



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Elaboración de un Sistema de Información Geográfica
para definir el peligro en las zonas minadas en la
Delegación Álvaro Obregón, México D.F.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

P R E S E N T A :

FUENTES MENES ADRIÁN OCTAVIO

DIRECTOR: ING. FERNANDO ROSIQUE NARANJO



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Índice

1. Introducción	3
Objetivo	3
Justificación	3
Bosquejo histórico.....	4
Ubicación y Localización de la DAO.....	4
2. Fisiografía	8
Geomorfología.	10
Hidrografía.	12
Clima y Vegetación.....	14
3. Geología	16
Estratigrafía	17
Geología Estructural.....	20
4. Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	22
Historia de los Sistemas de Información Geográfica	22
Sistema de Información Geográfica	24
Componentes de un SIG.....	24
Tipos de Datos.....	26
Funcionamiento de un SIG	29
Proyecciones y sistemas de coordenadas.....	30
5. Análisis y clasificación del peligro.	32
Peligro o amenaza.....	32
Vulnerabilidad.....	32
Riesgo.....	33
Desastre.....	34
Elaboración del mapa-semáforo.....	34
6. Conclusiones.....	47
Futuras líneas de investigación.....	48
Bibliografía	50

1. Introducción

Objetivo

Definir el peligro en las zonas minadas en la Delegación Álvaro Obregón (DAO) del Distrito Federal. De manera particular elaborar un mapa-semáforo para ubicar la distribución de las zonas de peligro en la delegación.

Justificación

A mediados de los años 30's en el Surponiente de la Ciudad de México, donde se ubica la DAO se inició la explotación de arenas con minado a cielo abierto. La demanda y facilidad de su explotación, trajo como consecuencias grandes laboríos como túneles y taludes, que en la actualidad representan los mayores riesgos geológicos para la Delegación.

Han sido explotados, principalmente en la primera mitad del siglo pasado, los depósitos de pómez, cavando en el suelo de manera artesanal y rudimentaria, provocando que una considerable porción de la delegación se encuentre asentada sobre una extensa área cavernosa que por el momento es desconocida en su totalidad, con una alta complejidad para ser cartografiada y que provoca una serie de peligros a la sociedad.

Este trabajo surge de la necesidad de localizar y ubicar espacialmente estos puntos problemáticos; para que si se diera el caso de necesitarlo, poder tomar decisiones adecuadas basadas en una serie de informaciones que proveerán el mejor panorama para poder actuar de mejor forma, mostrando así los muy variados factores que influyen a la mina y su comportamiento.

Estas áreas se ven afectadas propiamente por las oquedades, así como por otros factores que incrementan el peligro con el que se convive a diario. Estos agentes son: estaciones de servicio (gasolineras), estaciones de carburación (gaseras), ductos de PEMEX, red de gas natural, una terminal de almacenamiento y distribución de PEMEX que almacena 45,000 barriles de combustible, dos subestaciones eléctricas a cargo de CFE, la geología, el estar en una zona sísmica, la hidrología; así como innumerables factores que hacen que el peligro aumente.

Bosquejo histórico

La DAO en el pasado tenía el nombre de San Ángel, obtuvo su nombre actual el 9 de enero de 1932, como un homenaje a la memoria del General Álvaro Obregón. A lo largo del tiempo ha sufrido notables modificaciones en su jurisdicción territorial. Por su ubicación comprende parte del antiguo territorio de los municipios de San Ángel, Mixcoac, Tacubaya y Santa Fe.

Durante la época colonial administrativamente estuvo a cargo de Coyoacán; una parte de su territorio estuvo sujeto al marquesado, al caciquismo y también al clero. Durante la cuarta década del siglo pasado, al abrirse la avenida Insurgentes se propició el fraccionamiento de terrenos y la construcción de residenciales tales como Guadalupe Inn, Florida, Hacienda de Chimalistac e incluso el Pedregal de San Ángel. En la década de 1950 a 1960 debido a la saturación de las zonas centrales de la ciudad, se tuvo la necesidad de edificar viviendas en los lomeríos provocando el ensanchamiento de vías de comunicación de San Ángel y de pueblos como San Bartolo Ameyalco y Santa Rosa Xochiac.

En la parte Suroeste de la Delegación surgieron nuevos fraccionamientos para familias con ingresos medios y altos, provocando el encarecimiento del precio del suelo y por tal motivo el abandono de la población de escasos recursos.

En la zona Noroeste se encuentra asentada la población de menores recursos sobre áreas minadas o con pendientes acentuadas, siendo la gran mayoría de éstos asentamientos irregulares.

Ubicación y Localización de la DAO

La DAO se encuentra localizada al Oeste de la Ciudad de México, extendida en forma alargada, desde las altas cimas de la sierra de Las Cruces, hasta las antiguas riberas de la planicie lacustre. Cuenta con una extensión de 96.1 km² lo cual representa el 6.4% de la superficie total de Distrito Federal; ocupa el sexto lugar de las delegaciones en cuanto a la extensión territorial.

Los límites geográficos actuales de la DAO son los determinados por los decretos de 1899 y 1970, los cuales mencionan que al Norte limita con la Delegación Miguel Hidalgo; al Este con las delegaciones Benito Juárez, Coyoacán y Tlalpan; al Sur con las delegaciones Magdalena Contreras, Tlalpan y con el Estado de México; al Oeste con la Delegación Cuajimalpa de Morelos.

La delegación se encuentra formada por 257 colonias, fraccionamientos y barrios, siendo los más importantes: San Ángel, San Ángel Inn, Tlacopac, Ermita, Chimalistac, Florida, Pedregal de San Ángel. Además esta demarcación cuenta con poblados de características rurales como San Bartolo Ameyalco y Santa Rosa Xochiac.



Figura 1. La Ciudad de México, resaltando el polígono de la Delegación Álvaro Obregón.

La Delegación se encuentra ubicada entre los paralelos 19° 14' y 19° 24' de Latitud Norte; los meridianos 99° 10' y 99° 19' de Longitud Oeste, ubicada al suroeste de la cuenca de México. Los datos del censo de población 2010 mencionan que la población actual es de 727, 034 habitantes.

La demarcación de la DAO es la siguiente: a partir del cruce formado por la Avenida Observatorio y el Boulevard Presidente Adolfo López Mateos (Anillo Periférico), se dirige por éste último con rumbo hacia el Sur hasta la intersección con la Avenida Barranca del Muerto; por la cual prosigue hacia el Sureste y Noroeste, siguiendo sus diversas inflexiones hasta llegar a la intersección con la Avenida Río Mixcoac, por la que continúa hacia el Sureste hasta su confluencia con la Avenida Universidad, continúa por ésta hacia el Suroeste hasta el cruce con la Avenida Miguel Ángel de Quevedo, por la cual sigue con rumbo Noreste hasta la calle Paseo del Río, antes Joaquín Gallo, por ésta prosigue al Suroeste hasta llegar a la Avenida de los Insurgentes Sur, continúa por ésta hacia el Sur hasta llegar a la Avenida San Jerónimo, la que sigue con rumbo Suroeste hasta llegar al cruce del Paseo del Pedregal con la Avenida de las Torres, por esta avenida sigue hacia el Oriente hasta la barda que separa el fraccionamiento Jardines del Pedregal de San Ángel del área de Ciudad Universitaria, siguiendo las inflexiones de esta barda en dirección Sur hasta llegar a la calle Valle, en la que cambia de dirección hacia el Oriente hasta llegar al Boulevard de las Cataratas, por éste sigue hacia el Suroeste hasta llegar al Anillo Periférico, en el cual con rumbo Noroeste cruza el antiguo Camino a Santa Teresa, prosigue hasta el punto en que se une con la con la Calzada San Bernabé, por la que se dirige al Suroeste al cruce con la calle Querétaro, de donde continúa al Noreste hasta la intersección con la Barranca Honda, por la cual sigue con dirección Suroeste, aguas arriba, tomando el nombre de Barranca Texcalatlaco hasta unirse con la Barranca de la Malinche a la altura de la prolongación de la calle Lomas Quebradas, continúa por esta barranca hacia el Noroeste, tomando el nombre de Barranca El Carbonero, por cuyo eje continúa aguas arriba hasta su cruce con el lindero que divide el ejido de San Bartolo Ameyalco con los montes comunales de San Bernabé Ocotepc; de donde se dirige al Noroeste por este lindero hasta la mojonera Teximaloya, que define el lindero de los montes de San Bernabé Ocotepc y San Bartolo Ameyalco; de esta mojonera se encamina al Suroeste por los centros de las mojoneras Mazatepec, Ixquialtuaca, Zacaxontecla, hasta llegar a la mojonera llamada Tecaxtitla; de ésta, sigue al Oriente por el lindero de los montes comunales de San Bartolo Ameyalco y la Magdalena pasando por el punto denominado Zacapatongo, hasta el lugar conocido como Cabeza de Toro; de aquí continúa hacia el Sur por el lindero de los montes de Santa Rosa Xochiac y la Magdalena, hasta el punto conocido por la Cruz de Coloxtitla, donde existe un monumento de mampostería

