisis de superposición

Este tipo de análisis se lleva a cabo la superposición de diferentes mapas con información de distintos campos temáticos, puede ocurrir que lo que se busque obtener sea sólo buenos efectos de visualización para presentar la información, pero en algunos casos será necesario realizar operaciones con la información numérica contenida implícitamente dando lugar a nueva información.

Visualización

Una vez que se obtienen resultados positivos, será necesario presentar la información final en un formato universal que sea fácil de entenderse por personal aún no siendo un experto en el tema, esa es otra de las grandes ventajas de los SIG ya que al presentar la información por medio de mapas y gráficos que son la manera más eficiente de almacenar y comunicar información geográfica.

2.8 Componentes de un sistema de información geográfica

Es importante recordar que los SIG no sólo son un equipo de cómputo y un programa, de hecho aún teniendo esos dos elementos este no podría implantarse, es necesario contar con una buena base de datos así como personal para manipular los ordenadores y una buena metodología, ahora bien, estos elementos además deberán guardar algún tipo de equilibrio entre ellos de otra manera los resultados no podrán llevarse a buen término., es decir, trabajar en conjunto como lo que son, un sistema. Enseguida se dará una breve descripción de cada uno de ellos:

Hardware

Es el equipo de cómputo, el medio físico a través del cual se dará el acceso a información para su posterior manejo. En la actualidad se cuenta con una gran variedad de estos, su operación es relativamente sencilla y es muy común poder tener acceso a ellos. Sin este elemento no podríamos tener comunicación con otro de los componentes del SIG como lo es el Software.

En general las características del equipo de cómputo a utilizar influirán directamente en la capacidad y velocidad de procesamiento de la información así como también de la capacidad de almacenamiento facilidad de uso y tipo de salida.

Software

Son todos los programas de cómputo utilizados para diferentes tareas en este caso el procesamiento de información geográfica. Existen en el mercado gran variedad de estos cada uno con funciones y características propias pero que en general tienen un objetivo

en común, la manipulación de datos para este caso geográficos. Los componentes principales de un software SIG son:

- Interfase que facilita el fácil manejo a los usuarios
- Un sistema de manejo de bases de datos
- Herramientas para manejo y captura de bases de datos
- Herramientas para consulta, modificación y visualización de bases de datos

Datos

Son la materia prima de un SIG y a la vez el componente más importante para llevar a buenos términos nuestra gestión. Recopilarlos puede absorber hasta un 80% del capital destinado a su implementación y este proceso puede demorar un periodo de tiempo muy amplio.

Los datos que utiliza un SIG son de dos tipos; geográficos y alfanuméricos, los cuales pueden adquirirse por medio de algún proveedor, existen en el mercado compañías dedicadas a la comercio de grandes bases de datos, y en el caso de los geográficos pueden ser generados desde cualquier equipo gracias a las tecnologías actuales.

Usuarios

Es evidente que los SIG no pueden generarse y manipularse por sí solos, es ahí donde se hace indispensable la participación de los usuarios quienes llevaran a cabo las tareas necesarias para explotar al máximo los recursos disponibles y generar a partir de ellos una serie de propuestas que puedan satisfacer nuestras necesidades.

Así que para optimizar los recursos se debe contar con personal especializado en el manejo de los SIG de lo contrario la información podría manejarse equivocadamente y tanto el equipo, programas y datos no podrían explotarse a su máxima capacidad.

Metodología

Para que un SIG pueda ser exitoso es necesario haber implementado una buena metodología de trabajo, es decir una estrategia de actividades a seguir una vez ampliando la perspectiva original.

En esta etapa es importante tener clara una estructura, una buena base de datos y un buen diagrama de flujo.

Así es como reunidos los cinco elementos mencionados es posible implantar un sistema de información geográfica que pueda atender una problemática en particular para encontrar soluciones tanto visuales como numéricas.

En la figura 2.7 se muestra un esquema de los cinco componentes que integran un SIG. Es importante aclarar que todos los elementos son necesarios para su ejecución sin embargo en la actualidad los datos son el más importante.



Figura 2.7. Componentes de un SIG

Como consecuencia de la complejidad de este tipo de sistemas y su continua evolución puede observarse desde su origen estos han sufrido modificaciones que en su momento han dado a alguno de sus componentes la debida relevancia durante la implantación de estos sistemas.

En la actualidad los datos son el componente más importante, ya que tanto la disponibilidad como la precisión de estos afectarán directamente los resultados de cualquier análisis. La figura 2.8 representa la importancia de cada componente de un SIG y su tendencia.

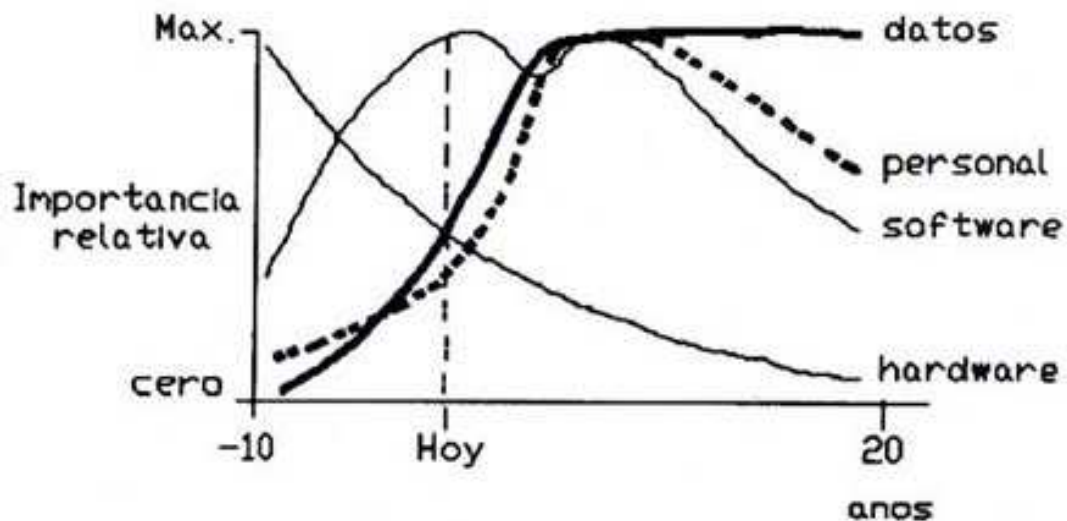


Figura 2.8. Tendencia del desarrollo de los principales componentes de un Sistema de Información Geográfica (D. H. Rhind 1987).

2.9 ¿Qué evaluar en los datos?

Independientemente del origen que tengan los datos que se van a utilizar en un SIG tendrá que ponerse especial atención en la calidad y veracidad de estos atendiendo la problemática en cuestión. Existen siete características que deben considerarse en los datos ya sean tabulares, de imágenes o de atributos y son las siguientes.

- 1) Manejo de distorsión
- 2) Cobertura del área del proyecto
- 3) Obtención de suficiente detalle
- 4) Cuando cuenta el tiempo
- 5) Cuando importa la precisión
- 6) Comprensión de códigos de atributos
- 7) Compatibilidad de formatos

Manejo de distorsión

Durante la implantación de un SIG tendrá que ponerse especial atención en el manejo de los datos, ya que en muchas ocasiones esos datos tienen considerables diferencias, esto se podría deber al tipo de proyección del que provienen y de los actualizados que estén con respecto a algún tema en específico.

Como ya se mencionó existen diferentes tipos de proyección y cada una de ellas arroja errores siempre diferentes, de ahí que tendrá que buscarse que todos los datos tengan su origen del mismo sistema de proyección cartográfica o realizar los procedimientos necesarios para uniformizarlos.

Cobertura del territorio

Cuanto más específicamente se define el área geográfica que necesita ser cubierta, se conocerá con mayor precisión los datos que serán requeridos. Debe ser reconocido que lo que puede parecer como un territorio discreto puede ser sólo una parte de otro más grande requerido. Por ejemplo, los sistemas fluviales como tales no toman mucha superficie terrestre, sin embargo son influenciados e influyen una gran área. De esta forma, para sistemas fluviales tendría que considerarse la cobertura de toda una cuenca.

Obtención de suficiente detalle

El detalle requerido en datos espaciales depende de la información que necesita ser comunicado desde el SIG. Los datos detallados no serían tan estrictos para un mapeo a baja escala. Contrariamente, los datos generalizados no son suficientes para un mapeo a gran escala.

Resulta evidente observar que cuanto más detallado sea un objeto a escala será relativa la cantidad de atributos que contenga. Por ejemplo si se dibujara un río representándolo como un área simple, así se describirá como un todo, en cambio si el mismo río se representara por secciones cada una con sus atributos propios, la información será más detallada.

Cuando cuenta el tiempo

Mientras que características físicas como montañas no sufren cambios a menudo, otros objetos geográficos se encuentran en movimiento constante. Si el interés es la calidad del agua en un río por ejemplo la información que se utilizaría sería lo más actualizada posible. Si en cambio se necesita analizar áreas censales se requerirá conocer los límites territoriales más actualizados, lo mismo aplica para los atributos.

Cuando importa la precisión.

Algunos proyectos requieren de un grado más alto de precisión que otros. Los datos pueden ser suficientemente precisos para un uso, pero en ocasiones se necesitará más detalle de estos. Por ejemplo, si se representara un río por medio de un vector lineal con ciertas características generales, puede ser que para los fines de un ingeniero de puentes esa información sea insuficiente mientras que para un navegante que utiliza el mismo dato puede resultar aceptable como referencia visual.

Comprendiendo los códigos de atributos

Los datos de atributos generalmente se almacenan de manera abreviada en las tablas de atributos, sin embargo, mientras más cantidad de datos se almacenen para un mismo objeto por ejemplo la precisión de su ubicación, la escala, la proyección cartográfica, etc., más facilidad se tendrá al momento de realizar alguna consulta o relacionarse con otros objetos al realizar un análisis.

Compatibilidad de formatos

El soporte de los datos elegido debe tener algún soporte con el SIG seleccionado. Existen en el mercado software SIG que son compatibles con muchos tipos de datos en su formato nativo, es decir, sin conversión.

2.10 Tecnologías relacionadas

Los SIG comparten características con otros sistemas de información, algunos de estos permiten manipular información gráfica y manipulan bases de datos, sin embargo no tienen la capacidad de manejar, analizar y relacionar información geográfica esa es la gran ventaja que tienen los SIG sobre los demás sistemas.

1. Computer aided design (CAD)

Los sistemas asistidos por ordenador, son básicamente herramientas de diseño y su principal cualidad son las funcionalidades gráficas que en sus momentos se explotaron para dibujar mapas, sin embargo, la gran virtud de los SIG con respecto a estos sistemas es la diversidad de datos y grandes volúmenes de información espacial referenciada que pueden manipularse para realizar operaciones de análisis y por supuesto la superposición de mapas con diferentes temáticas.

2. Cartografía automatizada

La cartografía automática es una herramienta que ofrece grandes ventajas en lo que se refiere a imágenes cartográficas de alta calidad, sin embargo existe una

gran diferencia entre un SIG y la cartografía automática y esta es que la cartografía no genera topología en las imágenes, así que podría decirse que se trata solo de un dibujo y por lo tanto su capacidad de análisis queda bastante limitada.

3. Sensores remotos

La detección remota es el arte y la ciencia de hacer mediciones de la tierra desde sensores, tales como cámaras montadas en aviones, satélites y otros dispositivos. Estos sensores recolectan información por medio de imágenes. Estos sistemas proveen capacidades para manipulación, análisis y visualización de imágenes. Sin un fundamentado manejo de datos geográficos y operaciones analíticas por lo cual quedan en desventaja ante los potentes SIG.

4. Sistemas de manejo de bases de datos SMBD

Como su nombre lo indica son sistemas especializados en el almacenamiento y manipulación de grandes bases de datos de cualquier tipo incluyendo datos geográficos. Muchos SIG los utilizan como apoyo, aunque en la actualidad los propios software SIG pueden almacenar por si solos grandes bases de datos. La gran diferencia entre los SIG y los SMBD es que estos últimos no tienen las herramientas analíticas y de visualización de los SIG.

2.11 Demandas que puede responder un SIG

Como se ha visto, los SIG son de gran apoyo en el manejo de información espacial. A través de los mapas un sistema de este tipo puede responder a cinco cuestiones principales que son:

Localización, ¿Qué hay en....?

Es una de las funciones de un SIG que hace referencia a lo que se encuentra en algún lugar determinado de algún mapa. Esta localización puede describirse por distintas formas como puede ser por ejemplo, su topología, algún código postal o alguna referencia geográfica como latitud o longitud.

Así mediante esta función podríamos identificar que hay en alguna zona que sea de interés y al analizar sus características determinar si reúne las condiciones buscadas.

Condición, ¿Dónde se encuentra?

Esta demanda resulta ser inversa a la anterior, es decir, en este caso lo que se conoce son las características concretas de algo que se busca. Esta operación requiere de un análisis espacial mismo que resulta relativamente sencillo utilizando un SIG.

Tendencia, ¿Qué ha cambiado desde....?

Esta demanda involucra a las dos anteriores y su respuesta establece qué diferencias se presentan en un área determinada a través del tiempo.

Distribución ¿qué patrones de distribución existen?

Esta pregunta es más compleja. Se plantea cuando se quiere determinar, por ejemplo, si el cáncer es una causa importante de mortalidad entre las personas que residen en las proximidades de una central nuclear.

Modelización: ¿Qué sucede si....?

Interrogante que se plantea cuando se quiere saber que pasa en un sistema cuando ocurre un hecho determinado, por ejemplo, qué le sucede a un sistema vial si se construye una carretera o que sucedería si se produjese un determinado vertimiento tóxico en la red de suministro de agua potable. Las respuestas requieren, además de la información geográfica, otras informaciones adicionales, como pueden ser determinadas leyes científicas. (Parra, Marulanda, Escobar, 1997)

2.12 Aplicaciones de los SIG

Como se ha mencionado con anterioridad, un sistema de información geográfica puede aplicarse en cualquier disciplina que utilice información que contenga algún tipo de identificador geográfico.

A continuación se describen algunos ejemplos de aplicaciones SIG en distintos campos.

Cartografía automatizada

Una de las grandes aplicaciones de los SIG es la implementación de planos cartográficos digitales, de esta manera es relativamente sencillo poder identificar alguna localidad y sus principales características como área, localización exacta etc. En las entidades públicas se han implementado este componente en la construcción y mantenimiento de planos digitales de cartografía.

Infraestructura

En sus inicios los SIG se emplearon en el desarrollo, mantenimiento y administración de las redes de electricidad, agua, teléfono, alcantarillado, gas, etc., gracias a que almacenan grandes cantidades de información alfanumérica de características y servicios herramienta mediante la cual se pueden realizar análisis de redes.

Demografía

En este sentido pueden realizarse un conjunto de aplicaciones en distintas temáticas pero con una particularidad, la utilización de las características demográficas y su distribución en el espacio para tomar mejores decisiones. Entre sus principales aplicaciones se pueden mencionar visualización de la demografía para la implantación de negocios, creación de fraccionamientos habitacionales, servicios públicos, la zonificación electoral, etc.

El origen de las bases de datos generalmente es por medio de algún organismo en este caso el INEGI, aunque en la actualidad existe en el mercado empresas dedicadas al comercio de grandes bases de datos.

Gestión territorial

Son aplicaciones dirigidas a gestión de ayuntamientos o diputaciones, basadas en la utilización de formatos mixtos vectorial y raster y sirven como apoyo para facilitar las labores de mantenimiento de infraestructura y mobiliario urbano, permiten además la optimización en la realización de trabajos de mantenimiento de empresas de servicios. Ofrecen también la posibilidad de generar de manera automática información geográfica y alfanumérica como cédulas urbanísticas, cédulas catastrales etc.

Medio ambiente

Los SIG se están aplicando al manejo forestal y al estudio de la biodiversidad, haciendo de estos una herramienta fundamental para las corporaciones regionales en la toma de decisiones. El manejo de licencias es un claro ejemplo de esta aplicación.

El SIG se utiliza para ayudar a proteger el medio ambiente, también se puede utilizar para producir mapas, inventarios de especies, medidas de impacto ambiental, caracterización de escenarios entre otras.

Equipamientos sociales

Dirigida a la gestión de servicios tales como servicios sanitarios, centros escolares etc., proporcionan información sobre los centros ya existentes en una determinada zona y ayudan en la planificación de ubicaciones para nuevos centros. Estos sistemas aumentan la productividad de optimizar recurso, ya que permiten asignar de manera adecuada los centros a los usuarios. Utilizados en servicios sanitarios, permiten realizar estudios epidemiológicos relacionando incidencia de enfermedades con el entorno.

Recursos geológico-mineros

Facilitan el manejo de un gran volumen de información generado tras varios años de explotación intensiva, proporcionando funciones para la realización de análisis de elementos puntuales (sondeos o puntos topográficos), lineales (perfiles, tendido de electricidad), superficiales (áreas de explotación) y volúmenes (capas geológicas). Proporcionan además herramientas de modelización de las capas o formaciones geológicas.

Gestión del tráfico

Se utiliza para modelizar el comportamiento del tráfico estableciendo modelos de circulación por una vía en función de las condiciones del tráfico y longitud. Asignando un coste a los nodos o puntos en los que existe un semáforo es posible obtener información muy útil:

Deducir el camino más corto en distancia o en tiempo entre dos puntos o simular el efecto que puede tener un cambio imprevisto en las condiciones normales por ejemplo, cortes por obra, o por alguna manifestación.

Agricultura

El SIG puede ser utilizado en una gran variedad de aplicaciones agrícolas, por ejemplo el manejo de campos de cultivo, el monitoreo de la rotación de cultivos, proyección de

pérdida de suelos y manejo de sistemas de irrigación y en los últimos años se están utilizando imágenes de satélite para inventariar y monitorear los cultivos lo cual permite hacer un análisis de crecimiento de producción o en su defecto realizar predicciones de demanda y abastecimiento, conflictos en el uso del suelo entre muchas otras aplicaciones.

Geología

Gracias a su gran variedad de herramientas es posible visualizar tridimensionalmente las estructuras, la geomorfología el comportamiento de la distribución de depósitos. El análisis de una región ya sea para explotación minera, petrolífera o para reconocimiento previo a la construcción de alguna obra civil son oros ejemplos de aplicación de los SIG.

Hidrología

Un SIG puede usarse para estudiar los sistemas de drenaje, evaluar las fugas de agua, visualizar cuencas hidrográficas entre otras muchas aplicaciones. Estos sistemas permiten desplegar de manera tridimensional la geomorfología del área y de los suelos y revelar como estos juegan un papel importante en la hidrología.

Negocios y mercado

Un SIG es una herramienta para manejar la información de negocios de cualquier género, que sea susceptible de ser georreferenciada. Con el SIG se pueden determinar zonas de venta y distribución, hacer análisis de mercados o ubicar clientes potenciales.

2.13 software SIG existentes en el mercado

Es muy común que los SIG y los programas de cómputo SIG sean confundidos, por lo que resulta importante recordar que este último es sólo uno de los componentes de un verdadero SIG. Ahora bien, para que el manejo de información de un SIG tenga los mejores resultados, es importante elegir el programa de cómputo SIG que mejor se ajuste a las necesidades de un problema.

Existen en el mercado muchos programas de cómputo especializados en SIG, cada uno de ellos con características y funciones propias, pero en general todos los programas manejan información tanto en formato vectorial como ráster. No hay ningún líder entre los programas, algunos tienen muy buenas herramientas para el tratamiento de imágenes de satélite y otras incluyen un amplio rango de módulos para el modelado de evaluaciones estadísticas. Durante el manejo de información generalmente se requiere la participación de más de uno de estos según las características de los datos y aplicaciones.

A continuación se mencionan algunos de los programas de cómputo SIG que son más usuales en el manejo de información espacial.

- **ArcView:** Es un programa de consulta y visualización de mapas vectoriales y ráster. Una de sus grandes ventajas es su potente motor de base de datos el cual permite añadir categorías a los atributos a medida que se visualiza el mapa en pantalla.