con forma de prisma de base cuadrada que define el vértice de los linderos de los montes comunales de Santa Rosa Xochiac, el Parque Nacional de el Desierto de los Leones y monte comunal de la Magdalena; de este punto sigue al Suroeste por el lindero del monte comunal de la Magdalena con el Parque Nacional de el Desierto de los Leones, hasta el punto denominado Cruz de Colica; de donde continúa al Suroeste hasta el punto conocido por Hueytzoco, que define un vértice de los límites del Distrito Federal con el Estado de México; de aquí sigue al Norte hasta la cima del Cerro de San Miguel; de ahí continúa en línea recta con dirección Noreste, hasta el punto de intersección del camino que conduce de Tlaltenango a Santa Rosa con la Barranca de Azoyapan, siguiendo por esta barranca que adelante toma el nombre de Río Mixcoac, hasta encontrar el centro de la mojonera número 35, de esta mojonera continúa hacia el Noroeste hasta la mojonera Km 18; de este punto prosigue hacia el Noroeste por la carretera federal México-Toluca, hasta su confluencia con la Avenida de los Constituyentes, por la cual prosigue hasta el cruce con la Avenida Observatorio; de donde se dirige rumbo al Oriente hasta el Boulevard Presidente Adolfo López Mateos, punto de partida.

2. Fisiografía

El Distrito Federal se encuentra en la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico, en la subprovincia denominada Lagos y Volcanes de Anáhuac (INEGI, Geografía y Topografía); su territorio se encuentra distribuido sobre nueve sistemas de geoformas. (Figura 1)

A continuación se mencionan los nueve sistemas, entendiendo que sólo algunos de éstos poseen las características afines al polígono de estudio (Figura 2, Tabla 1)

- a) *Sierra volcánica con estrato volcanes*. Abarca casi 42% en la parte sur del Distrito Federal; en el centro y oriente de la delegación Iztapalapa.
- b) *Sierra volcánica de laderas escarpadas*. Se encuentra al occidente en las delegaciones Cuajimalpa de Morelos, La Magdalena Contreras y el sur de la delegación Álvaro Obregón.
- c) *Sierra escudo volcán*. Se ubica en el extremo norte del Distrito Federal.
- d) *Lomerío*. Ubicado al norte, representa menos del 1% del territorio del Distrito Federal.
- e) *Lomerío con cañadas*. Abarca la delegación Miguel Hidalgo, así como el norte de las delegaciones Cuajimalpa de Morelos y Álvaro Obregón.
- f) *Meseta basáltica malpaís*. Se ubica al centro y sureste del Distrito Federal, básicamente comprende parte de las delegaciones Tlalpan, Xochimilco, Coyoacán y en una porción mínima Milpa Alta.
- g) *Llanura aluvial*. Es una franja que se extiende de noroeste a este, también en la porción norte y este del Distrito Federal.
- h) *Llanura lacustre*. Abarca más del 20% del Distrito Federal, se encuentra ubicada en la parte noreste del Distrito Federal.
- i) *Llanura lacustre salina*. Se encuentra principalmente sobre el límite al noreste del Distrito Federal, colindando con el Estado de México



Figura 2. Provincia fisiográfica “Eje Neovolcánico”

<i>Provincia</i>	<i>Subprovincia</i>	<i>Sistema de Geoformas</i>	<i>% de la superficie estatal</i>
Eje Neovolcánico	Lagos y Volcanes Anáhuac	Sierra volcánica con estrato volcanes	41.8
		Sierra volcánica con laderas escarpadas	9.93
		Sierra escudo volcán	1.33
		Lomerío	0.39
		Lomerío con cañadas	7.72
		Meseta basáltica malpaís	9.43
		Llanura aluvial	5.21
		Llanura lacustre	20.35
		Llanura lacustre salina	3.84

Fuente INEGI. Atlas Cartográfico de la Ciudad de México y área conurbada

Tabla 1. Fisiografía del Distrito Federal.

La DAO está conformada por un conjunto de estructuras volcánicas que alcanzan una altitud máxima de 3820 metros sobre el nivel del mar en el cerro del Triángulo; la mínima se localiza a los 2260 m. En la DAO existen otras elevaciones importantes, como son el Cerro de San Miguel, de 3780 m; el Cerro La Cruz de Cólica o Alcalica, de 3610 m; el Cerro Temamatla, de 3500 m; El Ocotlal, de 3450 m y Zacacontetla, de 3270 m.

Geomorfología.

El relieve de la DAO se encuentra conformado por dos regiones: la de llanuras y lomeríos y la de montañas y pedregales. (*Figura 3*)

La región de llanuras y lomeríos se encuentra ubicada al oriente de la DAO, en los límites con las delegaciones Benito Juárez y Coyoacán, y al poniente hasta la base de la Sierra de las Cruces.

En esta zona se encuentran comprendidas las tierras bajas y llanas, que están casi al nivel del antiguo lago de Texcoco; los lomeríos se pueden considerar hasta las faldas de las altas montañas del sur y del poniente. Entre llanuras y lomeríos no hay grandes diferencias, ya que la altura de las lomas, con respecto al nivel de la llanura, no excede los 100 m; poseen una altura sobre el nivel del mar de aproximadamente 2265 m y los lomeríos de aproximadamente 2340 m en promedio. Poseen pendientes de 1.5° y están constituidas por una red de barrancos de anchura máxima de 100 m.

Para el asentamiento humano, la llanura es el lugar más adecuado, así como también para el desarrollo industrial; esta porción del territorio es la que actualmente posee la mayor densidad de población.

La región de las montañas constituye las partes más altas de la demarcación se encuentra enclavada en la Sierra de las Cruces, con sus cumbres, mesetas, pequeños valles, cañadas y barrancas como las denominadas Jalalpa, Golondrinas, Mixcoac, Del Muerto, El Moral, La Malinche, Atzoyapan y Hueyatla. Esta zona comprende desde los 2400 y 2750 msnm, presenta un relieve de planicie inclinada de 4° a 8°, cortado por barrancas de hasta 100 m de profundidad; conforman las laderas superiores de los abanicos volcánicos de la Sierra de las Cruces.