- **ArcGIS:** Es la nueva generación de SIG que viene a integrar bajo una misma arquitectura los programas ArcView, ArcEditor y ArcInfo, con multitud de herramientas de análisis consulta y presentación de datos mejorando la toma de decisiones.
- **MapInfo:** Está enfocado al mercado de gestión de mapas aplicado a las empresas, permitiendo realizar análisis sofisticados y detallados para tomar decisiones mas acertadas.
- **Erdas Image:** Es un potente software de tratamiento digital de imágenes, así como un SIG. Fácilmente integrable con sistemas vectoriales como ArcGIS.
- **ERMapper:** Es un avanzado sistema de proceso digital de imágenes, teledetección y composición cartográfica, enfocado a las ciencias de la tierra para integrar, realizar, visualizar e interpretar los datos geográficos.
- **PCRaster:** Es un SIG que consiste en un juego de herramientas para guardar, manipular, analizar y recuperar la información geográfica. Es un sistema basado en formato ráster, sin embargo, la arquitectura del sistema permite la integración de modelos con las funciones de los SIG clásicos.
- **Geomedia:** Utilizado en la captura y manejo de datos espaciales diseñado para trabajar con bases de datos relacionales estándares.
- **GRASS:** Es un SIG usado en el manejo de datos, procesamiento de imágenes, producción gráfica, modelización espacial y visualización de diferentes tipos de datos.
- **SPRIG:** Soporta funciones de procesamiento de imágenes, análisis gráfico, M.D.T., álgebra de mapas consulta a base de daos relacionales, importación de datos, georreferenciación, etc.
- **Miramon:** Permite la edición, visualización y consulta de mapas ráster y vectoriales.
- **Idrisi:** Es un programa adecuado para la visualización y manejo de información tento en formato vectorial como ráster, aunque el análisis está orientado principalmente al uso de imágenes ráster. Además incorpora un sistema de gestión de base de datos que está directamente conectado a los datos vectoriales.
- **GlobalMapper:** Este software permite realizar cálculos de distancia y de área, mezclado de celdas, análisis de espectro y ajuste de contraste entre muchas otras funciones.
- **Surfer:** Es un programa utilizado para crear mapas vectoriales bidimensionales o tridimensionales de variables discretas o continuas, con posibilidad de realizar interpolaciones, elaborar mapas ráster. Sus funciones son limitadas por lo que se considera un software complementario o auxiliar de otros como ArcGIS.

- **Microstation:** Es un sistema C.A.D., que agrupa una serie de programas utilizados como mesas electrónicas de dibujo. Los archivos que utiliza son de tipo vectorial por lo que resulta muy útil en el manejo de mapas de referencia.
- **Autodesk Autocad Map:** Es otro software C.A.D. que trata de integrar estos sistemas de diseño con los SIG. Se puede utilizar para digitalización y cartografiado.

Estos son los programas de cómputo más comúnmente utilizados en el desarrollo de SIG. Además de estos el usuario puede requerir la participación complementaria de otros programas; algunos de diseño como el photoshop, Corel Draw; otros de cálculo y texto como Word y Excel y algunos de programación como Visual Basic, entre otros. Como puede observarse la gran variedad de programas en el mercado puede adecuarse a las necesidades que cualquier problemática requiera.

| 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 - PDAPProject | 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: LGPL |
| MapInfo | Sí | No | Sí | No | Sí | Sí | Software no libre |
| MapServer | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | LAMP/WAMP | Libre: BSD |
| Mapitude | Sí | No | No | No | No | Sí | Software no libre |
| MapWindow GIS | Sí (ActiveX) | No | No | No | No | No | Libre: MPL |
| 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: LGPL |
| GeoStratum | Sí (Flex/Java) | Sí (Flex/Java) | Sí (Flex/Java) | Sí (Flex/Java) | Sí (Flex/Java) | Sí (Flex/Java) | Software no libre |

Tabla 1. Tipos de Software SIG existentes en el mercado

En la tabla 1 se muestra a manera de resumen una tabla que muestra los distintos programas de cómputo más comúnmente utilizados en el desarrollo de SIG. Como ya se mencionó cada uno de estos posee características propias pero en general todos manejan información geográfica.

CAPÍTULO III

3 Usos de los SIG en la ingeniería civil

3.1 Introducción

La esencia de la ingeniería civil se centra en la responsabilidad de concebir y materializar las obras de infraestructura, indispensables para la prestación de servicios públicos: de comunicaciones, de transporte, de agua para las ciudades, industrias y agricultura; de la energía, edificación para la vivienda, el comercio, la industria, la salud, la educación y el turismo; y en los últimos lustros preocupada y ocupada en la preservación del medio ambiente. Sin embargo, su labor es tan compleja que cada una de las problemáticas a las que se enfrenta tendrá características propias, similares en concepto, pero completamente diferentes en ejecución, siempre con la necesidad de tomar decisiones a corto plazo y la constante actualización y consulta de información, todo ello tanto en campo como en oficina.

Llevar a buenos términos las gestiones de infraestructura es una tarea muy complicada, ya que para dar solución a la infinidad de problemáticas que se presentan en este campo es necesario interactuar simultáneamente con distintos tipos de información generándose enormes bases de datos. Para resolver esta problemática la ingeniería se apoya en algunas de las tecnologías disponibles en la actualidad, tecnologías que pueden contribuir en la búsqueda de soluciones a las complejas labores a las que se enfrentan los profesionales de la construcción.

En los últimos años, los Sistemas de Información Geográfica han demostrado ser una valiosa herramienta de apoyo en la toma de decisiones, dando solución a problemáticas relacionadas con las distintas áreas de la ingeniería. En general, son sistemas diseñados para capturar, almacenar, procesar y presentar en todas sus formas, volúmenes importantes de información, geográfica.

En la actualidad hay muchos campos de la ingeniería civil donde los Sistemas de Información Geográfica están siendo empleados como herramienta para analizar, diseñar e implementar soluciones efectivas y eficientes. En este sentido las aplicaciones de los SIG en la ingeniería civil se han desarrollado en materia de hidrología, recursos hídricos, el transporte, topografía, medio ambiente, por mencionar algunos. En todos los casos los SIG se utilizan para facilitar el análisis de ingeniería, modelado, diseño, implementación, gestión y finalmente la toma de decisiones.

El presente trabajo subraya la necesidad de incorporar las tecnologías SIG en materia de ingeniería civil como herramienta que apoye en las labores de diseño ejecución y monitoreo de las grandes obras de infraestructura.

Así se presentarán los conceptos necesarios para el uso que puede darse a los SIG dentro de principales áreas de estudio de la ingeniería civil, siendo estas; uso en hidráulica, uso en la geotecnia, uso en la rama de la construcción, uso en la zonificación sísmica, uso en la ingeniería sanitaria y ambiental y por último el uso de estos sistemas en sistemas transporte.

3.2 Uso de los SIG en la hidráulica

Uno de los mayores retos a que se enfrenta la ingeniería civil en la actualidad es sin duda el tema del agua. Por una parte atendiendo los beneficios de su correcto aprovechamiento y por otro intentando dar solución a los incontables daños que esta genera.

La ingeniería hidráulica es la disciplina responsable de crear las obras de infraestructura que satisfagan las necesidades de una población. Para ello hace uso de sus conocimientos e ingenio aplicando todas las herramientas y tecnologías disponibles. En general existen métodos matemáticos tradicionales empleados en resolver dichas problemáticas. Sin embargo, en los últimos años, las tecnologías SIG están siendo aprovechadas para el diseño, ejecución, operación y mantenimiento de las diferentes obras hidráulicas. La mayor parte de las aplicaciones hidrológicas llevadas a cabo en los SIG son evaluaciones de riesgos naturales y estudios de localización. En ambos casos existe cierta similitud, pero en realidad disponen de un tratamiento diferente.

En los estudios de localización de actividades, las condiciones para la implantación de SIG son conocidas, mostrando grandes ventajas para sondear con rapidez zonas apropiadas o desfavorables para la ejecución de alguna actividad. En cambio, en las evaluaciones de riesgos naturales, se ejecutan operadores aritméticos más complejos. A continuación se hará referencia de algunos casos típicos de utilización de los Sistemas de Información Geográfica en la ingeniería civil en el área de la hidráulica.

Modelizaciones hidrológicas

Realizar la caracterización hidrológica de una cuenca es una tarea muy compleja, en algunos casos debido a la carencia de datos, otros más por registros incompletos de los mismos o en algunos, por la complejidad para conseguir sus registros.

En general, cada microcuenca, poseerá características particulares que la diferencian del resto de su entorno, pero entre ellas, existe cierta relación en lo referente a cuestiones hidrológicas, como precipitación, escurrimiento, infiltración, entre otros.

Los datos antes mencionados, son utilizados en la realización de las modelaciones hidrológicas, buscando generar nuevas variables, como caudales, pérdida de suelo o de precipitación, empleando para ello algunas técnicas y metodologías ya establecidas.

En algunas cuencas la cantidad de información es tan grande y compleja que en ocasiones la aplicación tradicional de fórmulas resulta difícil o en algunos casos impracticable. En este sentido, la metodología de los Sistemas de Información Geográfica (basada en la relación de mapas con distintas temáticas) permite realizar este tipo de modelaciones.

En ingeniería civil, estas modelaciones hidrológicas son de gran apoyo en la simulación de ciertos eventos, en particular, son muy útiles cuando es necesaria la representación espacial de redes de drenaje.

- *Localización de potenciales embalses con fines de riego y generación de energía eléctrica*

La ubicación de un embalse debe localizarse sobre el cause de un río, exactamente en una zona que reúna ciertas características. En primera instancia, se busca un embalse que topográficamente permita la formación de un vaso de almacenamiento (una vez construida la cortina). Otro de los aspectos a considerar en la localización de un embalse es sin duda que su construcción tenga el mínimo impacto ambiental sobre la zona en cuestión y finalmente que dicha ubicación sea tal que, minimice los efectos negativos en actividades humanas, sociales o culturales.

Como cada uno de los embalses posee características propias, habrá que evaluar particularidades en cada uno de ellos para determinar el más adecuado. Además de las condiciones antes mencionadas, la distancia a las zonas de aprovechamiento es uno de los factores que determinarán la mejor ubicación del caudal. De esta manera, una vez definido el embalse podrá realizarse un estudio a mayor detalle que incluya un modelo a escala que permita evaluar su factibilidad económica. Para el caso de los embalses con mayor potencial también pueden realizarse estudios a detalle con fines de aprovechamiento eléctrico.

Conjugar todos esos criterios para una evaluación preliminar de posibles ubicaciones de embalses puede realizarse mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica que permita estudiar la ocurrencia espacial de los condicionantes y en base a la superposición de mapas jerarquizar la viabilidad de las posibles ubicaciones.

De esta manera, siguiendo con la mecánica del ejemplo anterior y con el apoyo de las capas temáticas necesarias y los datos disponibles en formato SIG puede crearse un

mapa que permita definir de manera visual y cuantitativa las características propias, ventajas y desventajas de posibles embalses con fines de riego y/o generación de energía eléctrica.

Con el empleo de estos sistemas también es posible realizar evaluaciones acerca de la estabilidad de presas, como ejemplo, la Comisión Federal de Electricidad apoyándose en los SIG realizó el estudio de estabilidad de la presa Tepuxtepec (Michoacán) para conocer la configuración topográfica del fondo de la presa, identificando a su vez la profundidad del tirante de agua y el ángulo del talud, con lo cual se podrá calcular la altura de azolve existente en la zona cercana a la cortina. La altura del azolve sirve de referencia para calcular las presiones hidrodinámicas a las que está sometida la cortina debido al empuje provocado por este.

- *Determinación de zonas de riesgo de inundación*

Las inundaciones son uno de los mayores desastres naturales de los que se tiene referencia, debido a que estas son causa de incalculables pérdidas materiales y sobre todo humanas. El impacto de un desastre de tales magnitudes crea la necesidad de predecir o simular de alguna manera su comportamiento con la finalidad anticiparse a estos eventos o en su defecto contar con las bases necesarias para tomar decisiones importantes ante el impacto de un desastre, buscando disminuir las pérdidas antes mencionadas.

En este marco, los SIG son herramientas de gran apoyo a los métodos de evaluación existentes ya que, la implantación de un sistema de este tipo, proveerá de una mejor perspectiva ante un desastre a nivel espacial tomando en cuenta la administración y evaluación del riesgo ante tales eventos, es decir, ayuda a cuantificar los daños ocasionados permitiendo contar con bases en la toma de decisiones sobre el uso de suelo. Por ejemplo, en zonas aledañas a un río.

La magnitud de las pérdidas debidas a inundaciones y su distribución en un mapa de inundación dependen de tres factores, hidrológicos, de uso de tierra y de asentamientos humanos. Los factores hidrológicos encierran características propias de la inundación tales como, profundidad de la inundación, duración de la lluvia que ocasiona la inundación, arrastre de sedimentos entre otros. Por su parte los usos de tierra se refieren a tipo, uso y valor de la zona afectada. Por último los factores humanos son básicamente medidas preventivas dirigidas hacia la población que habita las zonas consideradas en riesgo.

En general, la aplicación de estos sistemas en la determinación de zonas de riesgo por inundaciones ofrece a los ingenieros civiles grandes ventajas como pueden ser.

El ahorro de tiempo y recursos, comparando el empleo de estos sistemas automatizados con los métodos de trazado manual, considerando la posibilidad de realizar distintos escenarios probables o deseados para una mejor toma de decisiones.

Ofrecen una manera dinámica e interactiva para trabajar los distintos parámetros hidrológicos e hidráulicos generando mapas de inundación espacialmente georreferenciados, integrando en ellos grandes cantidades de información para posible consulta o actualización de la misma.

Capacidad de relacionar simultáneamente todos los campos que se crean necesarios en capas temáticas que pueden interactuar tanto visualmente como numéricamente generando nueva información acerca de alguna zona en estudio.

Creación de modelos tridimensionales a partir de la información geográficamente referenciada para conocer a detalle las características de un terreno y tomar medidas de uso de suelo en la zona.

Así se puede concluir que la utilización de los Sistemas de Información Geográfica permitirá a los ingenieros civiles contar con una herramienta que les permita mejorar su visión en un contexto espacial ya que puede asistir en la toma de mejores decisiones en los distintos campos de la hidráulica.

3.3 Usos de los SIG en geotecnia

La cimentación de una obra (sin importar la magnitud de esta), no se realiza sin estudiar seriamente el subsuelo. Los mapas geológicos proporcionan una primera indicación, sin embargo, para que el estudio tenga sustento, habrá que realizar pruebas tanto en laboratorio como en campo. (Henri Cambefort)

La geotecnia es la rama de la ingeniería civil que se encarga de estudiar las propiedades del suelo que conforma las diferentes zonas de la superficie terrestre, tanto de manera superficial como profunda. Su finalidad en materia de ingeniería civil, es proporcionar las bases para lograr la mejor interacción entre un suelo y una estructura.

Tradicionalmente un estudio geotécnico requiere tanto pruebas de campo como de laboratorio, para definir las propiedades de un suelo con fines ingenieriles. Información que para fines de registro y posterior consulta es plasmada, una parte en mapas y otra en hojas de información descriptiva y numérica.

Los mapas geotécnicos, constituyen un método en la ingeniería geológica para presentar cartográficamente información geológico-geotécnica con fines de planificación, usos de territorio, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería; aportan datos sobre las características y propiedades del suelo y del subsuelo de una determinada zona para evaluar su comportamiento y prever los problemas geológicos o geotécnicos.

Los datos incluidos en los mapas geológicos (topografía, relieve, litología, estructura, etc.) permiten deducir información valiosa sobre las propiedades de los materiales pero las descripciones geológicas no son suficientes para su aplicación en geotecnia. Para ello, los mapas geotécnicos deben considerar aspectos como:

- Topografía y Toponimia
- Distribución y descripción litológica de las unidades geológicas
- Espesor de suelos, formaciones superficiales y rocas alteradas
- Discontinuidades y datos estructurales
- Investigaciones previas existentes
- Riesgos Geológicos

Así es que, indudablemente, existen muchas zonas donde con anterioridad se han realizado pruebas para conocer las características de un suelo, es decir, existe

información que pudiera ser reutilizable en posteriores estudios. Sin embargo, existe un gran inconveniente al tratar de consultarla debido a que esta se encuentra plasmada en mapas de papel y almacenada en cajas, lo cual resulta ser en la mayoría de los casos una tarea muy difícil y poco práctica.

- *Uso de los SIG en la digitalización y almacenaje de información*

Como uno de los primeros usos, un Sistema de Información Geográfica, permite realizar la captura y almacenaje de los grandes volúmenes de información que se encuentran en papel. En el caso de la cartografía, se procede a realizar su digitalización y georreferenciación para su ingreso a un ordenador. Simultáneamente a este proceso, se realiza la captura y almacenaje de su correspondiente información en formato alfanumérico, en sus correspondientes tablas de atributos. Ambos formatos de información guardan entres si una relación, es decir, cada capa o mapa, contendrá su correspondiente tabla de atributos con la información disponible acerca de un tema, en este caso, información de suelos. De esta manera, pueden relacionarse los distintos campos de manera práctica por medio de un ordenador, mejorando algunas de las aplicaciones de estos sistemas en el manejo de información, incrementando la capacidad de respuesta de las tareas que se realizan cotidianamente.

El empleo de los SIG para el tratamiento y análisis sistemático de información tiene por finalidad principal la zonificación y clasificación del territorio en base determinados criterios, según los objetivos de los mapas, por medio de la superposición de estos con información variada. De esta manera la participación de los Sistemas de Información Geográfica en materia de geotecnia permite a los ingenieros contar con una herramienta de apoyo en la simplificación de tareas que de otra manera resultarían impracticables.

En términos generales el empleo de SIG geotécnicos permite entre otras cosas:

- El tratamiento y análisis automático de datos
 - Obtención de mapas de elementos temáticos
 - Almacenamiento de importantes bases de datos
 - La simulación de modelos tridimensionales
 - Realizar una evaluación preliminar del tipo de suelo, principalmente en etapas de anteproyecto
 - Conocer y consultar y consultar las posiciones de registro de datos
 - Mejorar el levantamiento de planos
 - Corregir, actualizar y reutilizar los datos en múltiples ocasiones
 - Mantener la calidad de la información gráfica, es decir, esta no se deteriora con el paso del tiempo como sucede con la cartografía tradicional
- *Uso de SIG en control de amenazas por deslizamientos de terreno en zonas montañosas*

Los deslizamientos de tierra en laderas, son un problema muy frecuente asociado principalmente a factores como; pendientes pronunciadas, orientación de fracturas o grietas, topografía, actividad sísmica, erosión, lluvias intensas, permeabilidad y vegetación. Con frecuencia son causa de daños en infraestructura, principalmente carreteras y asentamientos humanos irregulares. En 1974, uno de los deslizamientos de tierra más grandes de la historia ocurrió en el valle del río Mantaro en los Andes del Perú (Huitchison and Koga, 1975). Una laguna temporal fue formada cuando el deslizamiento

represó el río Mantaro causando la inundación de granjas, tres puentes y alrededor de 20km de carretera causando el deceso de 500 personas aproximadamente. Este desastre es un ejemplo del potencial destructivo de los deslizamientos de tierra y del por que son considerados entre los peligros naturales.

La importancia de ubicar zonas que sean susceptibles a deslizamientos de terreno es de gran valor en la planeación de proyectos de infraestructura. Los mapas de susceptibilidad de deslizamientos son una práctica herramienta en la planificación tanto de asentamientos humanos como vías de comunicación, cuyo sustento entre muchos otros factores es el estudio y conocimiento del suelo. Por medio de estos se pueden desarrollar proyectos de inversión que eviten, prevengan o mitiguen significativamente los efectos de un evento de estas magnitudes.

Los SIG representan una importante alternativa en el desarrollo de mapas de susceptibilidad, ya que por medio de ellos, es posible crear distintos escenarios de falla referidos a zonas que se determine sean susceptibles a deslizamientos.

En general, los mapas SIG de susceptibilidad a deslizamientos, se pueden usar como herramienta para identificar áreas de terreno mejor caracterizadas para el desarrollo de infraestructura, examinando el riesgo potencial de los deslizamientos.

- Uso de los sistemas de información geográfica para representación de sondeos geotécnicos SIG-SG

Los sondeos geotécnicos son una de las pruebas que mejor describen el subsuelo de alguna zona determinada, se caracterizan por ser de pequeño diámetro y relativa facilidad de registro. Estas pruebas pueden alcanzar profundidades de 150 m, y los procesos de perforación dependen de la naturaleza del terreno y del tipo de muestreo realizado o a realizar.

Mediante el empleo de un Sistema de Información Geográfica, puede llevarse un registro de sondeos realizados en alguna zona en particular sin importar el procedimiento utilizado en su obtención, ya que, todos los registros sin excepción contendrán algún identificador geográfico espacial que determinará su posición en el espacio.

De esta manera, se puede realizar un análisis del tipo de suelo en alguna zona, gracias a las ventajas de estos sistemas, por ejemplo, basados en la información registrada se puede realizar la representación espacial de la estratigrafía de una zona, realizar un reconocimiento preeliminar de esta con fines ingenieriles, realizar simulaciones tridimensionales y representación de los escenario posibles o deseados.

3.4 Uso de los SIG en la rama de construcción

La rama de la ingeniería civil que se encarga de la ejecución física de las obras de infraestructura es la construcción, su función es tanto operativa como administrativa y es la responsable de verificar que se lleven a cabo y en los mejores términos, todas las actividades y especificaciones de alguna obra civil en particular y sobre todo esta es una de las ramas que requiere de la constante toma de decisiones tanto en campo como en gabinete. Ahora bien, las enormes cantidades de información que se generan durante la planeación, ejecución y mantenimiento de cualquier obra de infraestructura son muy

variadas y complejas. Administrar esos grandes volúmenes de datos representa un enorme grado de complejidad ya que con frecuencia es necesario realizar modificaciones en lo referente a sus especificaciones.

Un Sistema de Información Geográfica resulta ser una excelente alternativa en el manejo de esas grandes bases de datos, ya que como se ha mencionado, es capaz de capturar, almacenar, analizar y presentar grandes volúmenes de información siempre que esta contenga alguna característica geográfica. La metodología de este tipo de sistemas considera entre otros aspectos, aproximar los datos a las informaciones, las informaciones a las decisiones, las decisiones a las acciones, y las acciones a los mejores resultados.

Así mediante el empleo de un SIG es posible manipular la información de alguna obra de ingeniería, por lo que puede considerarse como una herramienta de gran apoyo para analizar, consultar o modificar un proyecto, pero sobre todo como una sólida base para la toma de decisiones. Por ejemplo a través de un SIG pueden monitorearse obras en planes, en ejecución o en mantenimiento, haciendo que estos proyectos tengan un importante beneficio en cuanto a costo y tiempo.

Con relación al seguimiento de obras un SIG puede manipularse por los responsables y supervisores de obra siendo que son estos quienes requieren información verificando el correcto desarrollo de las actividades programadas, así como el cumplimiento de la normatividad, para de ser necesario hacer las modificaciones o actualizaciones pertinentes.

De este modo puede decirse entonces que un modelo de gestión aplicado a obras civiles mediante un SIG, deberá tomar en cuenta la necesidad de operar de acuerdo a un buen plan de desarrollo, lo cual sugiere que un SIG nunca se termina, pues es un esquema de trabajo y no una simple tarea por lo que este debe ir adecuándose según los cambios que incurran en la organización. Así pues, un SIG implementado permite tener acceso de información así como búsqueda selectiva de datos de manera eficiente, rápida y actualizada de las edificaciones consideradas en alguna zona de estudio.

Entre los principales objetivos que puede cumplir un SIG en la gestión de obras de infraestructura de manera que haga más eficientes las actividades tanto administrativas como operativas se pueden mencionar las siguientes.

- Generación de distintos escenarios, lo que representa una gran ventaja tanto en la planeación como en la toma de decisiones.
- Consulta y actualización de información siendo esta visual como alfanumérica.
- Optimización de los recursos

Entre los principales usos de los Sistemas de Información Geográfica en el área de construcción se encuentran los siguientes.

- Uso en movimiento de tierras. Una de las actividades a realizar previo a la construcción propia de alguna obra como una presa, una carretera, un aeropuerto, etc., es el movimiento de tierras. Con el apoyo de un SIG es posible realizar el cálculo aproximado de volúmenes de material que serán desplazados a partir de un modelo digital del terreno.

- Uso en relación costo hora máquina. En grandes obras como presas y autopistas es necesario ubicar bancos de materiales que sean competentes y que además se encuentren cerca de la zona de construcción para ser utilizados como material de rellenos. Desplazarlos del lugar de origen a la zona de obra implica importantes costos en lo referente a consumos hora-máquina. Un SIG puede identificar la ruta más corta entre un banco de materiales y una zona de obra, con lo cual se minimiza en gran medida el coste hora-máquina.
- Uso en administración de actividades. Con un SIG es posible crear un mapa de todas las obras que se estén desarrollando en alguna zona de interés y llevar un monitoreo del avance y las actividades en cada una de ellas, así como la ubicación de los proveedores de insumos que se localicen cerca de cada una de estas.
- Uso en identificación y trazo de caminos de acceso. Una de las actividades a realizar previo a una obra es identificar y crear los caminos de acceso, por donde se hace evidente ingresarán maquinarias, materiales y trabajadores. Por el manejo espacial de la información, un SIG resulta ser una eficaz herramienta para localizar las rutas de acceso más adecuadas.

En general las aplicaciones de un SIG en el ámbito de la construcción son una herramienta muy útil por su capacidad de interacción entre usuario y ordenador, es así como su participación puede intervenir desde la planeación nuevas obras hasta el mantenimiento y o mejoras de las ya existentes.

Es importante subrayar que un SIG no es una herramienta que necesariamente sustituya los métodos tradicionales, más bien es una herramienta que puede interactuar con otros procedimientos ya existentes para optimizar al máximo los recursos ya que esta es una de las tareas principales de los ingenieros civiles.

3.5 Uso de los SIG en la zonificación sísmica

Como se ha mencionado, es posible aplicar los SIG en las distintas ramas de la ingeniería civil tanto para planificación, como en ejecución y monitoreo de las diferentes obras de infraestructura, siendo de gran utilidad para los ingenieros civiles. Sin embargo, la aplicación más importante de estos sistemas tal vez resulte ser la identificación de zonas de riesgo ante la presencia de amenazas naturales, ya que por obiedad todas las obras de infraestructura se encuentran siempre a merced de eventos como inundaciones, actividad volcánica, huracanes, tsunamis, deslizamiento de terrenos y por su puesto sismos.

Los efectos devastadores que tienen los fenómenos naturales sobre las obras de infraestructura y la población, son una de las manifestaciones más impactantes a las que el hombre debe hacer frente desde hace ya varios siglos. En algunos casos los efectos devastadores de ciertas acciones naturales lograron ser mitigados utilizando las tecnologías disponibles hasta el punto de aminorar en gran medida sus efectos.

A pesar de ello, aún en la actualidad, no existe ningún método que pueda predecir tanto en ocurrencia como en magnitud la presencia de un sismo. En este apartado se acentúa la participación de los SIG en la zonificación sísmica, dada la influencia devastadora de estos eventos sobre las diferentes estructuras.

Aunque en términos generales, un sismo puede deber su origen a explosiones, vulcanismo, deslizamiento de material, etc., para la ingeniería civil son de especial interés los sismos ocasionados por movimientos tectónicos ya que estos resultan ser la principal causa de daños en las obras de infraestructura, daños que van desde simples agrietamientos hasta el colapso de grandes obras de ingeniería.

Para entender un poco mejor la importancia de los sismos y sus efectos sobre las estructuras, es necesario tener claros algunos conceptos como son; amenaza, vulnerabilidad y desastre; la primera de ellas es la probabilidad de ocurrencia de un sismo, por su parte la vulnerabilidad es una medida de cuán susceptible es un bien expuesto ante fenómenos perturbadores, y finalmente un desastre resulta ser el parámetro de medición de los efectos de alguna amenaza ante bienes vulnerables, es decir, bienes materiales o humanos que se encuentren en riesgo. La evaluación del riesgo, es un primer paso para su prevención, minoración y gestión.

En términos generales la evaluación del riesgo es una tarea multidisciplinaria en la cual es necesario considerar una gran cantidad de factores que afectan distintas ramas de la ciencia, la tecnología, la sociología, la economía y la gestión.

Para diseñar de manera efectiva planes de emergencia y definir medidas correctoras que ayuden a controlar y reducir el riesgo existente, es indispensable disponer de escenarios de riesgo de las zonas más propensas a estos eventos, sobre los cuales debe realizarse una correcta identificación de las obras más vulnerables y de aquellas áreas críticas que requerirán mayor atención. Dichos escenarios apoyan en la mitigación de riesgos así como en la creación de planes de emergencia para reducir las pérdidas que puede ocasionar un fenómeno sísmico desde el punto de vista, tanto físico, como social y económico.

Antes de la disponibilidad tecnológica de los ordenadores, los análisis de riesgo se realizaban utilizando técnicas un tanto rudimentarias como la superposición manual de mapas de los distintos campos temáticos para identificar por ejemplo, polígonos de lugares aptos para la construcción. Técnicas analógicas de este tipo, sin embargo, tienen fuertes limitaciones para el análisis de riesgos debido que se limitan solo a la superposición de un cierto número de mapas.

Como tal, el método resulta ser insuficiente para el manejo de grandes volúmenes de información y más aún para realizar operaciones espaciales más sofisticadas.

En la actualidad los SIG constituyen un una avanzada herramienta de apoyo en la toma de decisiones, que debe emplearse en los estudios de riesgo, particularmente en la creación de diferentes escenarios en las zonas en las cuales se hace imprescindible la gestión de una gran cantidad de información espacial y temática.

La zonificación sísmica logra resumir el gran número de observaciones provenientes de las estaciones sismológicas, proporcionando las características de los terremotos que podrían ocurrir en un futuro. El resultado principal de una zonificación es uno o más mapas que muestran una cantidad relacionada con la frecuencia y la magnitud o la intensidad esperadas provocadas por un posible sismo. Estos valores son útiles para el diseño de estructuras que sean capaces de resistir dichos eventos.

La confección de los mapas de amenaza es una tarea difícil si se tiene en cuenta el gran número de cálculos que se requiere. Los Sistemas de Información Geográfica, facilitan en gran medida la elaboración de esos mapas gracias a su gran capacidad tanto de almacenaje como por su particularidad para relacionar objetos en el espacio. En relación a los sistemas estructurales es posible darle los siguientes usos:

- Estudio de peligrosidad sísmica
- Análisis de la exposición del Sistema Urbano
- Estudio de vulnerabilidad de los edificios actuales
- Estudio de vulnerabilidad de los monumentos y edificios históricos
- Estudio de vulnerabilidad de las diferentes líneas y redes de servicios
- Escenarios de riesgo sísmico

Como se ha venido mencionando un SIG no es una herramienta que intente sustituir los métodos tradicionales, más bien es una novedosa alternativa que tiene muchas cualidades en el manejo de información y por supuesto, tiene también sus limitantes.

En términos generales es una poderosa herramienta que facilita el manejo de la información tanto gráfica como alfanumérica y que sin duda resulta ser de gran apoyo en la toma de decisiones, situación que es una constante en la ingeniería civil.

3.6 Uso de los SIG en ingeniería sanitaria y ambiental

En el marco de la ingeniería civil, la ingeniería sanitaria y ambiental posee la capacidad de planear, diseñar, calcular, ejecutar, evaluar y administrar obras y proyectos encaminados a satisfacer las necesidades de servicios como abastecimiento de agua para consumo humano, tratamiento de aguas residuales, domésticas e industriales. Simultáneamente tiene la responsabilidad de evaluar los efectos negativos que pudiera generar alguna obra de infraestructura para ofrecer alternativas que minimicen dicho impacto sobre la naturaleza. Para ello hace uso de todos los recursos disponibles con el fin de lograr las mejores soluciones.

La tecnología de los SIG, como ya se ha mencionado tiene un amplio campo de acción en las distintas áreas de la ingeniería civil. En este apartado se ejemplifican los beneficios de estos sistemas en gestiones ambientales.

- *Impacto ambiental*

Durante mucho tiempo ha sido cuestionada la participación de la ingeniería civil en el deterioro del medioambiente, bajo el argumento de que cada obra de infraestructura que se genera pudiendo ser esta, alguna presa, carretera, puente, puerto, etc., causa perjuicios ecológicos durante sus construcción. Sin embargo, siempre ha quedado demostrado que los beneficios de una obra de ingeniería son muy superiores que los citados perjuicios. Ahora bien, durante mucho tiempo se trabajó bajo esta concepción, pero afortunadamente desde hace ya varios años los estudios de impacto ambiental se encargan de diseñar las mejores soluciones para reducir al máximo los daños a algún ecosistema permitiendo que se lleven a cabo grandes proyectos de infraestructura en beneficio de la sociedad.

Para poder llevar a cabo un buen estudio de impacto ambiental, será requisito indispensable saber qué tipo de obra se va a realizar, cómo y donde. Sin duda esto genera un importante volumen de información misma que habrá que relacionar entre sí para determinar que tan factible o negativa resultará su ejecución.

Dada la importancia que tiene un estudio de impacto ambiental se hace imprescindible contar con una herramienta que pueda relacionar de manera simultánea diferentes tipos de información como pueden ser, de población, cuerpos de agua, flora y fauna, tipo de suelo, etc. Por el carácter geográfico de la información, un SIG resulta ser una herramienta muy útil en la realización de un estudio de este tipo, ya que como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, mediante la utilización de estos sistemas, es posible relacionar simultáneamente la información que se crea necesaria tanto de manera gráfica como numérica para crear escenarios probables, deseados o no y con base en ello la tomar la mejor decisión.

Un SIG puede apoyar a un estudio de impacto ambiental basado en información ya sea en formato vectorial, raster o ambos, en actividades como las siguientes:

- Identificación de cuerpos de agua contaminados y fuentes de contaminación
- Localización de zonas de reserva ecológica
- Localización de zonas de yacimientos arqueológicos

Por mencionar sólo algunas. La localización de este tipo de zonas es de vital importancia ya que su ubicación puede cambiar las características de una obra civil cancelarla o si existe dejarla inactiva.

- *Agua potable y alcantarillado*

Para abastecer de agua potable a una comunidad siendo esta rural o urbana, es necesario realizar un complejo sistema de abastecimiento, iniciando con la ubicación física de una obra de toma, seguido de la ubicación estratégica tanto de una planta potabilizadora y un tanque de regularización y finalmente el trazo de una red de distribución todo ello procurando optimizar al máximo los recursos, tanto naturales como económicos.

Esquemáticamente, tanto redes de agua potable como de alcantarillado pueden representarse básicamente de líneas y nodos asociadas a tuberías y puntos de distribución, y las fuentes de abastecimiento o descarga, plantas de potabilización y tanques por medio de polígonos. El carácter de la información tendrá asociada alguna característica geográfica como identificador y su formato en el lenguaje SIG es para este caso es vectorial. Así es como con el apoyo de un SIG pueden desarrollarse las siguientes actividades de un proyecto de este tipo.

- Permite medir la cobertura de agua potable en zonas rurales
- Cálculo de la población de proyecto
- Localización del cuerpo de agua que hará las funciones de obra de toma
- Ubicación estratégica de planta potabilizadora y tanque de regularización
- Ubicación exacta de las válvulas a lo largo de todo el sistema
- Administración e inventario de todas las actividades

Por su parte, las redes de alcantarillado son las encargadas de conducir tanto aguas residuales como pluviales hasta un cuerpo de agua (pasando por un tratamiento previo), siendo estas últimas tan variables que sus gastos extraordinarios causan constantes fallas en los sistemas de alcantarillado, haciendo necesaria la utilización de las tecnologías actuales para realizar simulaciones y escenarios de falla en alguna red de drenaje que se crea vulnerable o que ya halla fallado para proponer soluciones en periodos de tiempo cortos.

En general, los SIG son una tecnología que en los últimos años es pieza fundamental en el desarrollo y solución de proyectos de infraestructura, siendo estos aplicables a todas las ramas de la ingeniería civil, así es que, es claramente aplicable a proyectos de alcantarillado apoyando en las siguientes cuestiones.

- Localización y monitoreo de las plantas de tratamiento de aguas residuales
- Ubicación de los cuerpos de agua candidatos a ser receptores de aguas tratadas.
- Simulación de distintos escenarios de falla de las grandes redes de drenaje
- Realizar un análisis de ubicación de redes existentes

En ambos casos, la finalidad de un SIG es proveer una herramienta de análisis tanto gráfico como numérico, para crear modelos que puedan ser utilizados en múltiples ocasiones para distintos fines.

3.7 Uso de los SIG en sistemas de transporte

Para que un país pueda tener un el desarrollo humano, social y económico sustentable, se necesita, entre muchas otras cosas, un sistema integral, eficiente, seguro y de alta calidad de infraestructura y operación de los transportes, carretero, ferroviario, aéreo, marítimo, multimodal y urbano que esté en proceso de mejora continua.

Para lograrlo, es indispensable la participación intensiva de la ingeniería civil aplicando su capacidad tecnológica para planear, diseñar construir, conservar y operar todo tipo de infraestructura. En este apartado se ejemplificarán los usos de las tecnologías aplicadas a los sistemas de transporte específicamente el caso de los SIG como herramienta de apoyo en el desarrollo de estos sistemas en materia de ingeniería civil.

El transporte, como fenómeno social, posibilita la articulación e integración territorial así como el intercambio de bienes e ideas entre poblaciones. Es además un fenómeno geográfico incuestionable por su clara expresión territorial; de ahí, que la dimensión espacial del transporte adquiera la categoría de elemento de análisis fundamental en los procesos de planeación, en la formulación de proyectos de inversión y sea un criterio relevante en el proceso de toma de decisiones.

El transporte es sin duda una actividad compleja que involucra distintos factores siendo estos, transportistas, usuarios, autoridades y prestadores de servicios auxiliares, con necesidades e intereses diferentes; realiza funciones diversas como la comunicación, integración, traslado de bienes y personas y requiere de múltiples tareas para su ejecución, como serían planeación, organización, diseño, construcción, mantenimiento, conservación, control de operación, etc.

Para llevar a los mejores términos las gestiones de infraestructura de transporte, es necesario formular metas y objetivos que se relacionen con las tendencias de una cierta población y los niveles deseados de servicios. Este se logra a través de la simulación de los diferentes escenarios posibles buscando siempre lo deseable a futuro.

Es así como se hace incuestionable la participación de los SIG realizando distintas tareas en los proyectos de infraestructura de transporte. Actividades que van desde la captura y almacenamiento de todo tipo de información referente al tema, su análisis y presentación tanto de manera gráfica como numérica. Dentro de ese marco las aplicaciones específicas de los Sistemas de Información Geográfica en el sector transporte, podrían clasificarse en siete áreas fundamentales:

1. Inventarios de infraestructura. Localización, dimensiones, condiciones físicas, nombre de propietarios o de administradores a cargo, capacidad y costos de operación.
2. Inventario de equipamiento, condiciones y uso. Información sobre el número, las distancias de recorrido, propiedad, velocidad, capacidad, costos de operación y características de los modos de transporte.
3. Funcionamiento y condiciones de las empresas de transporte. Gastos, ingresos, propiedad, cobertura de mercados, fuerza laboral, características de los servicios públicos y privados.
4. Flujos de pasajeros y carga. Volúmenes, valor, distribución y comportamiento geográfico.
5. Aspectos demográficos y actividades económicas. Distribución regional, inventario de vehículos y capacidad de traslado, comercio y usuarios en el sistema de transporte.
6. Ahorro y seguridad. Accidentes, registro de heridos, servicios médicos de emergencia, horas de operación de los servicios, causas, etc.
7. Financiamiento y programas de administración.

La visión sistémica del transporte permitirá identificar y atacar la problemática particular de cada modo de transporte o elemento del sistema y la escala territorial abordada.