2. Fisiografía

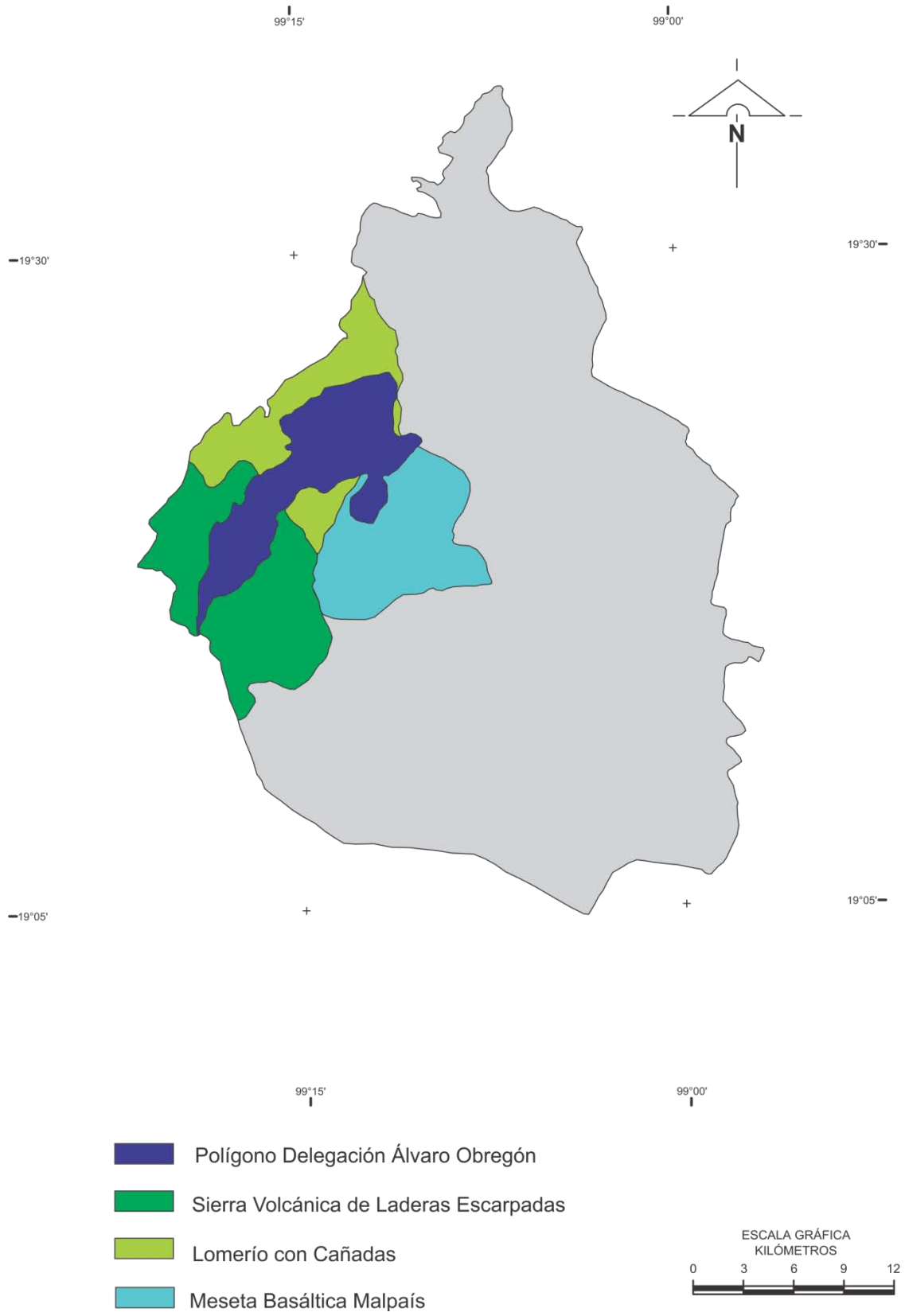


Figura 3. Sistema de geoformas que abarca la DAO

La zona de los pedregales se originó a partir de las erupciones del volcán Xitle, tiene una altitud de 3050 msnm, su falda norte está cubierta por lava volcánica que se extendió hacia las poblaciones de Tizapan, Chimalistac, Copilco y Coyoacán y por el oeste a San Jerónimo y Contreras y por el este a Tlalpan y Santa Úrsula. Este pedregal ocupa una superficie de 90 km². La altura media de los pedregales es de 2750 msnm y su espesor varía entre 4 y 10 m.

Esta descripción se encuentra reflejada por la clasificación del Reglamento de Construcciones, ya que se conforma por la Zona II de Transición, en una pequeña porción al oriente de la demarcación, que coincide con la zona de llanura y lomeríos y la Zona 1 de Lomas, en la cual se encuentra la mayor parte de la DAO y que abarca de la parte central hacia el poniente.

Hidrografía.

La DAO cuenta con una importante red pluvial que se encuentra formada por sus barrancas y cañadas, que constituyen el descenso natural del agua en su camino hacia la cuenca. Las corrientes de agua forman ocho subcuencas pluviales que corresponden a los ríos Tacubaya, Becerra, Mixcoac, Tarango, Tequilazco, Tetelpan, Texcalatlaco y Magdalena, que son abastecidos por agua de lluvia y por cinco manantiales localizados en la montaña.

En la DAO se reconoce una densa red fluvial, que es favorecida por las abundantes precipitaciones que son producidas en la parte alta de las montañas y por la constitución del pie de monte que es fácilmente cortado por los ríos. El gran número de escurrimientos que provienen de la Sierra de las Cruces y de una erosión remontante que se inicia en la ribera lacustre, han originado el sistema hidrológico actual.

El río Tacubaya nace en las laderas del cerro Cuajimalpa, se dirige por el noreste hasta unirse con el río Becerra para posteriormente formar el río de la Piedad; sus principales alimentadores son los manantiales de Santa Fe. A lo largo del río Tacubaya se ha construido la presa del mismo nombre. La cuenca de este río tiene una topografía accidentada lo cual origina grandes escurrimientos.

El río Becerra nace en el cerro Cuajimalpa, sigue en dirección noreste hasta unirse al río Tacubaya, y juntos forman el río de la Piedad, que entubado cruza la ciudad y desemboca en el lago de

Texcoco. Su cuenca es bastante impermeable; sobre él se construyó la presa Becerra I y II, cuyas principales afluentes son las barrancas Las Palmas, Tecolocalco, Ojalalpa y Tecolote.

El río Mixcoac se ubica en la parte central de la DAO, con una longitud de 7 km y una superficie de 37 km²; con una densidad aproximada de 2.5 km de cauce cada km². Este río nace en los límites con el Estado de México, en las laderas del Cerro de San Miguel; limita al oeste con la cuenca del río Borracho (afluente del río Hondo) y la Barranca de Becerra; al este con las barrancas de Guadalupe y Tarango.

Se desplaza hacia el norte hasta casi llegar al convento del Desierto de los Leones, en donde cambia de dirección hacia el noreste. Se encuentra alimentado por varios manantiales y su afluente principal es la Barranca del Muerto; en Xoco se une al río Magdalena para formar el río Churubusco. Sobre éste se construyó la Presa y la Primera Represa Mixcoac.

El río Tarango nace a los 2670 msnm, a la altura del pueblo San Jerónimo Lídice, se desplaza en dos cauces paralelos, uno que se ubica en Puente Colorado y el otro ubicado en Puerta Grande, que finalmente se juntan en la Presa Tarango, de donde se deriva el colector Barranca del Muerto que se une al colector del río Churubusco.

El río Tequilazco nace en las laderas del cerro Pahueyxiotl, limita noroeste con la cuenca del río Mixcoac y al este con la cuenca del río Texcalatlaco; sigue su rumbo hacia el noreste hasta unirse al río Magdalena, a la altura de los Viveros de Coyoacán. Tiene una longitud de 15 km; en su trayectoria capta algunos manantiales como los de San Bartolo Ameyalco y los escurrimientos de Lomas de Axomiatla, Lomas de Guadalupe y Las Águilas. Sobre este río se construyeron las presas Tequilazco y La Mina, en donde se conecta el colector del río San Ángel.

El río Tetelpan nace en la unión de las calzadas del Desierto de los Leones y Olivar de los Padres, capta los escurrimientos de Tetelpan y el Olivar de los Padres, en donde se construyó la Presa Olivar. El río Texcalatlaco nace en las laderas del cerro Campamentos y está limitado al sureste por las barrancas de Anzaldo, al norte y oeste por las barrancas de Guadalupe y Tetelpan. Se dirige hacia el noreste y se une al río Magdalena; en su cauce se construyó la Presa Texcalatlaco.

El río Magdalena tiene su nacimiento en la base del cerro de la Palma y se encuentra limitado al noreste por la cuenca del río Eslava y al noreste por las cabeceras de los ríos Mixcoac, Barranca de Guadalupe y San Ángel. Sigue una dirección noreste, posee varios afluentes como el río Eslava y la

barranca de la Providencia o Tequilazco. Se une al río Mixcoac y forman el río Churubusco, el cual desagua en el lago de Texcoco. Además de la precipitación existen varios manantiales que lo alimentan, como el Hueyatla, Ventanas, La Rosa y Pericos. Tiene una longitud aproximada de 22 km, sobre el río se construyó la presa de Anzaldo y a lo largo de éste corre el lindero entre las delegaciones Álvaro Obregón y Magdalena Contreras.