Como se ha mencionado con anterioridad, un SIG, puede describirse también por el tipo de demandas a las que puede dar respuesta, esa es otra de las grandes cualidades de estos sistemas, su correcta aplicación puede facilitar por ejemplo:

Identificar que es lo que se encuentra en una localización determinada. La localización puede describirse de varias formas, por ejemplo, por su topónimo, por su código postal o por referencias geográficas como latitud y longitud. En el caso del transporte, la utilidad de esta función es múltiple; permite explorar y ubicar la información disponible, por ejemplo a partir del tipo de camino, de una marca de kilometraje determinada; o bien, reconocer en el mapa o vista un elemento de infraestructura determinado, por ejemplo un puente, una intersección a desnivel, un puerto o aeropuerto, entre otros.

Caso contrario al anterior un SIG puede identificar lo que se encuentra en un punto, lo que se busca es un lugar que reúna ciertas condiciones, por ejemplo: un terreno sin bosque que tenga un área mayor de 2000 metros cuadrados, que esté a menos de 100 m. de una carretera y al que sus condiciones geotécnicas le permitan soportar edificios. Otros ejemplos en el sector transporte giran en torno a la diferenciación de tramos carreteros según características de los flujos que transitan por ellos, aquellos que tiene un tránsito diario promedio anual determinado, pero que tengan una composición vehicular con predominio de tractocamiones; otro ejemplo, es cuando se busca distinguir los aeropuertos con una cantidad de operaciones de despegue y aterrizaje.

Una tercera característica, involucra a las dos anteriores y su respuesta establece que diferencias ocurren en un área determinada a través del tiempo. Para el caso del transporte, al ser un proceso evidentemente dinámico de clara manifestación espacial, su utilidad es mucha. Se aplica cuando se desea analizar los cambios en el tránsito diario promedio de una carretera, los cambios en la ocupación de los derechos de vía, así como, el impacto en el entorno a partir de la construcción de alguna obra de infraestructura del transporte.

Cuando se trata de identificar un patrón espacial de ocurrencia de un fenómeno o hecho; por ejemplo, al querer determinar, si el cáncer es una causa importante de mortalidad entre las personas que residen en las proximidades de una central nuclear. Para el sector transporte la identificación de patrones espaciales es muy importante; derivado de la configuración de una red vial es posible inferir patrones en la ocupación del uso del suelo; por otro lado, el trazo y ubicación de determinadas obras de infraestructura condicionan el patrón de crecimiento de algunos asentamientos humanos; asimismo, se pueden estudiar los procesos de articulación o estructuración del territorio, a partir de los patrones o esquemas de distribución de los distintos modos de transporte.

Por último, otra cuestión que se plantea al intentar conocer que pasa en un sistema cuando ocurre un hecho determinado, por ejemplo, que le sucede a un sistema vial si construimos una carretera o que sucedería si se produjera un determinado vertimiento tóxico en la red de suministro de agua potable. Las respuestas requieren, además de la información geográfica, otras informaciones adicionales, como pueden ser determinadas leyes científicas. Es práctica común la aplicación de modelos matemáticos para la planeación y gestión del transporte, su uso vinculado a las herramientas de análisis espacial propias de un SIG, sin duda potencian sus resultados. Su utilidad se extiende a la logística y distribución de carga, al diseño de redes de transporte de pasajeros, a los estudios de reparto multimodal de carga, entre otros.

En general los usos que pueden tener los SIG en materia de transporte, son múltiples y ofrecen grandes ventajas. Cabe resaltar que los resultados obtenidos aplicando SIG, en cuanto a registro de información en campo, muestran un alto grado de precisión en la localización de los trazos y atributos.

Cabe mencionar que los SIG son una herramienta que sin sustituir los métodos tradicionales, representa grandes ventajas con respecto al manejo y presentación de la información, su correcta implementación genera importantes y variadas alternativas en la toma de decisiones en materia de transporte tanto a nivel local como regional. Por lo que su aplicación es ampliamente recomendable en los sistemas de transporte y en general, en los diferentes campos de acción de la ingeniería civil.

CAPÍTULO IV

4 Ejemplos de aplicación de los SIG en la ingeniería civil

4.1 Generalidades

Hasta ahora, se conoce que los Sistemas de Información Geográfica son una tecnología relativamente joven que en poco tiempo ha demostrado ser de gran apoyo en las distintas ramas de la ciencia y la tecnología. Su participación en el manejo y presentación de grandes volúmenes de información (siempre que esta contenga algún identificador geográfico), concede grandes ventajas, de ahí que muchas disciplinas se hallan beneficiado con su aplicación.

En materia de ingeniería civil, las aplicaciones de estos sistemas son muy amplias, su correcta implementación permitirá a los ingenieros contar con una excelente herramienta en la planeación, ejecución y monitoreo de grandes obras, pero sobre todo resulta ser una sólida base en la toma de decisiones, situación que es una constante en esta profesión.

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, una de las muchas ventajas de estos sistemas es la de poder simular diferentes escenarios de un mismo evento o proyecto y presentar los resultados de manera tanto gráfica como alfanumérica. En este apartado se ejemplificará la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para representar escenarios asociados a distintas problemáticas utilizando para ello, el software Arcgis en la captura y manejo de la información en cada uno de los casos.

La selección de una determinada metodología está íntimamente relacionada con la escala del análisis y las características de los elementos bajo estudio; así por ejemplo, el estudio de riesgo sísmico o de zonas inundables, de elementos particulares o aislados como

edificios, puentes, presas, por mencionar algunos, generalmente se basa en evaluaciones deterministas de la vulnerabilidad, mientras que en gestiones territoriales o de elementos como tipos de edificios o líneas viales, generalmente se basa en enfoques probabilistas que permiten aplicaciones regionales del modelo a distintas escalas, con la ventaja adicional, que pueden organizarse y tratarse mediante SIG. (EC-SERGISAI, 1998).

El alcance que se pretende en los estudios depende del modelo adoptado y puede estar orientado a cuantificar los efectos sobre la población, los daños en edificaciones, la afectación de los sistemas, etc., en donde los efectos normalmente se expresan en parámetros monetarios. Entre los principales usuarios de estos estudios destacan por una parte, las autoridades públicas, regionales o locales, interesadas en conocer la relación “costo/beneficio” asociadas al nivel de riesgo implícito en la adopción de políticas de inversión, impuestos, leyes, ordenación y planificación del territorio, y por otra los organismos de protección civil y de seguridad social, a quienes interesa conocer los niveles de riesgo que existe de sus instalaciones, las pérdidas posibles debidas a un evento natural, definir la necesidad de intervención o reforzamiento, gestionar recursos, trazar planes de emergencia, entre otras acciones.

Como se vio en el capítulo anterior, los SIG son una importante alternativa en la planeación, desarrollo y monitoreo de grandes obras de infraestructura. Sus aplicaciones en los distintos campos de acción de la ingeniería civil están tomando gran relevancia debido a su capacidad de análisis y respuesta.

En e presente apartado se realiza la aplicación de los SIG en la georreferenciación de diferentes escenarios asociados al análisis de riesgo con base en la siguiente metodología.

- I. En primera instancia se presentan los aspectos generales relacionados con la zona en cuestión y se presenta una descripción general del impacto provocado por distintos eventos naturales, así como la presentación general de los datos a utilizar durante el ejercicio.
- II. A continuación se introducen algunas de las funcionalidades de un SIG utilizadas en la preparación de los datos requeridos en el proceso de evaluación de riesgo.
- III. En esta etapa se presenta el mapeo de los elementos o capas temáticas necesaria para la generación de nueva información.
- IV. Se realiza la representación de los distintos escenarios y presentación de la información en formato SIG.
- V. Para finalizar, se realiza un breve análisis de la información generada.

4.2 Georreferenciación de colonias inundadas

La madrugada del 5 de Febrero del año en curso en Chalco Estado de México ocurrió una inundación de gran magnitud al colapsar un tramo del muro de contención del canal de La Compañía que no soportó los movimientos diferenciales y la presión de la corriente, lo cual provoco que se resquebrajara el muro en una sección que media aproximadamente 5

metros de alto por 70 metros de largo y un espesor de 20 metros, a la altura del kilómetro 27.5 de la autopista México-Puebla.

En cuestión de minutos la autopista quedó inundada por aguas negras que contenía este canal, así como las colonias Avándaro, San Isidro, El Triunfo y Providencia en Valle de Chalco, siendo mayormente afectadas las dos primeras en donde el nivel del agua alcanzó hasta los dos metros de altura, y las colonias Unión de Guadalupe y Agrarista en Chalco.



Figura 4.1. Colonias inundadas por el desbordamiento del canal de la compañía



Figura 4.2. Autopista México-Puebla inundada

El factor detonante de este desastre está muy relacionado con las lluvias que se habían presentado días antes en donde también se presentaron graves inundaciones en el Valle de México y su zona metropolitana, durante los días 3 y 4 de febrero, debido a la presencia de lluvias atípicas con duración aproximada de 40 horas, las cuales marcaron record históricos para un mes de febrero. Con las lluvias que se presentaron en la Ciudad de México durante los días 3 y 4 de Febrero cayeron aproximadamente 36 millones de metros cúbicos de agua de lluvia, lo que equivale al doble de las que usualmente se registran en este mes.

Ante esta situación fue necesaria la utilización del Túnel de la Compañía, mismo que no estaba proyectado para utilizarse aún, sino hasta mediados de 2010, pero al presentarse esta emergencia fue necesario utilizarlo e instalar bombas, y aunque la obra del túnel aun no se acaba, se tiene pensado dejar ahí la maquinaria hasta que esta finalice para prevenir que se pueda dar una situación similar a mediados de año.

La obra del Túnel de la Compañía tiene entre sus objetivos evitar inundaciones en esta zona y mejorar la infraestructura hidráulica en la Ciudad de México, ya que en el año 2000 ocurrió una inundación similar en este sitio y se afectaron casi mil viviendas y a más de 50 mil habitantes de los municipios de Chalco, Valle de Chalco e Ixtapaluca.

En 2020 el Valle de Chalco registrará hundimientos de hasta 19 metros, lo que incrementa el riesgo de fracturas en zonas urbanas.

Para reducir el peligro de inundaciones tendrá que mejorarse la infraestructura hidráulica y reubicar varias colonias en Tláhuac y Valle de Chalco en un radio de por lo menos 2.5kilómetros.



Figura 4.3. Trabajos para dirigir el agua hacia el río de la compañía

Situación similar se presentó en la zona noroeste, afectando seriamente delegaciones del Distrito Federal y municipios y Estado de México. Por parte del D.F. Las inundaciones mas graves fueron en Venustiano Carranza, Iztapalapa, Gustavo A. Madero, principalmente las colonias que se localizan en los alrededores del Aeropuerto de la Ciudad de México.

En lo que corresponde al Estado de México las afectaciones fueron en colonias de los municipios de Ecatepec con al menos 18 colonias anegadas al sur del municipio en donde alrededor de 1500 viviendas resultaron afectadas y Nezahualcóyotl en la zona norte con

más de 2500 viviendas, se reportaron más de 5000 personas desalojadas en ambos municipios.

Las principales colonias afectadas en el Estado de México son: El Chamizal, Franja Valle de México, Granjas Valle de Guadalupe, Las Vegas Xalostoc, Ampliación Nicolás Bravo y Pedro Ojeda Paullada en Ecatepec y las colonias Estado de México, El Sol, Valle de Aragón, Primera y Segunda Sección, Plazas de Aragón, Impulsora y Ciudad Lago, resultaron afectadas en Nezahualcóyotl, donde la altura del agua alcanzó más de medio metro de altura.

En el centro de Nezahualcóyotl, las lluvias desbordaron el río Churubusco y el drenaje Xochiaca, que también desalojan aguas negras del Distrito Federal, lo que provocó inundaciones en colonias aledañas.

En el D.F. también se presentaron daños como consecuencia de las lluvias, las zonas más afectadas fueron las siguientes.

En Iztapalapa, 650 familias damnificadas en las unidades habitacionales Peñón del Marqués 1 y 2 y Lienzo Charro; un predio de Antorcha Popular y zonas dispersas de la demarcación.

Venustiano Carranza, 12 mil personas damnificadas, zonas: Los Arenales, Moctezuma primera y segunda sección, Pensador Mexicano (se desbordó el Gran Canal, a la altura del río de Los Remedios). En Gustavo A. Madero, 200 familias damnificadas, en la colonia Cuchilla del Tesoro.



Figura 4.4. La estación Hangares de la línea 5 fue cerrada, y se colocaron sacos de arena

Una vez identificada la zona de desastre y las colonias afectadas por los desbordamientos se procede a ubicar geográficamente las colonias utilizando el programa de cómputo Google Earth como se muestra en la figura 4.5.

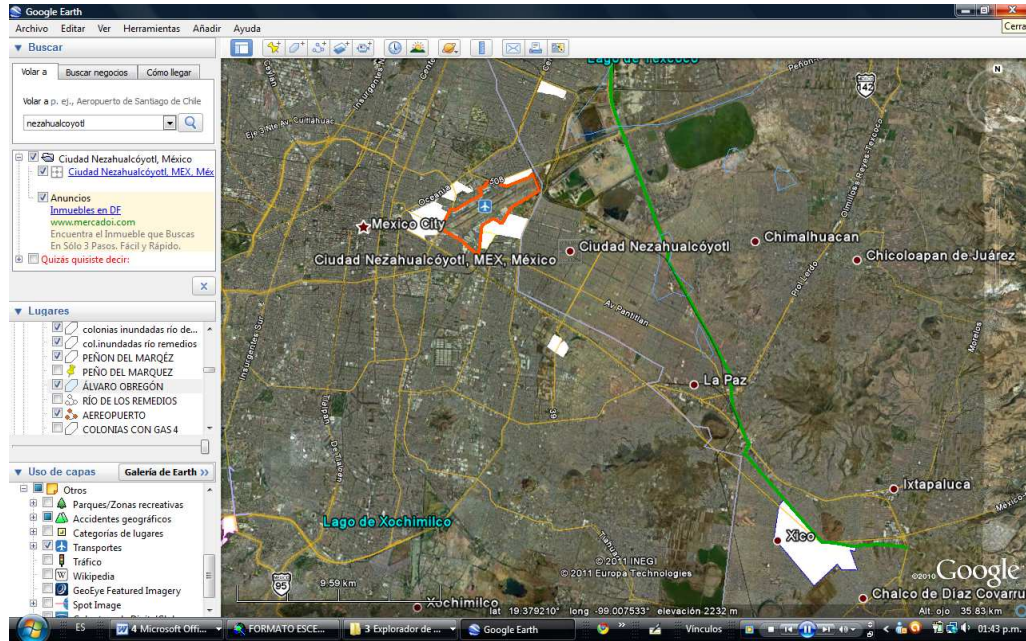


Figura 4.5. Trazo de las colonias que resultaron afectadas en la zona del Valle de México

A partir del mapa topográfico en que se muestran las colonias que resultaron afectadas por la falla de las redes de drenaje en la zona del Valle de México, se realiza la discretización de estas para ser transformadas en formato Shape. Este tipo de información será de tipo vectorial y en su tabla de atributos podrá ingresarse tanta información como se disponga para su consulta y análisis en estudios más complejos.

Con ayuda del software Arcgis y tomando como base la cartografía digital en formato shape, se realiza una representación genérica de las colonias (en color rojo) que resultaron afectadas por la falla y desbordamiento de los distintos colectores, así como su ubicación dentro de la zona del Valle de México.

La representación será tan detallada conforme a los objetivos que se persigan, así pueden integrarse tantas capas de información como sean necesarias registrando en cada una de estas la información descriptiva para fines de consulta y análisis, generándose los escenarios más representativos sobre el impacto ocasionado por algún fenómeno, en este caso particular por la falla de los grandes sistemas de drenaje que inundaron algunas colonias en distintos puntos del Valle de México como se muestra en la siguiente figura.

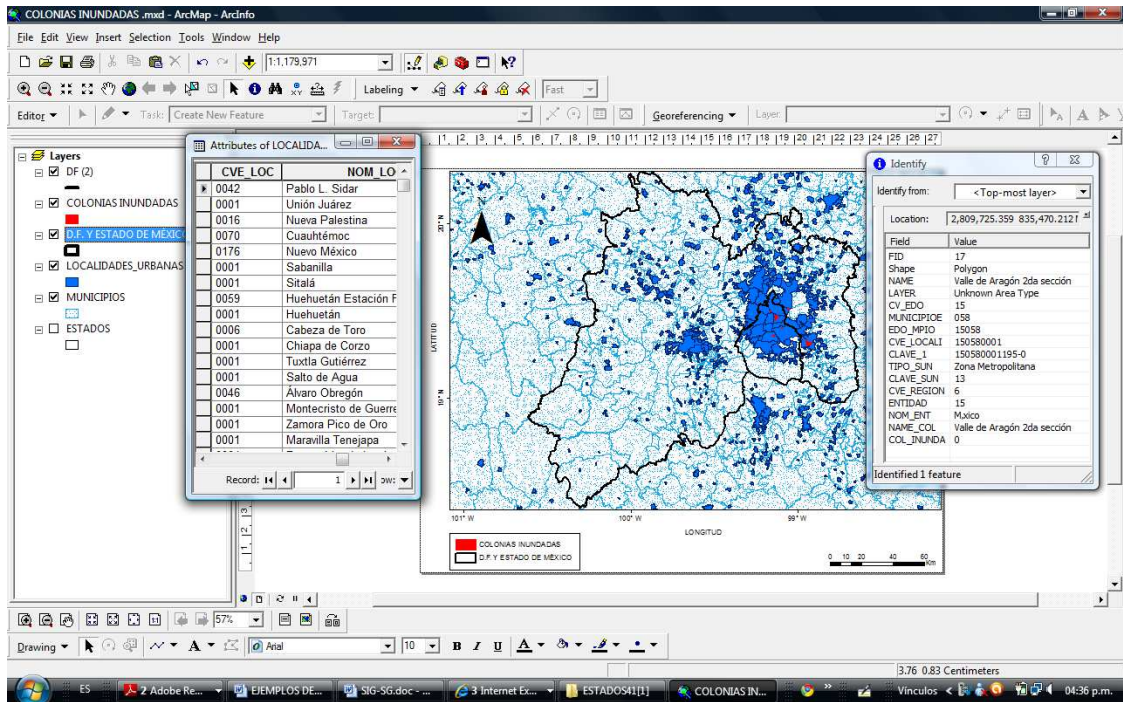


Figura 4.6. Mapa del Estado de México, ubicación de las colonias espacialmente, tabla de atributos e identificador "Identify".

En la figura 4.6 se presenta de manera general la configuración de la pantalla del programa de computo Arcgis, a través del cual se relacionan todas las capas de información para representar los distintos escenarios de algún evento. En este caso la georreferenciación de colonias inundadas.

En la parte izquierda de la pantalla se concentran todas las capas necesarias y disponibles en la representación de algún fenómeno para su análisis. Cada proyecto, contendrá tantas capas de información como se consideren necesarias, con la ventaja de poder apagar y encender cada una de ellas según el objetivo que se persiga. En este mapa se utilizan las capas del Estado de México, D.F., el de las colonias inundadas, localidades urbanas y de municipios.

La tabla de atributos "Attributes table" (a lado izquierdo del mapa) se despliega de cada una de las capas, esta es una gran base de datos y en ella se ingresa todo tipo de información alfanumérica, para su posible consulta, análisis, actualización y presentación.

La tabla "Identify" que se encuentra a la derecha de mapa, identifica y despliega información de algún elemento espacial contenido en la tabla de atributos. A través de este podría consultarse la información de alguna de las colonias inundadas.

Esta imagen nos dan un panorama muy general de la ubicación de la zona de desastre, sin embargo para apreciar más a detalle la ubicación de las zonas en cuestion habrá que realizar un acercamiento y agregar la información que se crea necesaria como se muestra a continuación.