Clima y Vegetación.

En la DAO, el clima es templado, sufre variaciones notables debido a cambios violentos de altura; en la parte baja, hasta los 2410 msnm, la temperatura media anual varía de 14.9°C a 17.1°C durante los meses de abril a junio; la temperatura mínima se registra en los meses de diciembre a febrero y esta es de aproximadamente 10° C. C(w1).

En la zona central de la DAO, hasta los 3100 msnm, la temperatura media anual es de 15.5°C, variando la máxima a los 17°C para los meses de abril a junio; las temperaturas mínimas se presentan de diciembre a febrero y son de 13.2°C. C(w2).

En la parte sur de la DAO, el clima deja de ser templado para convertirse en un clima semifrío. La temperatura media anual es de 10.7°C, la máxima se presenta en los meses de abril a junio y alcanza los 12°C y la mínima es de 8.1°C. C(E)(w2).

Por último en la porción que se encuentra totalmente al sur de la DAO el clima es frío, la temperatura media anual corresponde a los 12°C en las partes más bajas y 5°C en las cimas de las sierras. C(E)(m).

La vegetación en la DAO se encuentra determinada por varios factores como son: el suelo, el agua y el clima; la vegetación consiste, en la parte baja del territorio en arbustos y árboles que han sido sembrados en áreas verdes o recreativas que rodean las zonas urbanas. En la parte media de la DAO, entre los 2500 y los 3000 m de altitud, se encuentra un bosque mesófilo de montaña que cubre gran parte de las laderas y cañadas de la Sierra de las Cruces. La vegetación típica de esta área consiste en abundantes epifitas, como los musgos, helechos y trepadoras leñosas. Las especies de árboles que sobresalen son el encino, el limoncillo y los pinares bajos, que en general crecen asociados, los pinos más comunes son los ocotes y los pinos Hartwegui; estos últimos son

los más resistentes a las condiciones climáticas, debido a la contaminación se presentan con poca densidad.

En las zonas mayores a los 3000 m, se observan bosques de coníferas, en los que predominan los encinos y pinares que alcanzan alturas entre los 5 y los 12 m. En la parte sur delegacional se observan pequeñas comunidades de bosques oyamel que no llegan a tener gran desarrollo.

En la zona del Pedregal de San Ángel la vegetación es muy distinta, se encuentran algunas comunidades vegetativas endémicas como lo son el palo loco, palo dulce, el tabaquillo, los tepozanes y el copal.

3. Geología

Las rocas que afloran en la DAO son del Terciario-Cuaternario, su posición estratigráfica y edad absoluta han sido establecidos gradualmente en los últimos años, cabe mencionar que no de forma definitiva. En el área solo afloran rocas de origen volcánico así como materiales derivados de éstas, cuyas edades son consideradas del Oligocen al Reciente. (Figura 4)

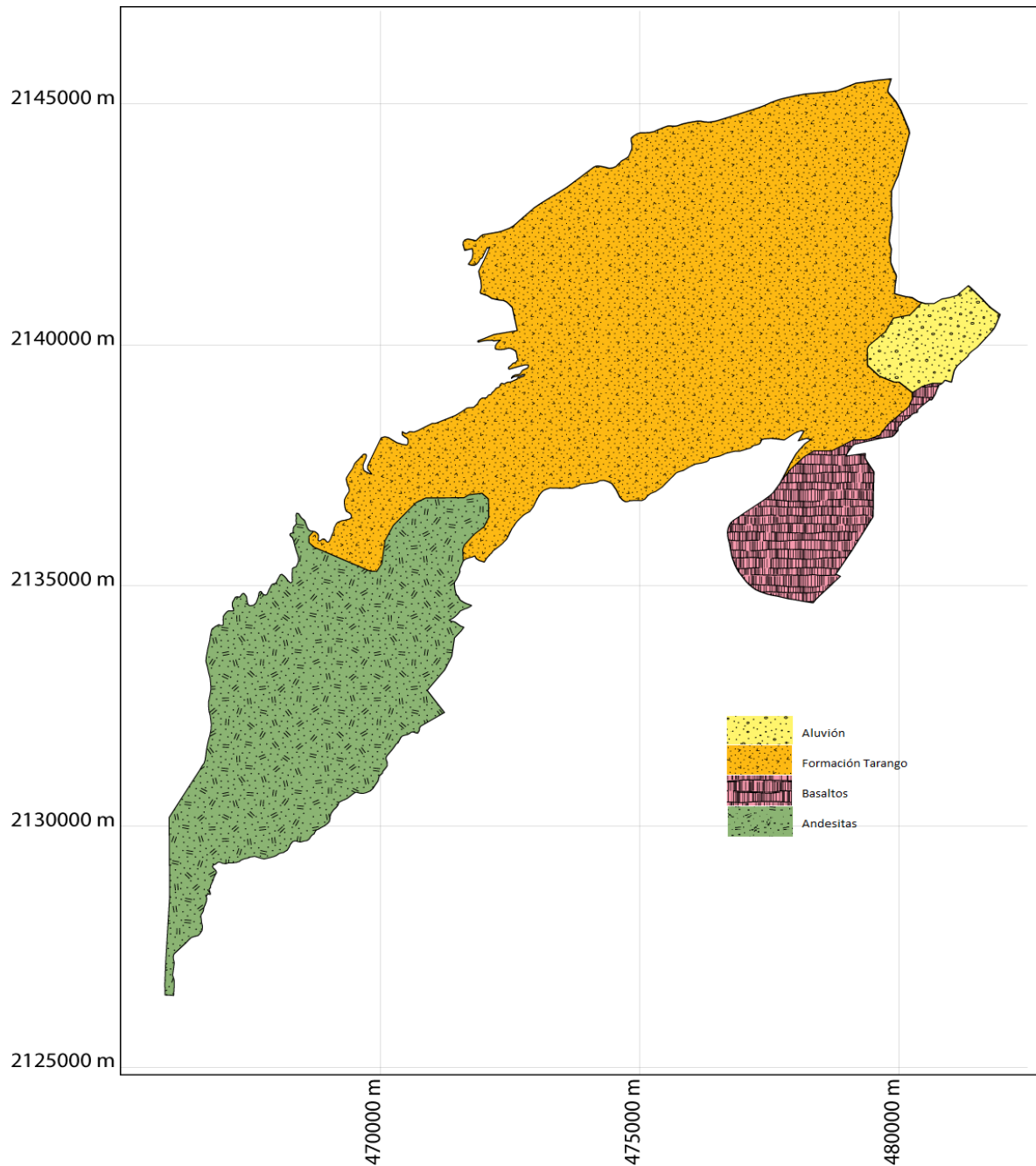


Figura 4. Mapa litológico de la Delegación Álvaro Obregón.

El área esta constituida por una alternancia de depósitos vulcano-sedimentarios resultado de la actividad volcánica que dio origen al conjunto morfoestructural de la Sierra de las Cruces y es indicio del fin del gran vulcanismo en la región.

La unidad más antigua consiste en rocas volcánicas andesíticas y dacitas del mioceno, con intercalación de depósitos de arenas pumicíticas, tobas arenosas y arcillosas, lahares de fragmentos de diversos tamaños en una matriz tobácea y arcillosa, por último tobas alteradas, horizontes de pómez y suelos arcillosos. Esta zona se denomina de Lomas, formada por rocas generalmente firmes depositadas fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En el sureste se extiende una gran losa rocosa conformada por basaltos y andesitas basálticas que fluyeron desde el Volcán Xitle, intercalados con horizontes de escoria (tezontle) y con estructuras primarias como túneles de lava y chimeneas de explosión. El área de afloramiento de esta unidad corresponde a la zona de los pedregales.