4.2.1 Georreferenciación de las colonias inundadas en la zona de aeropuerto

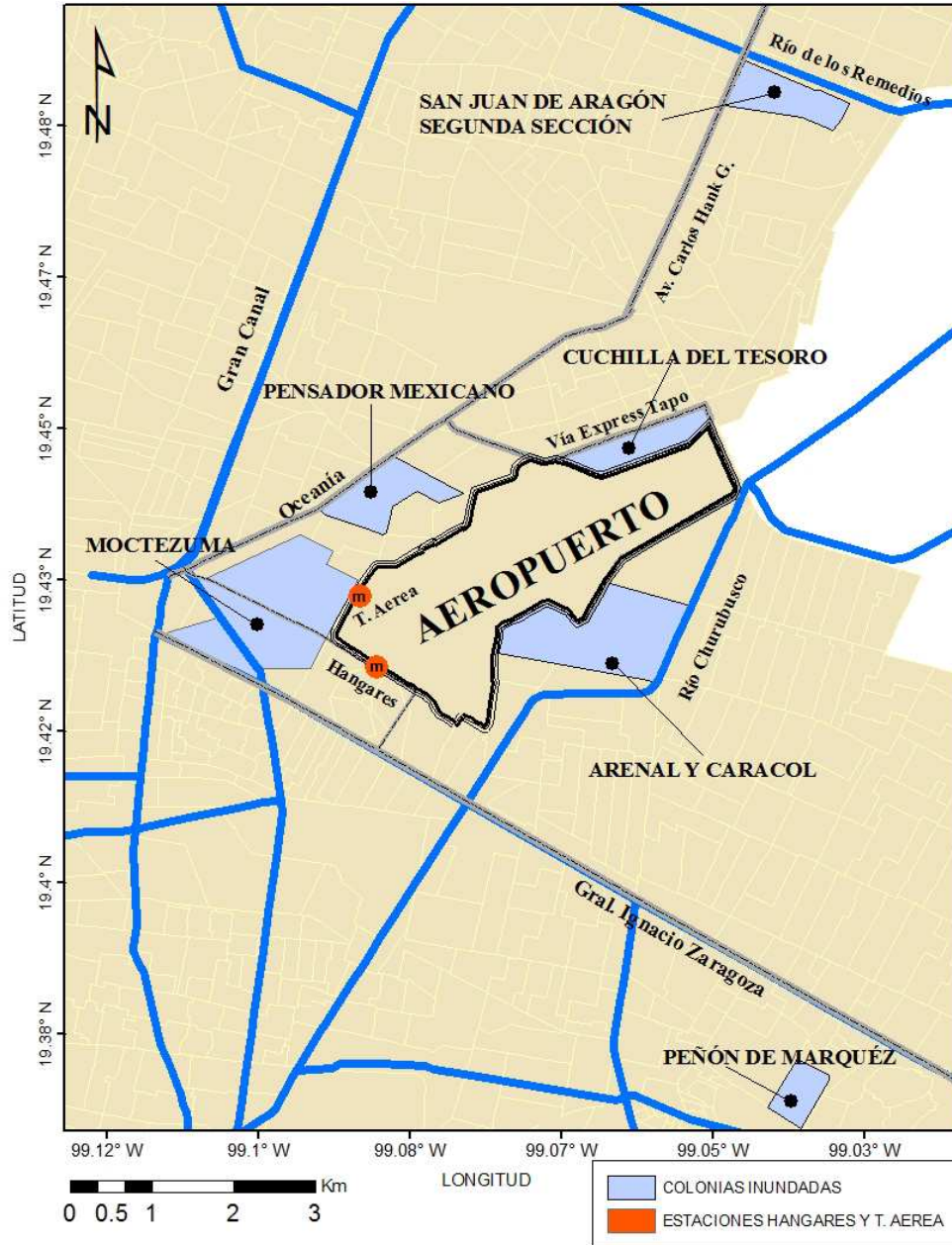


Figura 4.7. Ubicación de las colonias afectadas en la zona de aeropuerto

En la figura 4.7 se observa la zona que resultó afectada por la falla de los ditintos colectores, se pueden apreciar las colonias donde los niveles de agua alcanzaron tirantes importantes ocasionando fuertes perdidas materiales, así como los rios y drenajes que causaron la inundación y algunas de las avenidas principales donde los niveles de agua hicieron que estas fueran temporalmente intrancitables.

4.2.2 Georreferenciación de colonias inundadas por el canal de la compañía

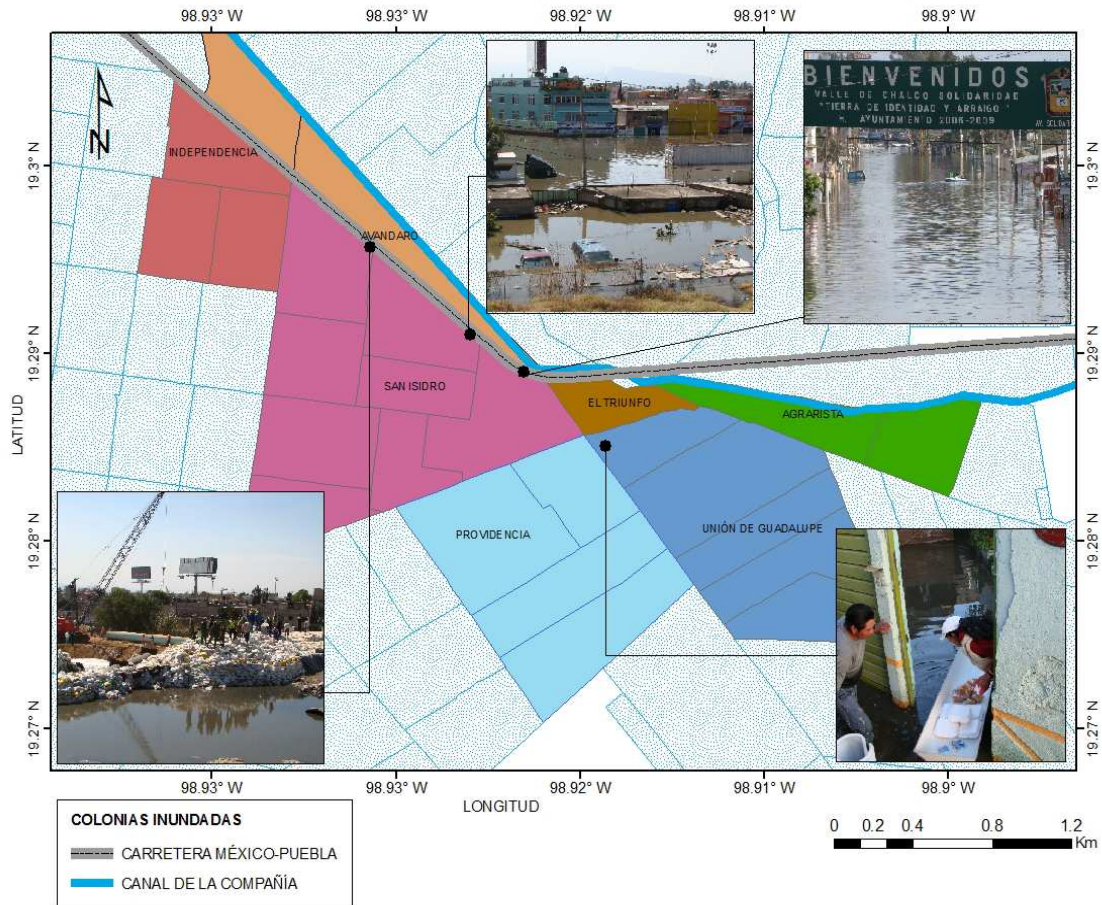


Figura 4.8. Georreferenciación de colonias inundadas por la ruptura en canal de la compañía. Chalco Edo. De México.

En la figura 4.8 se observa la ubicación de las colonias que inundó el canal de la compañía, la del propio canal y la carretera México-Puebla que quedó cubierta de agua en cuestión de minutos, así como la ubicación de puntos en los cuales se puede observar la magnitud de la inundación.

Ambos mapas pueden utilizarse como base para realizar un análisis tanto de las pérdidas ocasionadas por la falla de los sistemas de drenaje en cuestión, como para una preparación de los datos espaciales necesarios para realizar la evaluación del riesgo para edificaciones y obras de infraestructura. Así como en nuevos proyectos mejor planeados.

4.3 Georreferenciación de colonias con gas natural

En México, como en la mayor parte del mundo, el gas natural se ha posesionado como un combustible cada vez más demandado. Actualmente, el gas natural es el tercer combustible comercializado en el mundo después del petróleo y el carbón. Principalmente por que ofrece ventajas económicas y ambientales con respecto a otras fuentes.

En nuestro país el uso del gas natural se ha incrementado rápidamente en los últimos años, principalmente en el sector industrial, en la generación de energía eléctrica recientemente en empleo doméstico.

El gas natural se transporta y distribuye hasta los usuarios finales por medio de ductos de acero de diámetros variables. La conveniencia del transporte por medio de estos ductos es su economía y seguridad. Sin embargo, algunas tuberías, sobre todo las que no tienen cierta flexibilidad, pueden fracturarse una vez alcanzada la vida útil del material, o debido a efectos inducidos por algún fenómeno natural, por ejemplo un sismo, es por ello que su trazo, construcción y mantenimiento es un trabajo sumamente complejo.

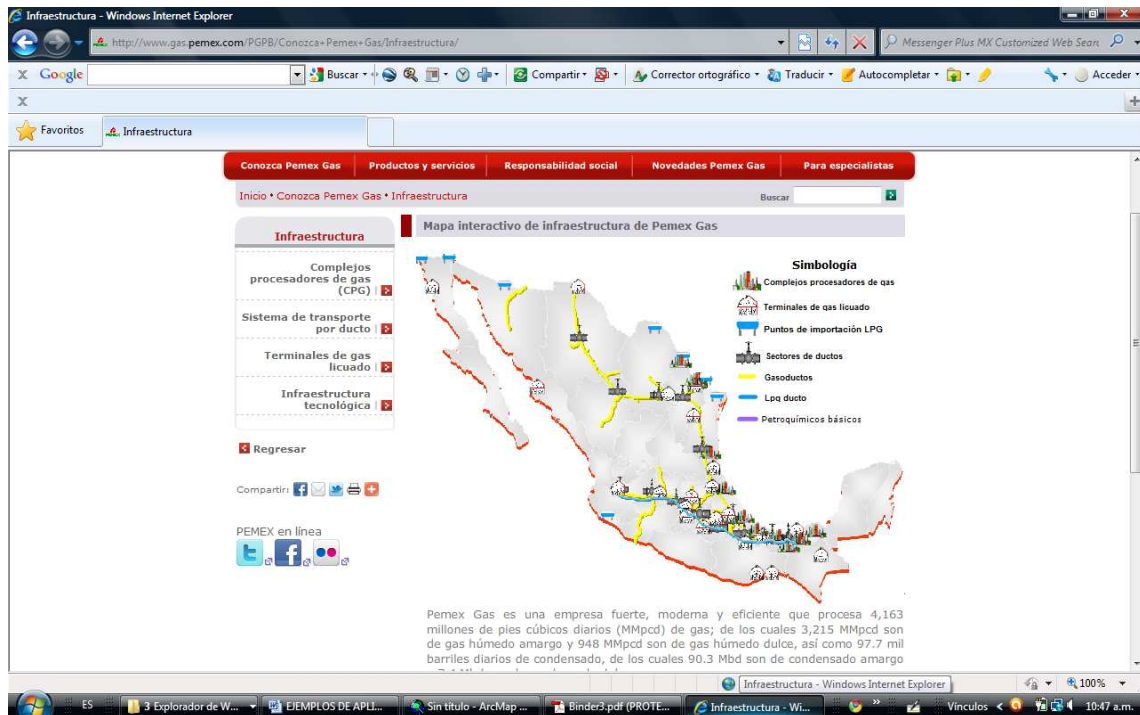


Figura 4.9. Mapa de infraestructura de gas natural a nivel nacional

En la figura 4.9 se muestra la red principal de gasoductos distribuido a lo largo de la República Mexicana.

En la zona del Valle de México existe una red de gasoductos que se distribuye a lo largo de algunas delegaciones del D.F. y municipios del Estado de México, misma que tiene en promedio más de 40 años desde su instalación, tiempo que probablemente supera la vida útil de los materiales que la integran, poniendo en riesgo la seguridad de las instalaciones y de las zonas por donde pasan estos conductos.

Aunado a esto, también ocurre con frecuencia que las instalaciones son perforadas accidentalmente mientras se desarrolla algún tipo de excavación, pero el más desfavorable de los casos es la probable ruptura de los gasoductos por acciones

inducidas ante los efectos de un sismo. Así es que, la importancia de conocer la ubicación geográfica de estas redes es de vital importancia, ya que a partir de esa información es posible:

- Tener un monitoreo periódico de las instalaciones
- Realizar mantenimiento o sustitución de tubería
- Actuar a tiempo ante situaciones de riesgo
- Realizar un análisis de riesgo ante eventos sísmicos
- Diseñar nuevas redes o ampliar las ya existentes

Como se puede apreciar, la importancia de Georreferenciar las colonias que tienen gas natural es una tarea necesaria, tanto para las empresas encargadas de su distribución, como de la población que hace uso de este tipo de combustible. Para fines de el presente trabajo, se realizará la georreferenciación de las colonias que tienen gas natural en el D.F., cabe señalar que la ubicación de la red de gasoductos es propiedad de la empresa encargada de su distribución en esta zona. Es por ello que no aparecerán en el mapa de las colonias con gas.

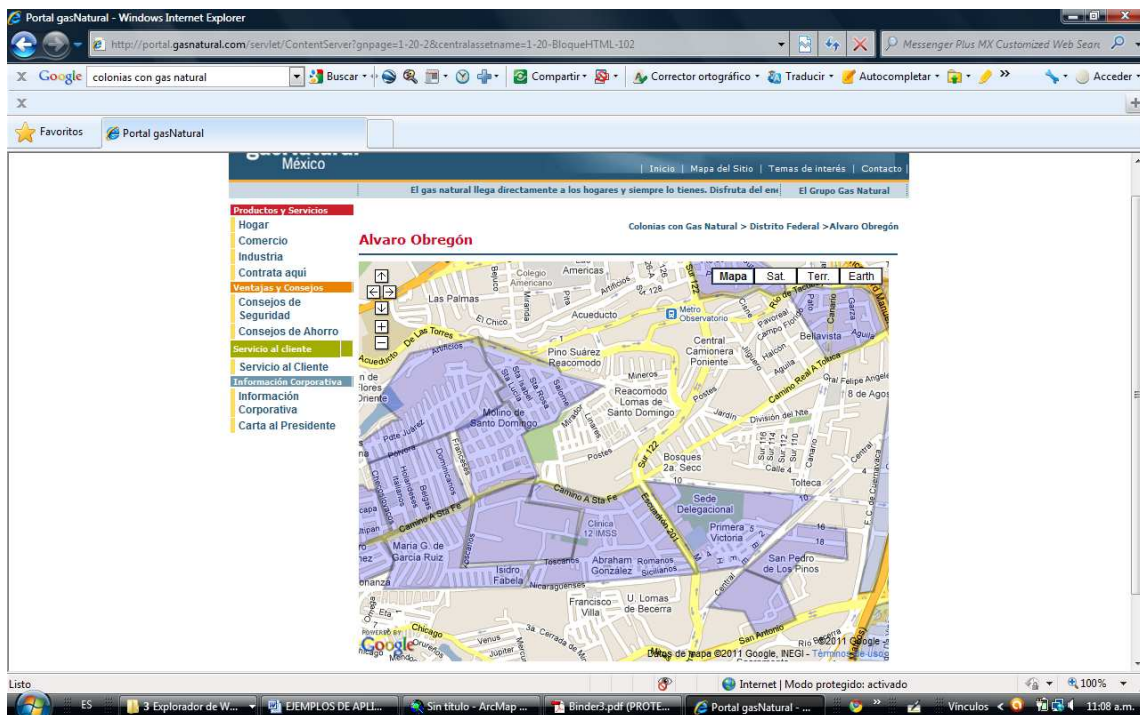


Figura 4.10. Colonias con gas natural en la delegación Álvaro Obregón D.F.

En la figura 4.10 se muestra la ubicación de las colonias con gas natural localizadas en la Delegación Álvaro Obregón, imagen tomada directamente del portal gas natural México. Las restantes Delegaciones se presentan también en el portal. Con referencia en estas imágenes se procede de manera similar al caso de las colonias inundadas para buscar la georreferenciación de las colonias con gas natural. En este caso se cuenta con información adicional, misma que se introduce en la tabla de atributos para su posterior consulta, como se muestra en la figura 4.11.

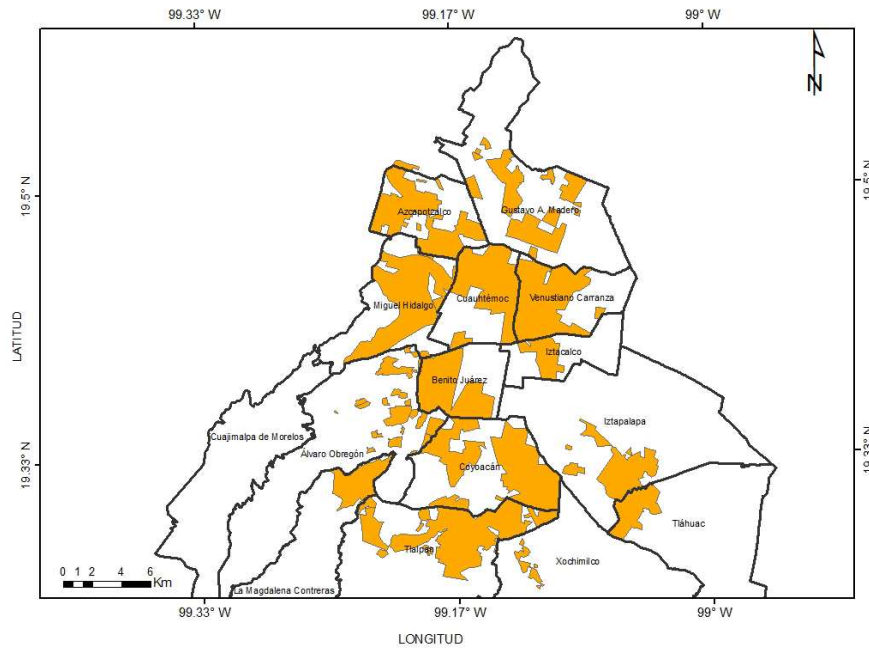
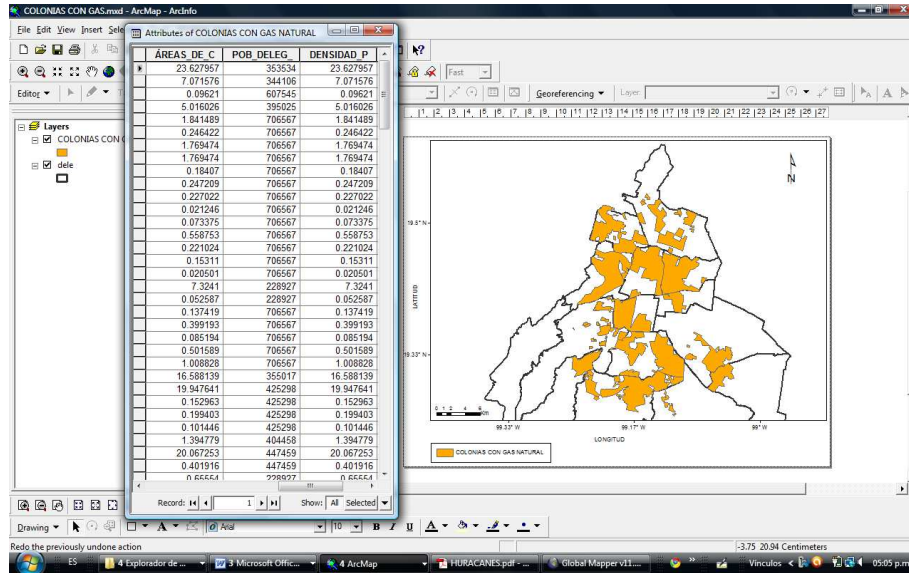


Figura 4.11. Georreferenciación de colonias con gas natural en el D.F.