La parte más baja de la delegación está cubierta por acumulaciones lacustres. En el lecho de los ríos y en las desembocaduras de las cañadas existen depósitos de materiales fluviales consistentes en arenas y gravas de rocas ígneas andesíticas y dacíticas y fragmentos de piroclastos de pómez. La zona lacustre está integrada por potentes depósitos de arcilla altamente comprensible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables. Suelen estar cubiertos por suelos aluviales y rellenos artificiales.

Estratigrafía

La secuencia estratigráfica conocida en la Cuenca de México abarca desde el Cretácico hasta el Cuaternario, aunque en la superficie sólo afloran rocas de origen volcánico y derivadas de éstas, cuyas edades más antiguas son consideradas del oligoceno (Mooser, 1956, 1975; Schlaepfer, 1968, Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989).

Las rocas que afloran en la DAO son de edad cuaternaria y su posición estratigráfica y edad absoluta han sido establecidas gradualmente en los últimos años; el piedemonte está constituido

por varios tipos de sedimentos, que Bryan (1948) y Arellano (1953) llamaron Formación Tarango, Bryan consideró que la Formación Tarango es de unos 300 m de espesor al suroeste de Mixcoac.

Mooser et al (1992) reconocieron en el piedemonte de la Sierra de las Cruces las siguientes unidades litológicas: (1) derrames piroclásticos, arenas azules de 270,000 años; (2) erupciones piroclásticas Xolopo de 430,000 años; (3) tres erupciones plinianas de pómez; (4) derrames piroclásticos Cuquita; (5) erupciones de nubes ardientes menores de polvo fino de menos de 600,000 años.

Lugo-Hubp et al (1995), definieron en campo seis unidades litológicas principales para la Formación Tarango, las cuales se describen a continuación:

- 1) Piroclastos finos, principalmente cenizas de color amarillo claro a pardo, en partes con un tono rosado. Es el depósito con mayor distribución horizontal y vertical; se observa tanto en la parte superior de las columnas, así como en la inferior. El espesor mínimo es de aproximadamente 50 cm y el máximo de casi 50 m observables.
- 2) Ceniza con clastos angulosos, mal clasificados, con tamaños máximos de 70 cm en promedio de 15 cm y el mínimo de 0.5 cm; se trata de material andesítico de colores rojo y gris. Esta capa tiene un espesor de hasta 2 m y un mínimo de 50 cm.
- 3) Ceniza con pómez, es una capa transicional entre dos unidades distintas en contacto normal. El espesor máximo de 1.5 m y el mínimo es de 50 cm; la pómez es de color blanco, con fragmentos de 0.5 a 5 cm, bien redondeados.
- 4) Pómez. Es un tipo de depósito abundante en la DAO; se observa en forma continua, principalmente en el subsuelo, a poca profundidad, por lo general yaciendo bajo el depósito que originó un derrame piroclástico. Esta capa ha sido observada en la mayoría de las barrancas del piedemonte. Hacia la parte inferior, el espesor de las capas de pómez se reduce y aumenta en dirección sureste.

Han sido observadas hasta tres capas de pómez Pantoja-Alor (1991) y Mooser et al (1992), separadas por otros depósitos volcánicos (ceniza, ceniza con pómez, depósito de derrame piroclástico).

Tres tipos principales de pómez han sido reconocidos:

- a) En capas casi horizontales; es el tipo dominante en la DAO, con un espesor máximo de 5 m y un mínimo de 50 cm; predominando los cercanos a 1.5 m; se trata de materiales de color amarillo claro.

- b) Pómez fina, con poca presencia en la DAO, de color blanco, constituida por fragmentos pequeños, menores de 3 mm y de hasta 5 mm; se presenta en lentes de 10 a 15 cm de grosor.
 - c) Pómez rosa. Se presenta en estratos de 1 a 3 m de espesor, con fragmentos que varían de 1 a 15 cm de diámetro, donde predominan los de tamaño cercano a los 10 cm.
- 5) Depósitos de derrames piroclásticos. Son reconocidos tres tipos:
- a) Clastos mal clasificados, angulosos, con tamaños variantes entre los 2 y los 5 cm que llegan a alcanzar un máximo de 15 cm, de color gris azulado, en general, y en ocasiones rosa o pardo rojizo; poco consolidados. Se encuentran en capas de 5 m o más de grosor, apoyados generalmente en tobas o pómez. Al norte de la DAO en la autopista a Toluca, frente a la Universidad Iberoamericana, las capas alcanzan más de 30 m de espesor, con grandes bloques de hasta 1 m, predominando los de 10 a 15 cm.
 - b) Una capa delgada, que va de los 60 cm. hasta los 2 m., con clastos angulosos, bien clasificados, de 1 a 5 cm., bien cementados, descansando en forma concordante, generalmente sobre pómez; esta capa es la que tiene mayor extensión en la DAO.
 - c) Sedimentos volcánicos de color gris azulado. Son clastos angulosos bien clasificados, de tamaños variantes, desde algunos milímetros hasta los 3 cm, poco consolidados y dispuestos en forma masiva.
- 6) Depósitos de lahar o de derrame piroclástico, de un grosor observable aproximado de 35 m con bloques de andesita de hasta 1.5 m de diámetro, angulosos; la clasificación del material es mala y los tamaños varían hasta el centímetro, aunque los más representativos oscilan entre los 10 a 20 cm; presentan una compactación regular, cementados con piroclastos finos con pómez.
- 7) Depósitos de derrame de lodo, característicos de corrientes montañosas. Generalmente consisten en bloques angulosos y subredondeados con clasificación regular, con tamaños máximos de 1m de diámetro, un promedio entre los 10 y 20 cm y mínimos de 1 a 5 cm; a diferencia de los depósitos de lahar, se presentan en capas de menor espesor y con una mejor clasificación de los detritos. Son los depósitos característicos de desembocadura de arroyos montañosos.
- 8) Conglomerados, principalmente en la base de las barrancas. Consisten en cantos bien clasificados, redondeados, con un tamaño máximo de 2 a 5 m, con un mínimo de 1 a 5 cm.

- 9) Las lavas del volcán Xitle, de aproximadamente 2200 años, ocupan una porción pequeña de la DAO, la correspondiente a la colonia Pedregal de San Ángel, donde cubrieron con varios metros, a capas de pómez como las descritas anteriormente.

Geología Estructural

En la DAO se reconocen 6 fallas principales (Cordero Estrada, 1992), aunque no se descarta la existencia de más. A continuación se describen éstas (*figura 5*):

1. **Falla Contadero.** Dividida en dos estructuras que se encuentran en estrecha relación; el primer tramo se encuentra en dirección noroeste, con un rumbo N45°E, hasta el fraccionamiento Lomas de Vista de Hermosa y a partir de este punto una orientación sureste hasta su terminación, donde choca con la falla Santa Fe, en un rumbo N80°E. Su longitud aproximada es de 10 Km, el desplazamiento vertical de la misma es de 20 m y el bloque hundido se localiza al noroeste para los dos tramos en que se divide la falla.
2. **Falla Santa Fe.** Es la más extensa, con una longitud aproximada de 17 Km ligeramente convexa hacia el noroeste, desde Santa Rosa Xochiac hasta el suroeste, posee un rumbo N40°E. Al noreste, el rumbo varía a N60°E; se ha inferido que el bloque caído se encuentra al suroeste, el desplazamiento de la falla fue vertical el cual no se ha medido en campo; posteriormente sufrió un desplazamiento horizontal cerca de la zona en donde colisiona con la falla Contadero, este desplazamiento se ha calculado en 1500 m aproximadamente.
3. **Falla Atzoyapan.** Se ubica al sureste, con una longitud superficial de 11 Km con una trayectoria casi recta. Su rumbo es N60°E, el desplazamiento vertical es de 20 m aproximadamente y se considera que el bloque hundido esta al noroeste.
4. **Falla Puente Colorado.** Se extiende desde Santa Rosa Xochiac, al noreste, hasta la Barranca del Muerto, tiene aproximadamente 10 Km de longitud, el bloque caído se encuentra al noroeste, la falla se divide en dos, el tramo que se sitúa al suroeste tiene un rumbo N60°E y el que se encuentra al noreste presenta un rumbo N65°E. A 4 Km de Santa Rosa Xochiac, es atravesada por una falla oblicua que se extiende 500 m al sureste; con una longitud superficial de 5 Km al noreste.
5. **Falla Texcalatlaco.** Se extiende desde las cercanías de San Bernabé Ocotepc hasta la presa Tarango, tiene una longitud de 7 Km y una trayectoria convexa hacia el noroeste; la mitad que se ubica al suroeste presenta un rumbo N40°E y la situada al noreste N60°E. Se

considera una falla de desplazamiento vertical y horizontal, el bloque del caído se encuentra al sureste.

6. **Falla Contreras.** Se localiza a lo largo de la barranca del Río Magdalena, tiene una longitud superficial de 13 Km aproximadamente; se extiende las proximidades del cerro La Palma hacia el noreste, hasta Contreras, donde se pierde en la zona urbana. Su rumbo es de N55°E; es una falla de desplazamiento vertical (Mooser, 1975).

Estas fallas controlan la red fluvial de la zona, sobre todo los ríos más importantes.

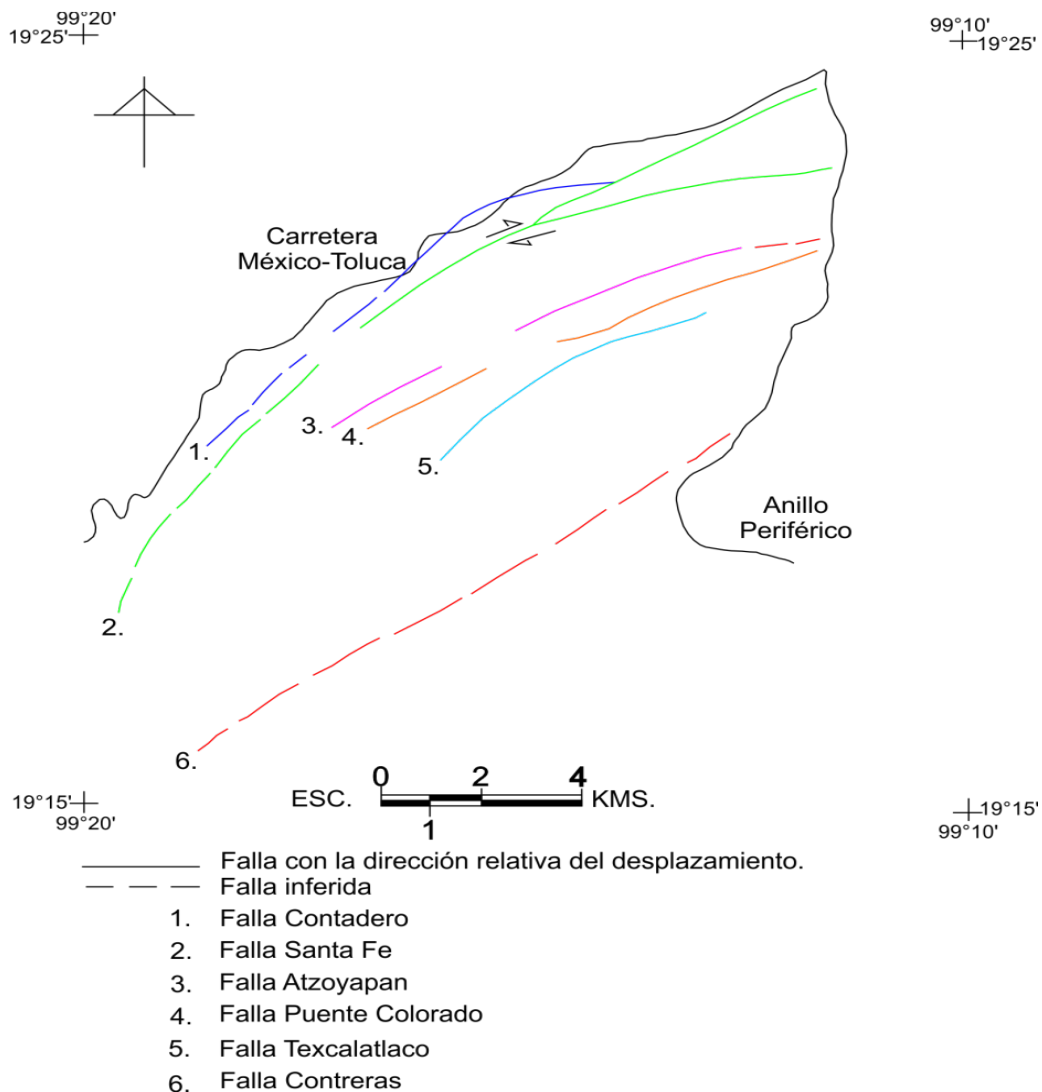


Figura 5. Fallas en la Delegación Álvaro Obregón.

4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

En la década de los 70's, con el desarrollo de la tecnología informática, aparecieron una serie de programas cuya finalidad era gestionar datos espaciales georeferenciados. En los primeros momentos se necesitaba un potente instrumental para poder trabajar con ellos; pero poco a poco se fueron desarrollando mejoras técnicas que han ido simplificando y popularizando la utilización de este tipo de programas.

Algunos autores han llegado a afirmar que *“los Sistemas de Información Geográfica son el paso adelante más importante desde la invención del mapa”* (Chorley, 1987). No se sabe si realmente este “novedoso” invento sea tan crucial pero, sin duda, se trata de una interesante y útil herramienta que facilita la compilación, análisis y divulgación de los datos espaciales. Además, *“los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen numerosas ventajas respecto a la cartografía convencional, puesto que de forma automática permiten manejar datos espaciales internamente referenciados, producir mapas temáticos y realizar procesos de información de tipo digital”* (Conesa García, 1996). Todo esto argumenta todo aquel esfuerzo de síntesis que se realice para conocer y entender mejor los aspectos más relevantes de estos sistemas.

El desarrollo actual de los SIG ha sido paralelo al progreso del hardware y software informático. Los avances tecnológicos que han sufrido las computadoras personales se han visto correspondidos con unos Sistemas de Información Geográfica más potentes y mucho más sencillos de manejar.

Historia de los Sistemas de Información Geográfica

El antecedente histórico de lo que inicialmente podría considerarse un SIG, aunque falto del instrumental informático actual, es el protagonizado en el año de 1854 por el pionero de la epidemiología, el Dr. John Snow, ya que determinó el foco de cólera en el distrito de Soho, Londres. Este mapeo, permitió a Snow localizar con precisión un pozo de agua contaminado como fuente causante del brote. Si bien, la cartografía topográfica y temática ya existía, el mapa que elaborara Snow se convirtió en el único hasta el momento, que, utilizando los métodos cartográficos, no solo representaba la realidad, sino que se analizaba por primera vez los conjuntos de fenómenos geográficos dependientes.

MIMO (Map In Map Out) 1959, desarrollado por Waldo Tobler, es una de las primeras aplicaciones informáticas destinadas a la cartografía asistida por computadora, siendo ésta la primera que planteara los problemas de tratamiento de datos geográficos, su captura, su análisis y presentación; englobando de este modo todos los elementos básicos de un SIG.

El primer SIG como lo conocemos actualmente, es el Canadian Geographical Information System (CGIS), iniciado en 1964 y activo desde 1967. Se dedica al inventario y planificación de ocupación del suelo en grandes zonas. (Departamento de Agricultura de Canadá, Roger Tomlinson, IBM).

DIME (Dual Independent Map Encoding) es uno de los primeros intentos de resolución de los problemas que surgen en el CGIS; creado en 1967 por la administración de los Estados Unidos. Este desarrollo aportó ideas y soluciones para desarrollar y mejorar las estructuras topológicas de los datos vectoriales.

En 1968 la Universidad de Harvard desarrolla el SYMAP (Synagraphic MAPping) un programa de cartografía asistida por computadora y que tiene su continuación en los programas de trazado de curvas, como el CALFORM en 1970; aún no es posible la elaboración interactiva de mapas.