4.4 Georreferenciación de huracanes en México (caso huracán Alex)

El huracán, es el más severo de los fenómenos meteorológicos conocidos como ciclones tropicales. Estos son sistemas de baja presión con actividad lluviosa y eléctrica cuyos vientos rotan antihorariamente en el hemisferio norte. Un ciclón tropical con vientos menores o iguales a 62 km/h es llamado depresión tropical. Cuando los vientos alcanzan velocidades entre 63 y 117 km/h se llama tormenta tropical, al exceder los 118 km/h, la tormenta tropical se convierte en huracán. A lo largo de la historia, nuestro país se ha

visto devastado por estas formaciones, las cuales alcanzan distintas categorías dependiendo de la fuerza de sus vientos que van desde 118 km/h (categoría 1) hasta 250 km/h (categoría 5). Se considera que durante el paso del huracán se producen dos tipos de pérdidas: las debidas al efecto del viento, y las debidas a la marea de tormenta y la de inundación. (Instituto de Ingeniería)

México, debido a su ubicación geográfica, condiciones climáticas y geológicas, así como a problemas de asentamientos humanos en zonas de alto riesgo, es vulnerable ante la presencia de fenómenos naturales, en particular, sismos y huracanes. Algunos de estos fenómenos, por la magnitud y alcance de la región, han provocado severos daños que requieren de una respuesta institucional inmediata (Instituto de Ingeniería). El registro de huracanes que han afectado nuestro país data de finales del siglo XIX. Sin embargo, no es si no hasta mediados del siglo XX que se dispone de registros de sus trayectorias completas y de algunos parámetros indicativos de su severidad. (Instituto de Ingeniería)

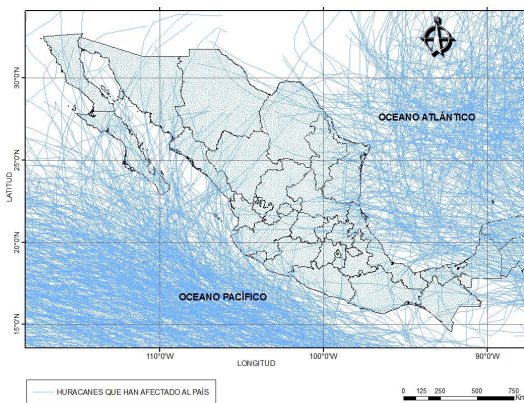


Figura 4.12. Mapa de huracanes que han afectado al país

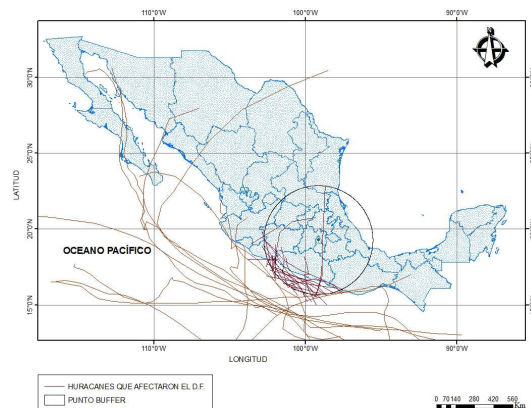


Figura 4.13. Mapa huracanes que han afectado al D.F.

En la figura 4.12 (izquierda) se aprecia la trayectoria de los huracanes que han afectado a nuestro país tanto por el lado del océano pacífico como del atlántico, mientras que la figura 4.13(derecha) es la representación de los huracanes que afectaron específicamente al D.F. Es decir, fenómenos cuya ruta estuvo muy próxima a dicha entidad y que causaron a su paso inundaciones en la zona en cuestión. En esta imagen también se aprecia la utilización de una herramienta de Arcgis llamada "Buffer" que es propiamente un área de influencia, en este caso en particular el área de influencia de los huracanes con respecto a D.F. es de 400km, es decir, dentro de esta área se localizan partes de las trayectorias de huracanes más cercanas al Distrito Federal, por ende, las de máxima influencia.

Cabe señalar que la información utilizada en este tipo de fenómenos es de tipo vectorial, pero a diferencia de las colonias georreferenciadas anteriormente, que se representan mediante polígonos, las trayectorias de los huracanes son representadas por una sucesión de puntos con coordenadas.

A continuación se realiza la georreferenciación del huracán Alex, mismo que a su paso por el norte del país ocasionó las lluvias más intensas registradas históricamente en las ciudades de Monterrey y Tamaulipas, mismas que ocasionaron la crecida de ríos y arroyos que al desbordarse se llevaron decenas de automóviles, causaron daños en

infraestructura vial, instalaciones de agua potable y alcantarillado, casas y redes de energía eléctrica.

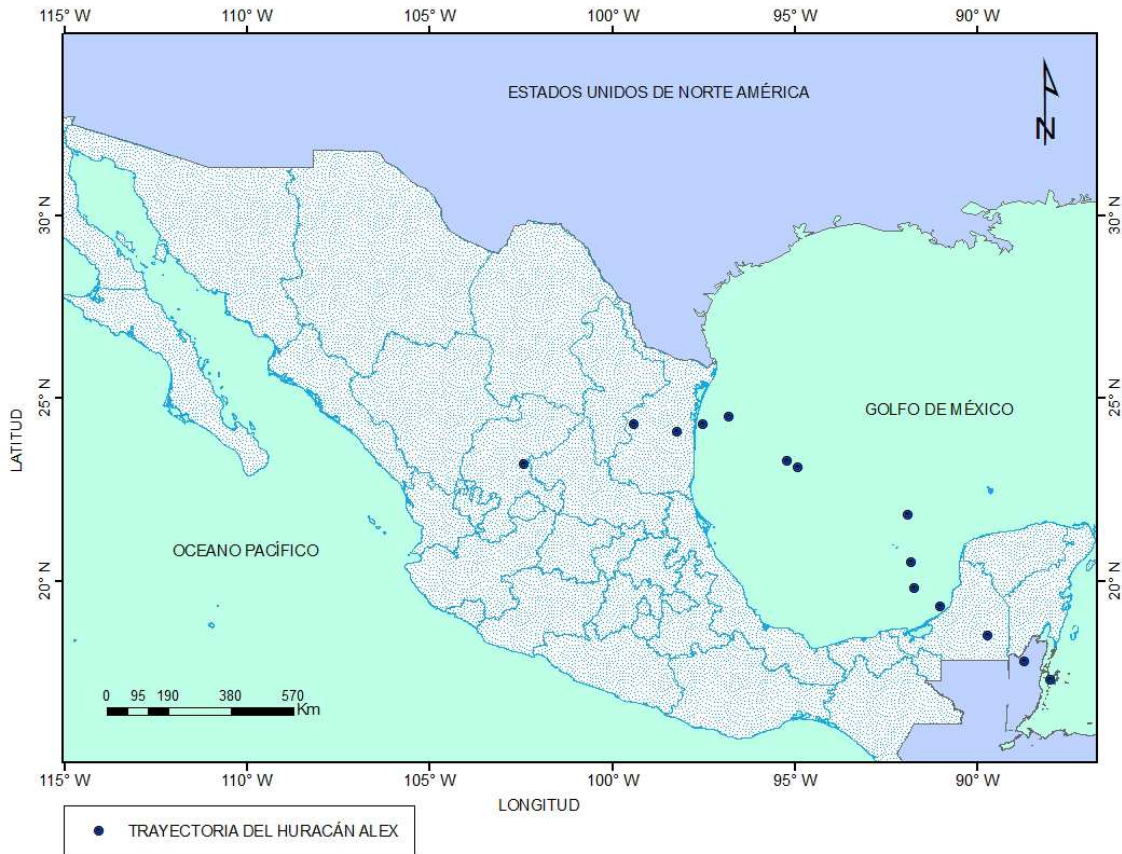


Figura 4.14. Georreferenciación de la trayectoria del huracán Alex a su paso por el país

Con base en información proveniente del INSMET, se realiza la ubicación espacial del huracán Alex en distintas posiciones a lo largo de su trayectoria. Cada una de las posiciones en la tabla de atributos de Alex, posee información adicional como, fecha, hora, intensidad de los vientos y presión, esta última en dos escalas.

En la figura 4.14 se observa claramente el paso de este huracán por las ciudades de Tamaulipas y Monterrey, mismas que resultaron mayormente afectadas.

Esta información podría servir más adelante para la generación de información útil por ejemplo para la generación de huracanes artificiales.

4.5 Gerreferenciación de sondeos geotécnicos (SIG-SG)

Como se mencionó anteriormente, ningún tipo de infraestructura podrá ejecutarse sin un previo estudio del suelo, ya que, como se sabe, dicho estudio será quien defina el tipo de cimentación más adecuado, es decir, el que distribuya mejor los esfuerzos al suelo.

Los sondeos geotécnicos, son una de las pruebas más comunes que se realizan para identificar las características de un suelo. Estos pueden alcanzar grandes profundidades y pueden realizarse en cualquier tipo de suelo.

Debido a las ventajas que proporcionan los SIG en cuanto al manejo de grandes cantidades de información, para este trabajo se construye un Sistema de Información Geográfica para Sondeos Geotécnicos, SIG-SG (Méndez, E. 2000). El SIG-SG, para la zona de estudio se elabora con el programa Arcgis que es un software comercial de Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI), el cual permite crear mapas mediante la integración de datos en formato digital.

Para poder realizar cualquier modelo en el SIG-SG, se requiere hacer un pre-procesamiento de la información básica que integra los marcos de referencia físico y geográfico, es decir, la información debe cambiarse de formato analógico a digital dentro de un marco de referencia de coordenadas geográficas, proyección y parámetros coherentes. El modelado espacial que ofrece el SIG-SG permite construir representaciones simplificadas del medio físico geográfico que ayudan a facilitar el estudio de la distribución y naturaleza de los materiales del subsuelo de cualquier territorio. La Figura muestra el modelo conceptual del SIG-SG.

A grandes rasgos, un SIG-SG relaciona datos espaciales y de atributo para el soporte de visualización de mapas, con el propósito de permitir la consulta, actualización y análisis de la información incorporada en un sistema.

Para integrar los sondeos al sistema, se elaboró una base de datos (Auvinet, G., Méndez, E. y Juárez, M., 1998), la cual contiene los datos generales de cada sondeo en diferentes campos con la siguiente información:

- Clave: número que identifica a cada uno de los sondeos que integran la base de datos,
- Mes: mes en que se realizó la exploración,
- Año: año en que se realizó la exploración,
- Tipo: tipo de sondeo exploratorio,
- Ejecutor: indica la fuente o la empresa que realizó el sondeo,
- Calle y número: indica la dirección de donde fue realizado el sondeo,
- Colonia: donde se realizó el sondeo,
- Delegación o municipio: donde se realizó el sondeo,
- Ciudad: donde se realizó el sondeo,
- Entidad Federativa: donde se realizó el sondeo,
- Coordenadas X, Y y Z: corresponden a la ubicación geográfica de los sondeos,
- Profundidad del sondeo: profundidad máxima alcanzada por el sondeo,
- Observaciones: se registran datos relevantes del sondeo como, tipo de obra para la que fue realizado, clave o número asignado por el ejecutor, localización,
- Profundidad del nivel de aguas freáticas: (NAF),

- Zona: se refiere a la zona geotécnica en que se localiza el sondeo según el RCDF-2004,
- Imagen: muestra la ruta dentro del sistema para desplegar la imagen.

En la figura 4.15 se muestra una vista general del SIG-SG de la zona. Tomando como base la cartografía, se logra visualizar la ubicación de los sondeos geotécnicos (representados por puntos) así como algunas avenidas principales y los límites delegacionales de manera simultánea y ordenada. Los sondeos realizados para la zona en estudio fueron realizados con distintas técnicas, es por ello que en la imagen aparecen de distintos colores.

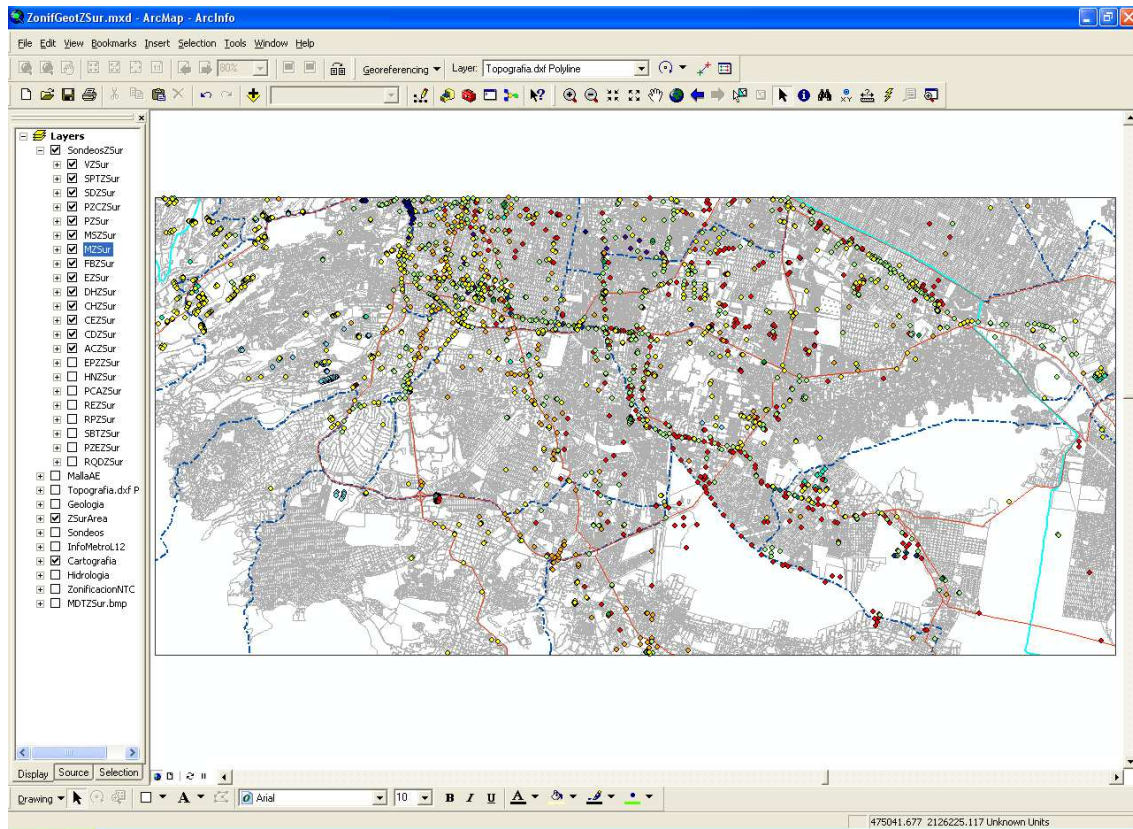


Figura 4.15. SIG-SG de la zona sur del Valle de México

Este SIG es una gran base de datos del suelo, misma que puede ser reutilizada en estudios posteriores. La información que se maneja en este mapa para el caso de los sondeos es en formato vectorial, cada punto representa un sondeo con características propias y ubicación espacialmente referenciada.

4.6 Georreferenciación de isoyetas

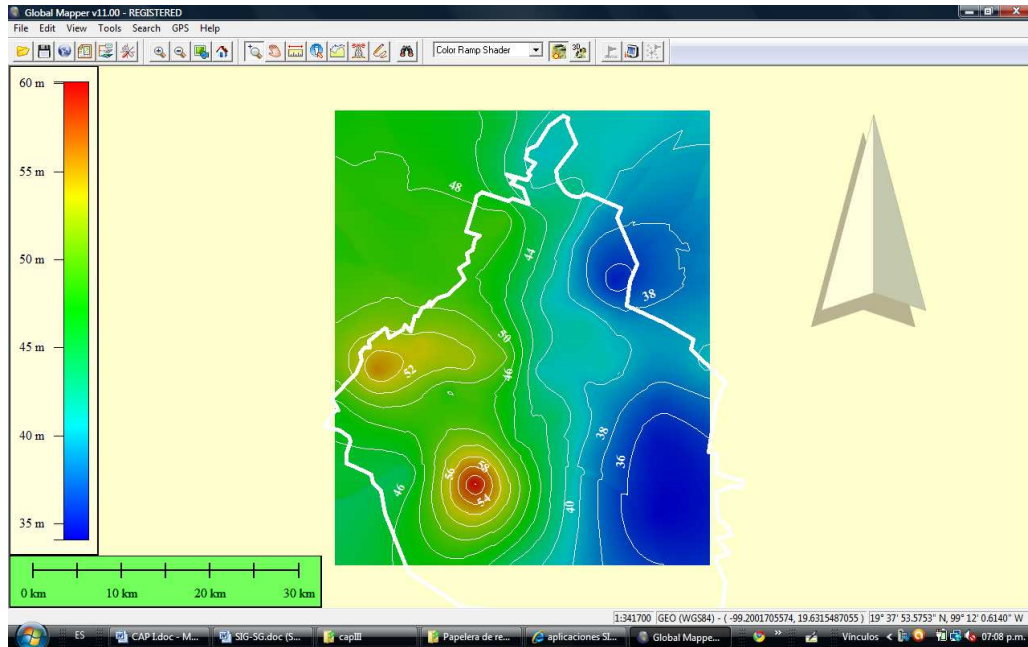


Figura 4.16. Georreferenciación de isoyetas, $T_r = 5$ años, $d = 120$ min

En la figuras 4.16 y 4.17 se muestra la representación de isoyetas correspondiente a la zona del D.F. En este ejemplo se realizó la georreferenciación de información. En ella se representan además de las precipitaciones, asociadas a distintos periodos de retorno y duraciones, las curvas de nivel correspondientes.

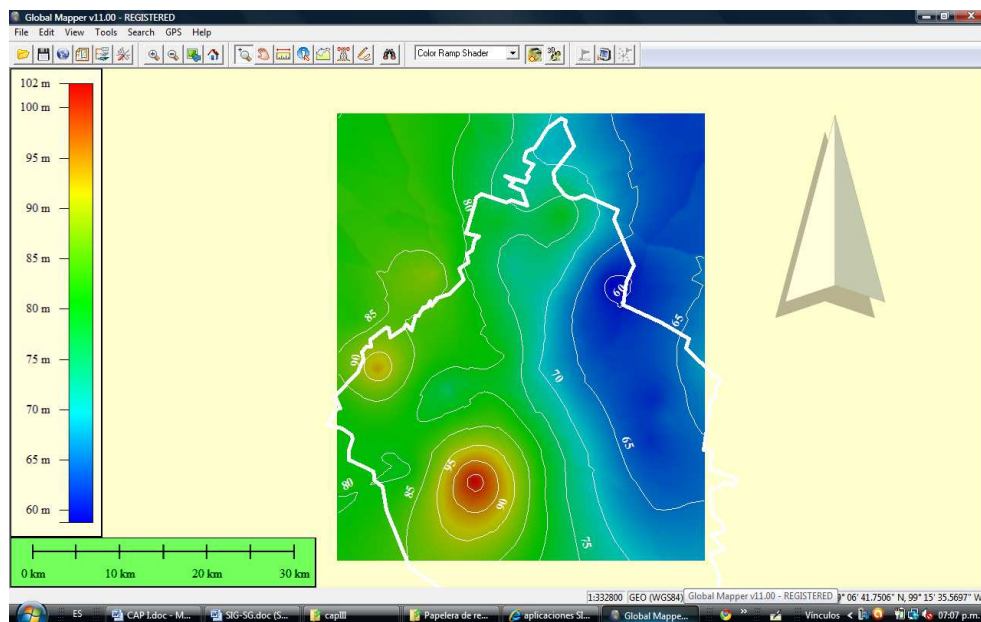


Figura 4.17. Georreferenciación de isoyetas, $T_r = 25$ años, $d = 24$ h

4.7 Georreferenciación índice de riesgo sísmico

Se denomina riesgo sísmico a la probabilidad de ocurrencia, dentro de un periodo y lugar determinados, de un sismo que cause ciertas pérdidas o daños. En el riesgo influye el peligro sísmico, los posibles efectos locales de amplificación de las ondas sísmicas, la vulnerabilidad de las construcciones, la capacidad de respuesta de instituciones y autoridades así como las posibles pérdidas humanas y económicas.