Junto al desarrollo de SYMAP (vectorial) se desarrolla GRID (raster), que posteriormente es ampliado con IMGRID. Al mismo tiempo en la Universidad de Yale se desarrolla el Map Analysis Package (MAP), base para el posterior desarrollo de programas como ERDAS e IDRISI.

En 1969 Ian McHarg publica "Design with nature", referencia paradigmática en la que se plantea la metodología SIG, un método manual de superposiciones de transparencias de matrices binarias, con el cual se formula el concepto de SCA (análisis de capacidad-susceptibilidad) de gran importancia en el futuro desarrollo de las capacidades analíticas de los SIG.

Hacia finales de la década de los 60's comienzan a surgir las primeras aportaciones comerciales, así en 1969 fue creado el Environmental Systems Research Institute (ESRI), así como otras empresas dedicadas a los SIG, tal es el caso de Intergraph, Computervision y Synercom.

Así en los años 80's se da la expansión del uso de los SIG, facilitado por la comercialización simultánea de un gran número de herramientas de dibujo y diseño asistido por computadora (CAD o CADD), así como la generalización del uso de computadoras y estaciones de trabajo en la industria.

4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG han estado considerados hasta ahora como herramientas muy tecnificadas y complejas en manos de científicos y tecnólogos. Hoy esto está cambiando y están siendo aceptados en el mercado comercial cada vez más, en función de dos factores primordiales: la existencia de geodatos en formato digital al alcance de todos y la sencillez de manejo y accesibilidad a los mismos y a la simplicidad de las herramientas que poseen.

Es cada vez más común el uso de los SIG en la Geología, especialmente en el ámbito de riesgos su uso se ha intensificado, ya que es una herramienta que permite realizar una gran variedad de análisis y que facilita la toma de decisiones.

Los SIG en el área de riesgos actualmente se utilizan para análisis regionales de peligro por deslizamientos (Pradhan, et al 2007); para la predicción de riesgos de volcanes (Renschler, 2005), la evaluación del riesgo volcánico (Felpeto et al, 2007); para modelos de riesgo por avalanchas de nieve (Gruber et al, 2007); se emplean en la predicción de peligros inducidos por terremotos (Chang-Guk Sun et al, 2008) por nombrar algunos, la utilidad de los SIG es infinita y hay tantas aplicaciones como temas existen.

Sistema de Información Geográfica

Un sistema de información geográfica (SIG) integra hardware, software y datos para capturar, administrar, analizar y mostrar todas las formas de información geográficamente referenciada.

Un SIG permite visualizar, comprender, cuestionar, interpretar y analizar los datos en muchos aspectos que revelan las relaciones, patrones y tendencias en forma de mapas, globos terráqueos, informes y gráficos.

Un SIG ayuda a responder preguntas y resolver problemas al mirar los datos en una forma que sea rápidamente entendida y compartida con facilidad.

Componentes de un SIG

Básicamente un SIG está estructurado por cuatro elementos fundamentales que son: hardware, software, datos y el recurso humano.

El hardware o el componente físico del sistema se compone de una computadora o estación de trabajo y una serie de periféricos englobados en dos grupos fundamentales: de entrada y de salida. En los primeros se pueden incluir las mesas digitalizadoras, los scanners y el teclado; en los segundos, plotter, impresoras y monitores. Como un grupo aparte, deben ser tratadas las unidades de almacenamiento.

En cuanto al software, es el encargado de realizar las operaciones y la manipulación de los datos. La variedad de modelos depende de las diferentes marcas comerciales que ofrecen sus productos. La facilidad de acceso, la capacidad de almacenamientos y procesamientos y la posibilidad de análisis complejos serán elementos esenciales a valorar en la calidad de un programa SIG. Cada vez es más numerosa la oferta de programas, destacando algunos como Arc-Info, IDRISI, Mapinfo, Osu-Map, ERDAS, etc. así como la diversa gama de software libre con la que actualmente se puede contar.

Los datos geográficos constituyen la base de todo el sistema; sin ellos no tiene sentido ni el software ni el hardware. La dificultad en la adquisición de algunos y lo perentorio de su actualidad provoca que sea este elemento el más costoso de todos los componentes de un proyecto utilizando un SIG. Los datos pueden consumir el 70% de todo el presupuesto de un proyecto; el éxito del proyecto no está garantizado si no se tiene asegurada la actualización periódica de los datos. La dificultad en su representación es otro factor a tener en cuenta a la hora de organizar e introducir la información en el sistema.

Los usuarios tienen un papel importante en la configuración estructural de un SIG. Éste se encuentra orientado para su uso. No tiene sentido un SIG correctamente estructurado que no se encuentre pensado para ser utilizado por todo tipo de personas. Hay dos tipos de usuarios; los especializados y el público en general. Se denomina *especializados* a aquellos que trabajan con los sistemas en algunas de sus fases (introducción de datos, corrección, análisis, elaboración de cartografía, etc.), y que por ello deben tener una formación especializada; y *público en general* sería aquel que en algún momento tuviera que requerir información, sea la que fuese, de un SIG concreto. En este caso no se requiere una formación específica, y la adaptación debe estar en sistema que debe ser “amigable”.

Tipos de Datos

Los datos de un SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes, litologías, ríos, etc.). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial.

Los SIG que se centran en el manejo de datos en formato vectorial son más populares en el mercado. No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios que requieran la generación de capas continuas, necesarias en fenómenos no discretos; también en estudios medioambientales donde no se requiere una excesiva precisión espacial (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.).

Raster. Un tipo de datos raster es, en esencia, cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. El modelo de SIG raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor.

Cualquiera que esté familiarizado con la fotografía digital reconoce el píxel como la unidad de información de una imagen. Una combinación de estos píxeles creará una imagen, a distinción del uso común de gráficos vectoriales escalables que son la base del modelo vectorial. Si bien una imagen digital se refiere a la salida como una representación de la realidad, en una fotografía o el arte transferidos a la computadora, el tipo de datos raster reflejará una abstracción de la realidad. Las fotografías aéreas son una forma comúnmente utilizada de datos raster con un sólo propósito: mostrar una imagen detallada de un mapa base sobre la que se realizarán labores de digitalización. Otros conjuntos de datos raster contendrá información relativa a elevaciones, un Modelo Digital del Terreno (DEM), o de reflexión de una particular longitud de onda de la luz (las obtenidas por el satélite LandSat), etc.

Los datos raster se compone de filas y columnas de celdas, cada celda almacena un valor único. Los datos raster pueden ser imágenes (imágenes raster), con un valor de color en cada celda (o píxel). Otros valores registrados para cada celda puede ser un valor discreto, como el uso del suelo, valores continuos, como temperaturas, o un valor nulo si no se dispone de datos. Si bien

En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos. Cada una de estas geometrías está vinculada a una fila en una base de datos que describe sus atributos. Por ejemplo, una base de datos que describe los lagos puede contener datos sobre la batimetría de estos, la calidad del agua o el nivel de contaminación. Esta información puede ser utilizada para crear un mapa que describa un atributo particular contenido en la base de datos. Los lagos pueden tener un rango de colores en función del nivel de contaminación. Además, las diferentes geometrías de los elementos también pueden ser comparados

Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres elementos geométricos: el punto, la línea y el polígono (Figura 7)

- Puntos. Los puntos se utilizan para las entidades geográficas que mejor pueden ser expresadas por un único punto de referencia. En otras palabras: la simple ubicación. Por ejemplo, las ubicaciones de los pozos, picos de elevaciones o puntos de interés. Los puntos transmiten la menor cantidad de información de estos tipos de archivo y no son posibles las mediciones. También se pueden utilizar para representar zonas a una escala pequeña. Por ejemplo, las ciudades en un mapa del mundo estarán representadas por puntos en lugar de polígonos.
- Líneas o polilíneas. Las líneas unidimensionales o polilíneas son usadas para rasgos lineales como ríos, caminos, ferrocarriles, rastros, líneas topográficas o curvas de nivel. De igual forma que en las entidades puntuales, en pequeñas escalas pueden ser utilizados para representar polígonos. En los elementos lineales puede medirse la distancia.
- Polígonos. Los polígonos bidimensionales se utilizan para representar elementos geográficos que cubren un área particular de la superficie de la tierra. Estas entidades pueden representar lagos, límites de parques naturales, edificios, provincias, o los usos del suelo, por ejemplo. Los polígonos transmiten la mayor cantidad de información en archivos con datos vectoriales y en ellos se pueden medir el perímetro y el área.