El riesgo sísmico varía de una región a otra, dependiendo de la cercanía a las fallas activas, al tipo de suelo, a la edad y diseño de edificaciones y en gran medida de la cantidad y tipo de asentamientos humanos localizados en el lugar. El riesgo sísmico en la Ciudad de México varía mucho de una zona a otra debido a la homogeneidad y comportamiento de los suelos así como a la diversidad de los asentamientos humanos: por ejemplo, es alto en la zona centro, construida sobre sedimentos lacustres, donde el efecto local de amplificación de ondas de periodos del orden de 2 segundos, derribó gran cantidad de construcciones durante el sismo del 19 de septiembre de 1985, y es bajo en las zonas como el pedregal de San Ángel, donde las construcciones están asentadas sobre roca o sedimentos muy bien compactados.

Los daños sufridos debido a los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985, mostraron el grado de vulnerabilidad que tiene la Ciudad de México. La gran concentración de población e infraestructura, la presencia de arcillas lacustres con una peculiar respuesta dinámica, aunado a la cercanía a zonas sismogénicas de importancia, colocan a la Ciudad en un escenario desfavorable ante la ocurrencia de sismos.

Aún cuando los reglamentos de construcción se adecuaron y contemplan normas más estrictas, esto aplica para las construcciones actuales, no así para un gran número de inmuebles cuyas características estructurales, de mantenimiento y antigüedad, los coloca en situación de riesgo potencial en caso de que un sismo de magnitud importante afecte a la ciudad. Aunado a esto, el gran núcleo poblacional que representa la ciudad y la presencia de infraestructura estratégica, obligan a contar con sistemas de alertamiento sísmico que ayuden a reducir la vulnerabilidad así como las pérdidas humanas y materiales.

Para modelizar el riesgo sísmico mediante índices se propone partir de las estimaciones de pérdidas de los escenarios urbanos de daños por sismo, debido a que estas estimaciones son el resultado de la convolución de la amenaza o microzonificación sísmica de una ciudad, con la vulnerabilidad física de los edificios y demás infraestructura.

Mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica, se puede realizar una zonificación sísmica con base en índices de riesgo sísmico como se muestra a continuación.

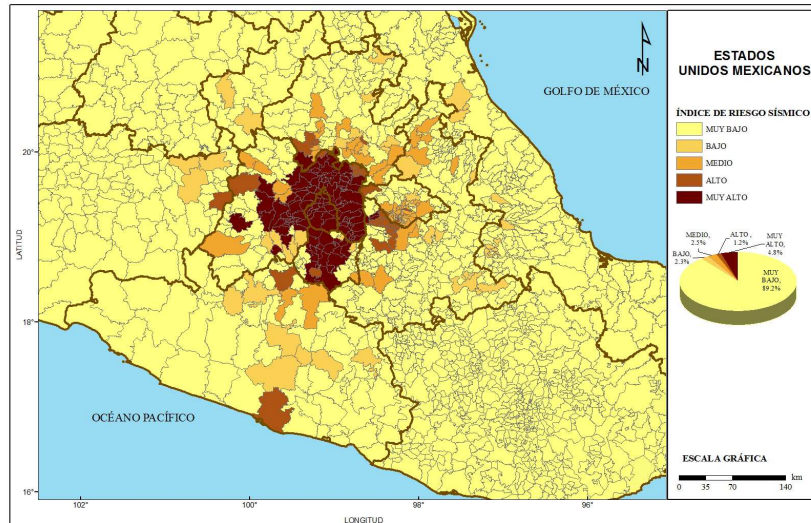


Figura 4.18. Georreferenciación índice de riesgo sísmico en la zona centro del país(escenario 1)

En la figura 4.18 se presenta la zonificación sísmica de la zona centro de la república mexicana. Este SIG muestra un panorama del índice de riesgo sísmico donde se observa que el 89.2 % del territorio tiene un índice muy bajo mientras que el 4.8% del territorio que representa la zona centro, presenta un índice muy alto.

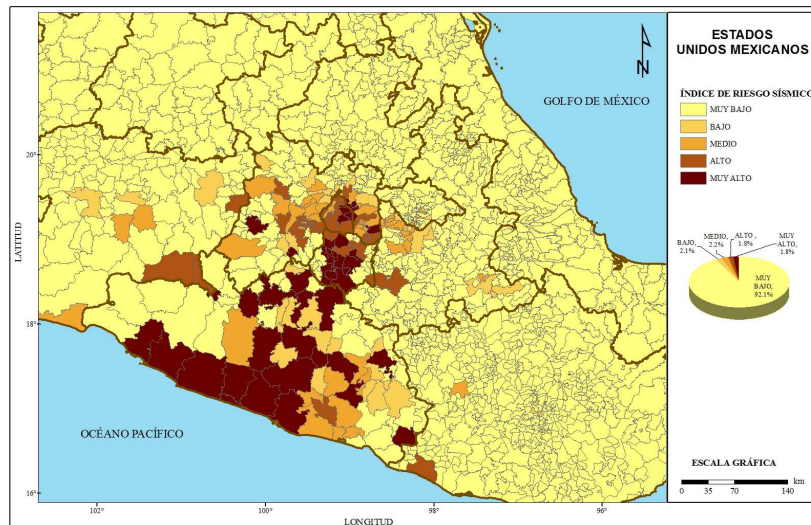


Figura 4.19. Índice de riesgo sísmico en zona con importante actividad sísmica(escenario 2)

Por una parte figura 4.19 representa el índice de riesgo sísmico asociado a una de las zonas con mayor actividad sísmica. En este caso el índice más bajo corresponde al 92.1% del territorio y el 1.2% es el asociado al índice más alto.

3.8 Georreferenciación de escenarios de inundación

Las obras hidráulicas en la cuenca del Valle de México inician a partir de la fundación de la gran Tenochtitlan en el año 1325. Desde entonces el ingenio y el esfuerzo de sus pobladores han creado a lo largo de su historia complejos sistemas de canales, diques, presas y acueductos hasta llegar a los túneles profundos, sistemas de bombeo entre otros. Por una parte intentando satisfacer la demanda de agua potable y por otra, desalojando enormes cantidades de aguas residuales y de lluvia. Ambos sistemas son de igual importancia, sin embargo, para fines de este apartado se dará un enfoque especial a los sistemas de drenaje. Particularmente al llamado sistema de drenaje profundo del Valle de México.

En síntesis, el Sistema de Drenaje y Desagüe de la Cuenca del Valle de México, está conformado por tres grandes sistemas de conductos hidráulicos estratégicamente ubicados, que drenan en dirección sensiblemente del sur al norte y constituyen las tres únicas salidas para desalojar los caudales de aguas residuales y pluviales fuera del Valle, protegiendo a la Ciudad del riesgo de inundaciones; estas salidas son, el Interceptor Emisor Poniente, El Gran Canal y el Túnel Emisor Central.

La falla de alguno de estos grandes sistemas seguramente ocasionaría importantes inundaciones y por ende grandes pérdidas materiales y en el más desfavorable de los casos pérdidas de vidas humanas. De ahí la importancia de simular de alguna manera los posibles daños que ocasionaría un evento de estas magnitudes. Aplicando SIG es posible generar distintos escenarios probables ante la falla de alguno de estos grandes colectores, con ello logra identificarse la zona o zonas que resultarían afectadas en caso de ocurrir un desastre de este tipo.

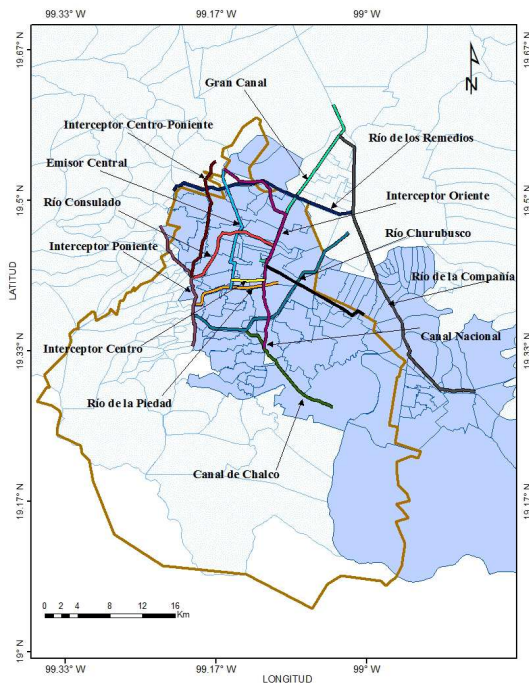


Figura 4.20. Escenario de inundación 1

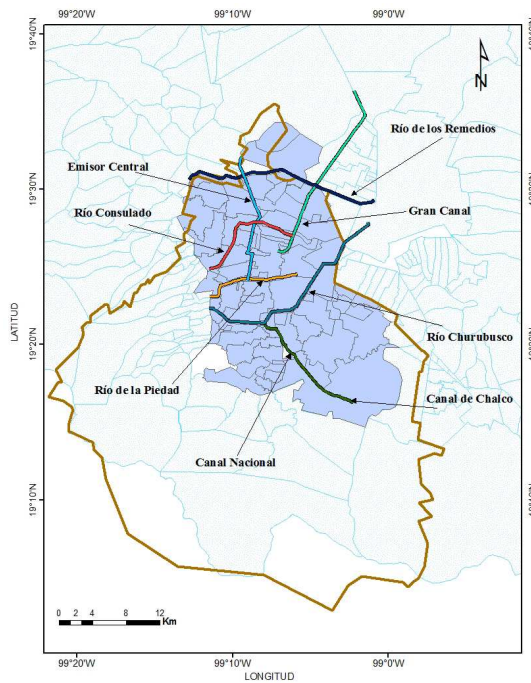


Figura 4.21. Escenario de inundación 2

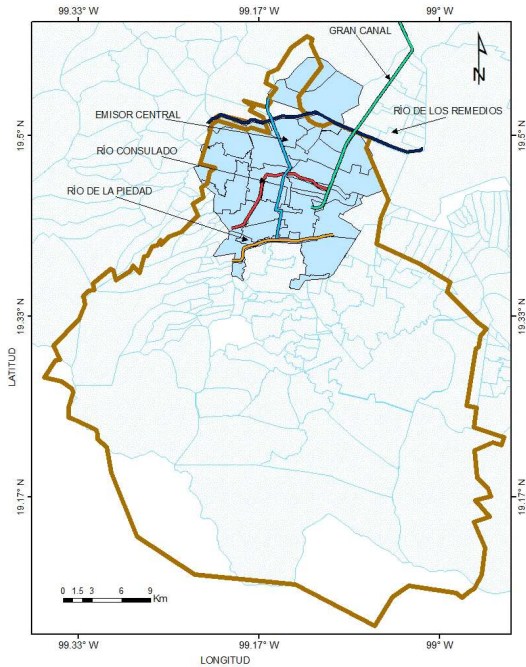


Figura 4.22. Escenario de inundación 3

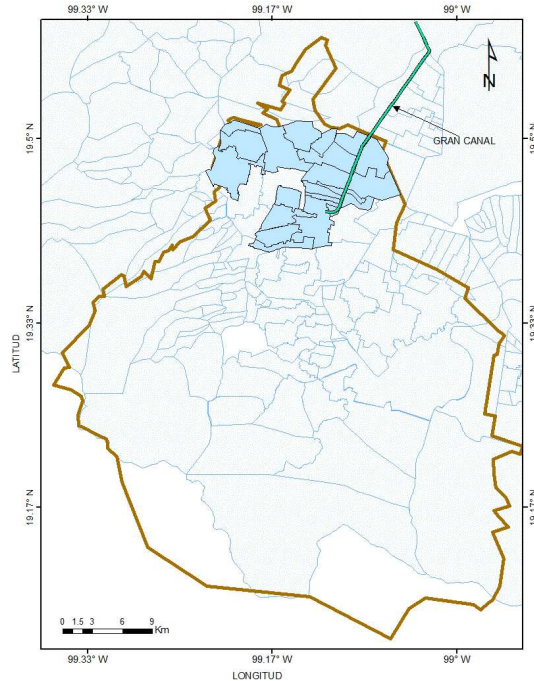


Figura 4.23. Escenario de inundación 4

Las figuras muestran cuatro distintos escenarios de riesgo por inundaciones ante lluvias intensas. En cada una de ellas se muestran los colectores y las cuencas que probablemente resultarían afectadas en caso del desbordamiento o ruptura de alguno de los drenajes.

4.9 Georreferenciación de red de distribución de agua potable

Una de las mayores problemáticas a nivel mundial es el abastecimiento de agua potable. Llevar a cabo un proyecto de este tipo resulta ser una tarea compleja para la ingeniería, ya que involucra infinidad de factores como, económicos, ambientales y sociales. Un SIG puede apoyar en ciertas labores relacionadas con el abastecimiento de agua, sobre todo en manejo de información espacial, aplicando su metodología de georreferenciación como se muestra a continuación.

En primera instancia se realizó un levantamiento topográfico y altimétrico de la zona por medio de una estación total, incluyendo, depósitos de almacenamiento, nivelación de calles por donde atravesará la red de agua. Por otra parte se realizaron trabajos en gabinete para determinar los consumos y demandas con la información recabada por ejemplo fotografías satelitales, instituciones de gobierno, información de campo, etc.

A continuación se presenta la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la georreferenciación de información, en este caso por tratarse de polígonos y líneas será de tipo vectorial. Como un primer paso en la georreferenciación, se procede a ubicar espacialmente la comunidad, con el apoyo del software Google Earth se realiza la localización geográfica de esta.

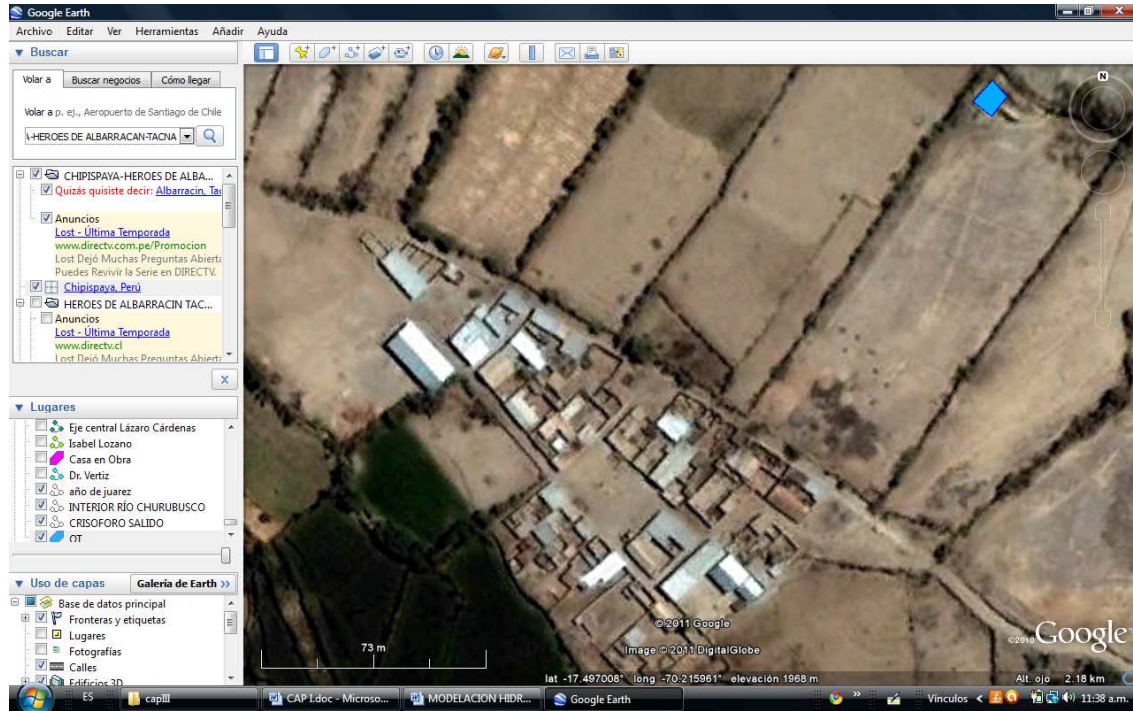


Figura 4.24. Imagen satelital de colonias sin abasto de agua potable

En la imagen 4.24 se observa la ubicación de una localidad que se pretende abastecer de agua potable. En la esquina superior derecha de la imagen (en color azul) se aprecia la fuente de abastecimiento. A partir de esta imagen se procede a georreferenciar las colonias y realizar un trazo de la línea de conducción y red de distribución. Como se muestra en la figura 4.25.

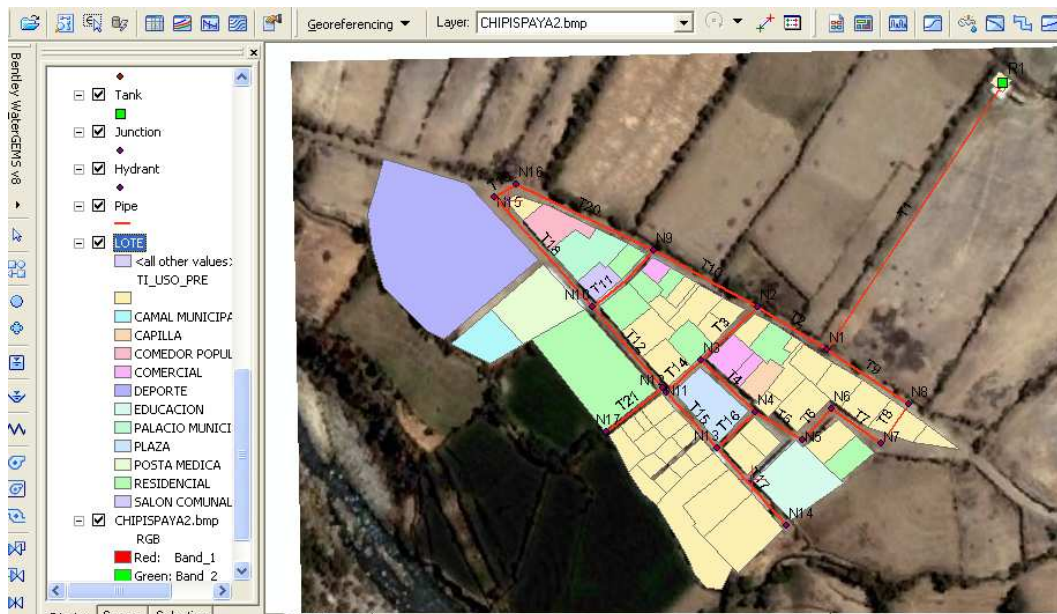


Figura 4.25. Georreferenciación de colonias y red de abastecimiento de agua potable

Una vez georreferenciadas las colonias y el trazo de la red, se puede almacenar toda la información disponible en sus correspondientes tablas de atributos. Por ejemplo, en el caso de la o las colonias puede integrarse información como densidad de población, condición económica, etc. Mientras que en el caso de las redes de conducción y distribución se ingresarían datos como longitudes y diámetros de tubería, tipo de válvulas, y demás piezas especiales, material de la tubería, costos, etc.

En base a la información tanto visual como numérica y descriptiva, es posible realizar un análisis para el abastecimiento de agua potable en alguna comunidad, y se realizaría un planteamiento similar para el caso de redes de drenaje y alcantarillado.

Este es otro de los ejemplos de aplicación de los SIG en la ingeniería civil. Como puede observarse el manejo de información espacial por medio de un ordenador incrementa las posibilidades de respuesta, por la ventaja de la representación de distintos escenarios de una misma problemática. Todo ello con la finalidad de dar la mejor solución.

4.10 Georreferenciación de potenciales embalses con fines de riego y generación de energía eléctrica

Un embalse puede definirse como un depósito artificial que permite almacenar agua de origen superficial o subterránea, para satisfacer diferentes necesidades (Materon, 1991). Esas necesidades pasan por el almacenamiento de agua para riego, usos domésticos e industriales, para la generación hidroeléctrica para el control de inundaciones, para piscicultura, turismo y para el mejoramiento de la ecología. Desde el punto de vista técnico, la ubicación de un embalse debe realizarse sobre el cauce de un río en un lugar que reúna ciertas características imprescindibles para su óptimo funcionamiento. En este apartado se utiliza la tecnología SIG para localizar de manera espacial, posibles embalses para los fines antes mencionados. Este proyecto se realizó para las ciudades de Catamayo, Catacocha y Cariamanga Ecuador.

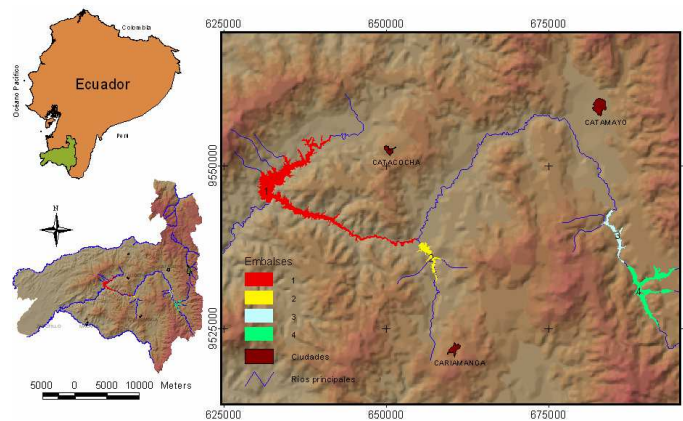
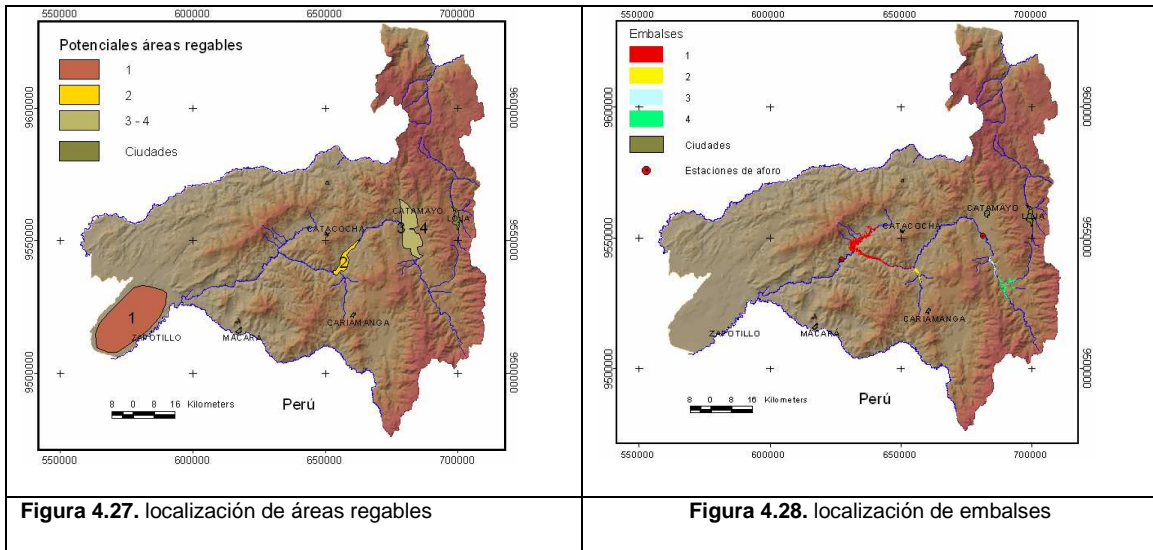


Figura 4.26. localización de embalses

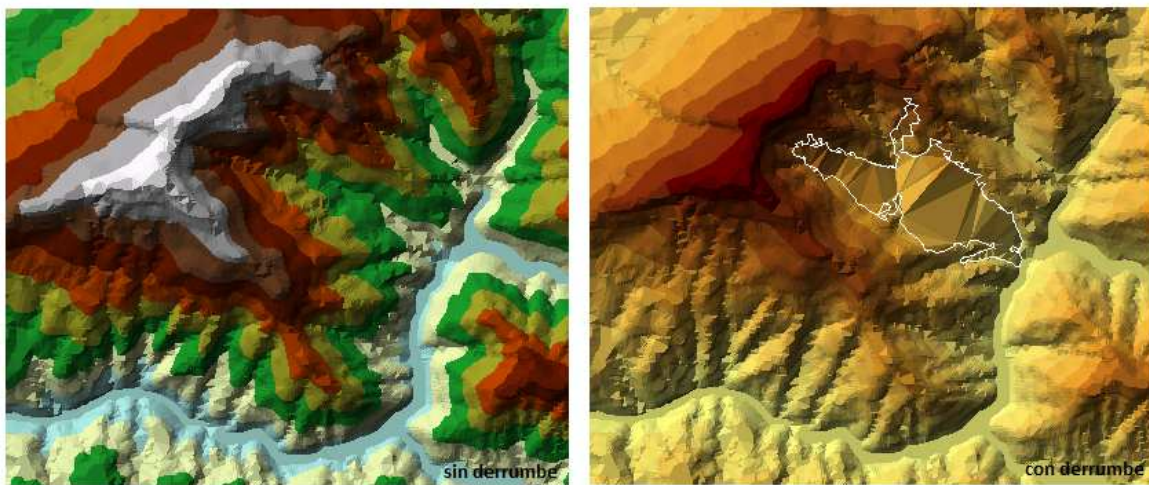
Como se observa en las figuras 4.26 y 4.28, se localizaron cuatro potenciales embalses, mismos que habrá que evaluar para identificar cual de ellos es del que puede hacerse un mejor aprovechamiento. Por su parte, en la figura 4.27 se muestra la localización de las

áreas regables con respecto a los embalses previamente georreferenciados. Con base en ello, se realizar un estudio con un mayor detalle buscando determinar el embalse con las mejores características según el objetivo.



4.11 Georreferenciación y cálculo de volúmenes de tierra

Una parte fundamental en el diseño conceptual de una obra civil (camino, fábricas, aeropuertos, etc.) es poder conocer cuál será el movimiento de tierra que deberá realizarse en la zona donde se planea construir. Esto evidentemente, dependerá de la topografía del sitio y de la extensión que la obra civil abarcará. Una aplicación muy poderosa de los SIG es el cálculo de los volúmenes, a partir de un modelo digital del terreno.



En la figura 4.29 se muestra la construcción de un modelo digital del terreno a partir de curvas de nivel. Mientras que en la figura 4.30. Se muestra en verde el área de tierra que está propensa a deslizamientos el mismo procedimiento se utilizaría para calcular movimiento de tierras. La operación entre dos superficies, proporciona una imagen con

las zonas de corte y relleno, y una tabla con los valores de áreas y volúmenes, los cuales determinan el movimiento de tierra que se requiere en la obra civil.

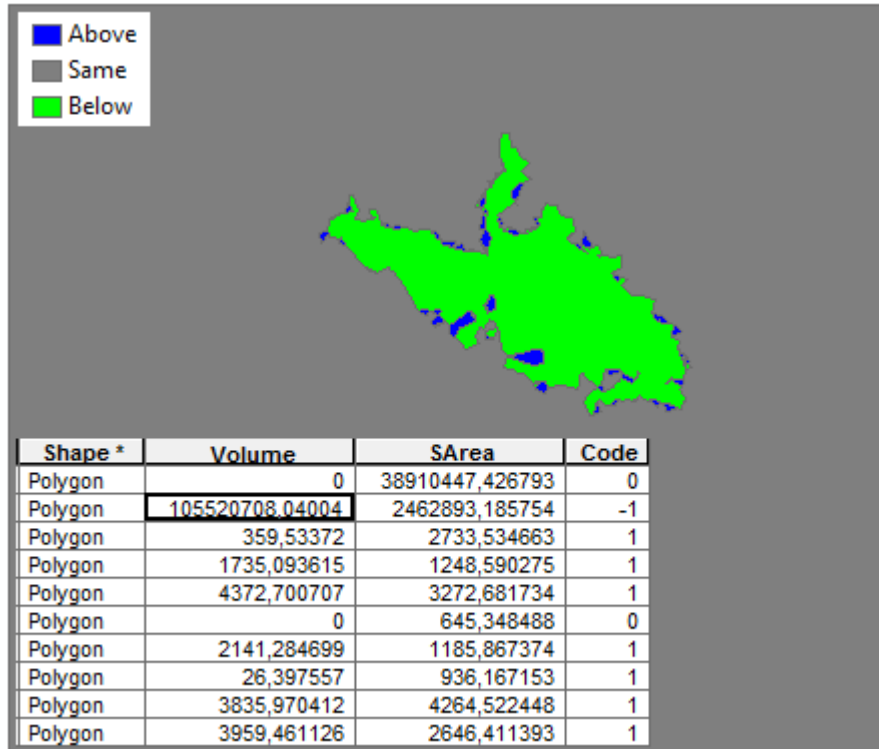


Figura 4.30. Modelo tridimensional del terreno

En general, la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la georreferenciación de información acerca de alguna gestión de infraestructura resulta ser una importante y práctica herramienta de apoyo en los diferentes campos de acción de la ingeniería civil.

Georreferenciar información es el primer paso en la aplicación de un SIG, pero es el más importante ya que dependiendo de la solidez de los datos tanto visuales, descriptivos y sobre todo numéricos, que se ingresen al ordenador dependerá el correcto desarrollo de un proyecto a mayor a detalle.

Pese a que los Sistemas de Información Geográfica tienen especial participación en las gestiones territoriales, zonificación y análisis de riesgo, el presente trabajo trata de mostrar las ventajas que podría tener el empleo de estos sistemas en distintas actividades de la ingeniería civil.

CAPÍTULO V

5 Discusiones y conclusiones en torno a los usos de los SIG en la ingeniería civil

5.1 *Discusiones*

La tarea primordial de la ingeniería civil, es desarrollar la infraestructura necesaria para satisfacer las necesidades que la sociedad demanda. Para ello, los ingenieros echan mano de sus conocimientos e ingenio en la planeación, ejecución y desarrollo de complicadas obras de ingeniería. Ahora bien, llevar a cabo las actividades necesarias para una buena gestión de los proyectos, es una tarea muy compleja, ya que cada obra a desarrollar involucra el manejo de una importante cantidad de información, misma que durante el desarrollo de los trabajos sufrirá modificaciones y actualizaciones continuas y sin duda requerirá frecuentemente de la toma de decisiones, tanto en campo como en oficina.

Cualquier obra de ingeniería, sin importar la magnitud de esta, requiere del empleo de metodologías, cálculos y pruebas de laboratorio para una buena planeación, diseño y ejecución de la misma. Para ello, existen muchos métodos tanto matemáticos como de laboratorio sugeridos por distintos autores, mismos que se han venido utilizando durante años en las cuestiones ingenieriles con resultados bastante aceptables.

Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta relativamente joven, que en poco tiempo ha demostrado ser de gran apoyo principalmente en el manejo de información espacial, de ahí que muchas disciplinas se apoyen en estos sistemas para el manejo de información en la generación de soluciones. El presente trabajo pretende mostrar las ventajas de usar SIG en las distintas ramas de la ingeniería civil.

Primeramente es importante acentuar, que pese a que los SIG son una poderosa herramienta capaz de apoyar en el manejo de los grandes volúmenes de información antes y durante el desarrollo de una obra de ingeniería. Estos sistemas, al igual que cualquier método, pudiendo ser este, matemático o de laboratorio, en contraste a sus grandes ventajas tienen también sus limitaciones.

Otro aspecto que es importante aclarar, es que, pese a que los SIG ofrecen grandes ventajas en el manejo de información tanto gráfica como numérica. Estos no sustituyen o desplazan a ningún método matemático o de laboratorio, siendo que cada uno de ellos posee cualidades ventajas y desventajas con respecto a otro. Así es que, la utilización de un SIG en la búsqueda de soluciones, dependerá de muchos factores, por ejemplo, uno de ellos y tal vez el más importante, la disponibilidad de datos.

El presente trabajo, considera que los SIG no se han explotado en México como un recurso valioso, por ello es que se enfoca en dar a conocer los usos, aplicaciones y potencialidades, de estos sistemas, ya que son una herramienta que puede ofrecer grandes ventajas en las distintas tareas de la ingeniería civil.

Como se ha visto en los capítulos anteriores, los usos y aplicaciones de los SIG pueden ir desde la gestión territorial, la zonificación, el trazo de redes y servicios, la modelación tridimensional, y un largo etc. Intentar sistematizar las diferentes posibilidades de aplicación de los SIG no es tarea fácil. Cada autor tiene su propia clasificación de las tareas que pueden ser encomendadas a un sistema de información. Pero lo que parece evidente es que estas son muy diversas y que se van multiplicando con el paso del tiempo. A tal circunstancia ayuda lo defendido por Cortina Landaluce quien advierte que “una cifra del orden del 80% de la información necesaria para realizar las actividades de cualquier organización, está relacionada con la geografía”. Es decir, más de tres cuartas partes de las actividades realizadas por el hombre pueden ser referenciadas a través de coordenadas geográficas. Si se acepta esta máxima, se puede deducir la importancia que tendrá aquel software que sea capaz de gestionar y analizar la información espacial. Dado que un software SIG está diseñado especialmente para realizar la manipulación de este tipo de información, es relevante tener un amplio conocimiento de sus funciones y características.

Ahora bien, dada la importancia antes mencionada de los software SIG, es muy común que a estos se les confunda con los Sistemas de Información Geográfica, por ello es que resulta trascendente aclarar, que estos programas de cómputo, son sólo uno de los cinco elementos que integran un verdadero SIG y que la gestión y análisis de información espacial se realiza mediante el empleo de un sistema y no sólo de un programa.

Entre las ventajas que conlleva la utilización de estos sistemas se pueden destacar las funciones de introducción de datos y análisis espacial, las funciones analíticas que incluyen cambios de escala, reclasificación y transformación de datos, rutinas de interpolación, análisis de proximidad, superposición y combinación de capas de información, operaciones de vecindad así como operadores lógicos y aritméticos. Los SIG

también pueden ser programados para reemplazar una función de distribuciones probables por un valor nominal en un área de estudio concreta. Tareas de esta índole permiten mejorar la representación de la variabilidad en la componente espacial de los distintos sistemas. Además sus características ayudan a integrar y combinar las bases de datos, procesando grandes cantidades de información asociada a múltiples atributos.

Otra de las grandes cualidades de los SIG son sus aportaciones para la mejor interpretación y análisis de modelos y sistemas, además de brindar la posibilidad de visualizar y entender con claridad las relaciones espaciales. La información que en ellos se maneja desde la captura, manipulación y presentación de la misma en todo momento se mantiene georreferenciada y guarda siempre sus relaciones topológicas. Otra de las grandes ventajas es la de poder trabajar no con la totalidad del sistema si no que puede elegirse de entre toda la disponible sólo la necesaria para simplificar el análisis.

Como se mencionó anteriormente, estos sistemas al igual que muchos métodos tanto matemáticos como numéricos además de sus grandes ventajas tienen desventajas y limitaciones en su utilización.

En el caso de los SIG estas desventajas están asociadas a algunos de sus componentes. La mayor parte de los autores coinciden en que el elemento más importante de un SIG en la actualidad son los datos, de manera que, una base de datos de mala calidad representará la principal desventaja en la implantación de un SIG. En segundo termino estaría ubicado el capital humano puesto que un usuario que no esté lo suficientemente capacitado en el ambiente SIG podría hacer un mal uso de los equipos programas y datos, o en el menor desfavorable de los escenarios que estos elementos no sean debidamente explotados en la búsqueda de soluciones.

Sin duda, podría ampliarse el listado tanto de las ventajas como las desventajas de utilizar SIG en la ingeniería civil, sin embargo, dado que son sistemas relativamente jóvenes que se encuentran en constante evolución y que además no se han explotado a su máxima capacidad se considera que la verdadera decisión la tendrá quién aplique y explote estos sistemas para dar solución a alguna situación particular.

Es por ello que el presente trabajo trata de mostrar algunos de los usos de los SIG en materia de ingeniería civil, con la finalidad de crear interés por parte de estos profesionistas ya que seguramente su utilización en este campo traerá grandes beneficios principalmente en la generación de propuestas y soluciones, lo cual sin duda, es la principal labor de los ingenieros.

5.2 Conclusiones

Los Sistemas de Información Geográfica han demostrado ser una herramienta excepcional en el manejo de información espacial, su participación en las distintas tareas de la ingeniería civil han puesto en evidencia su potencialidad obteniéndose de estos resultados muy satisfactorios. Sin embargo, a la fecha, la potencialidad de estos sistemas no ha sido explotada a su máxima capacidad, por una parte debido al poco interés por parte de los ingenieros y por otra tal vez a la falta de conocimiento de sus alcances. Por ello es que el objetivo primordial de este trabajo es mostrar algunos de los usos de estos sistemas en los diferentes campos de acción de la ingeniería civil. Esperando lograr el interés de una mayor población de estos profesionistas mostrando que los Sistemas de Información Geográfica pueden ser una muy buena alternativa en la generación de soluciones.

REFERENCIAS

Peña, J., (2006), "*Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio*", San Vicente Alicante, España, Editorial Club Universitario, tercera edición, pp. 1-6, 77-91.

Conesa, C., (2005), "*Tecnologías de la información geográfica: territorio y medio ambiente*", Murcia, España, Carmelo Conesa García (editor), primera edición, pp. 33-43.

Parra et al. (1997), "*Sistemas de información geográfica base de la gestión ambiental*", Medellín, Colombia, Primera edición.

Gutiérrez, J., (1994), "*Sistemas de información geográfica*", Madrid, España, Editorial Síntesis, 13-39, 225-234.

Maskrey, A. (1998), "*Navegando entre brumas, la aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América latina*", Perú, Andrew Maskrey (editor), pp. 9-11, 35-46.

Universidad Iberoamericana, (2005), "*¿Creceremos sin ingeniería civil?*", México, D.F., U.I., publicación, Primera edición, pp. 85-113.

Barranco, A., (2011), "Caracterización geotécnica del subsuelo de la zona sur del valle de México con aplicación a una obra de infraestructura", tesis de licenciatura FI-UNAM, México D.F.

Ahumada, P., (2005), tesis de licenciatura, "*Uso de los sistemas de información geográfica en los estudios de riesgo sísmico: Aplicación al análisis de sistemas de tuberías, México*", México, IPN, pp. 71-90.

-
- Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría, Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de Estados Americanos, "Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado", Casma Perú, 1993, cap. 10, pp. 10-4, 10-5 y 10-6.
- Reinoso et al. (2010), "Pérdidas en la infraestructura en México ante sismos y huracanes, México, D.F.", Instituto de Ingeniería, UNAM, Volumen 11 Número 1, ISSN: 1067-6079, Dirección URL, <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num1/art05/int05.htm>
- Mena, U. (2007), "Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la Ingeniería civil", Boletín IIE, pp. 62-64.
- Ramos, R. (2007), "Las potencialidades de los Sistemas de Información Geográfica", Revista, Ecofronteras, No. 32, pp. 28-31.
- Sotelo, R. (2003), "Fotointerpretación y procesamiento digital de imágenes aplicados a la caracterización geotécnica de suelos para usos ingenieriles", Chaco, Argentina, Centro de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería UNNA, resumen T-023
- Triviño, A. (2001), "Sistemas de información geográfica y modelizaciones hidrológicas, una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación", boletín de la A.G.E., España, N° 31, pp. 23-47.
- Belmonte y Núñez, (2006), "Desarrollo de modelos hidrológicos con herramientas SIG", GeoFocus (Informes y comentarios), nº 6, pp.15 -27.
- Oñate, F. y Orellana, N. "Aplicación de un SIG en la localización preliminar de potenciales emplazamientos para embalses con fines de riego y generación hidroeléctrica", Loja, Ecuador, Área de Hidrología UGC-SIG, Universidad Técnica Particular de Loja. Campus San Cayetano.
- Backhoff, M. (2005), Transporte y espacio geográfico: una aproximación geoinformática, México D.F., UNAM, México D.F., pp. 188-199