4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

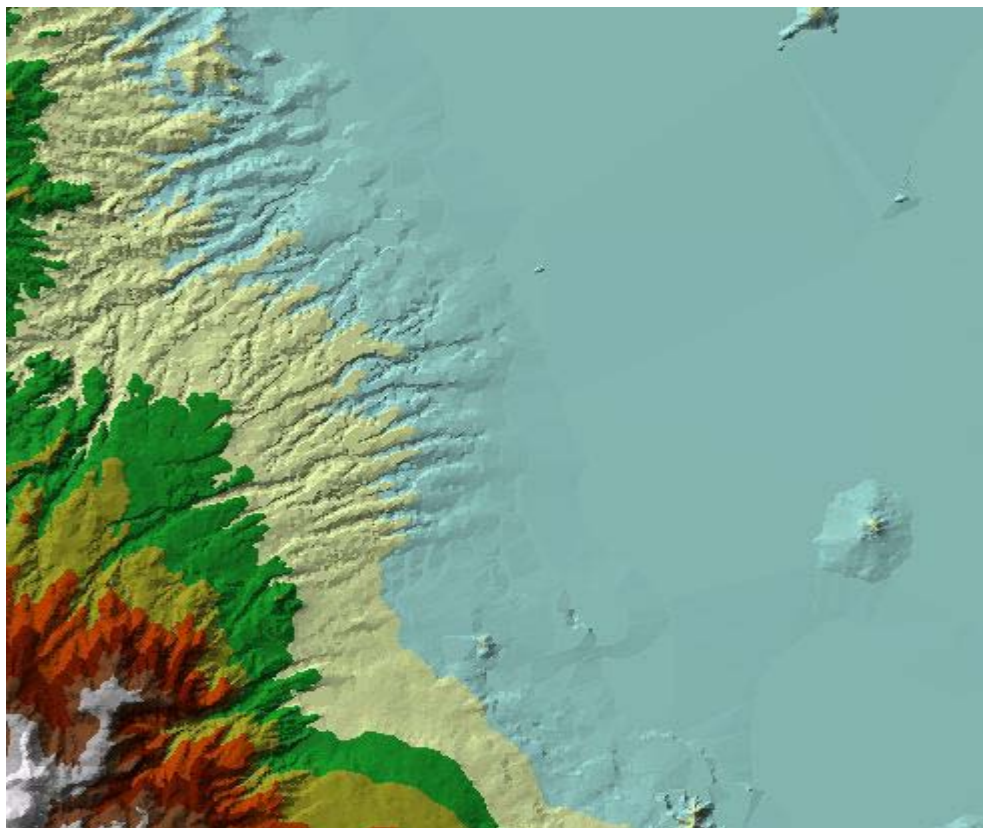


Figura 7. Datos vectoriales.

Funcionamiento de un SIG

Un SIG puede mostrar la información en capas temáticas para realizar análisis con varios criterios o variables complejos. (Figura 8)

El SIG funciona como base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional usuario la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

1. **Localización.** Preguntar por las características de un lugar concreto.
2. **Condición.** El cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
3. **Tendencia.** Comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
4. **Rutas.** Cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
5. **Pautas.** Detección de pautas espaciales.
6. **Modelos.** Generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los SIG es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

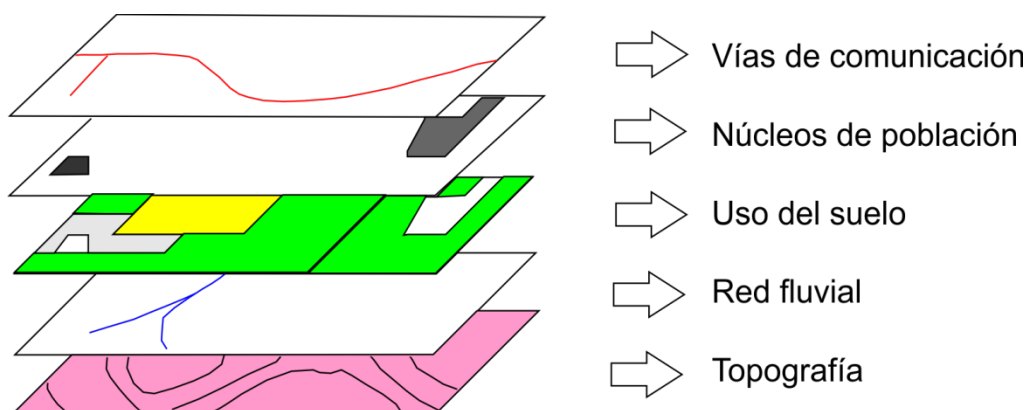


Figura 8. Superposición de capas en el SIG con diferentes temáticas.

Proyecciones y sistemas de coordenadas

La Tierra puede estar representada cartográficamente por varios modelos matemáticos, cada uno de los cuales pueden proporcionar un conjunto diferente de coordenadas (latitud, longitud, altitud) para cualquier punto dado de su superficie. El modelo más simple es asumir que la Tierra es una esfera perfecta. A medida que se han ido acumulando más mediciones del planeta los modelos del geode se han vuelto más sofisticados y más precisos. De hecho, algunos de estos se

aplican a diferentes regiones de la Tierra para proporcionar una mayor precisión por ejemplo, el *European Terrestrial Reference System 1989* (ETRS89) funciona bien en Europa pero no en América del Norte.

La proyección es un componente fundamental a la hora de crear un mapa. Una proyección matemática es la manera de transferir información desde un modelo de la Tierra, el cual representa una superficie curva en tres dimensiones, a otro de dos dimensiones como es el papel o la pantalla de una computadora. Para ello se utilizan diferentes proyecciones cartográficas según el tipo de mapa que se desea crear, ya que existen determinadas proyecciones que se adaptan mejor a unos usos concretos que a otros. Por ejemplo, una proyección que representa con exactitud la forma de los continentes distorsiona, por el contrario, sus tamaños relativos.

Dado que gran parte de la información en un SIG proviene de cartografía ya existente, el sistema utiliza la potencia de procesamiento de la computadora para transformar la información digital, obtenida de fuentes con diferentes proyecciones y/o diferentes sistemas de coordenadas, a una proyección y sistema de coordenadas común.

5. Análisis y clasificación del peligro.

Para comprender los desastres es necesario conocer como mínimo tres conceptos básicos: la vulnerabilidad, el peligro o amenaza, y el riesgo.

Peligro o amenaza.

Antes que todo se debe aclarar que el término fenómeno natural no debe entenderse estrictamente como peligro o amenaza. El fenómeno natural es común y regular; convivimos todos los días con él pues es parte de nuestro entorno; de esa manera encontramos a las lluvias de temporada, días calurosos, vientos y cambios climatológicos estacionales, también tenemos una infinidad de pequeños sismos diarios que para nosotros pasan inadvertidos y que no necesariamente representan un peligro. Sin embargo algunos fenómenos naturales por su tipo y magnitud así como por lo sorpresivo de su ocurrencia y su efecto directo a un sistema poblacional sea grande o pequeño, pueden representar verdaderamente un peligro. En general se define al peligro como un evento raro o extremo en el ambiente natural o humano, que afecta adversamente a la vida humana o sus actividades a tal grado de causar un desastre. También se define a la amenaza como la probabilidad de que ocurra un riesgo frente al cual una comunidad es vulnerable (Wilches-Chaux, 1989). El peligro entonces, es considerado como una precondition humana desafortunada que, como tal, se ubica en el nivel perceptivo y además con atribuciones de anticipación o inevitabilidad respecto al posible tránsito a su realización (Cupreder, 2000). Esta precondition puede relacionarse con la existencia de fenómenos naturales que pueden devenir amenazas, o bien con fenómenos antrópicos que igualmente devienen peligro, y cuyo origen (de estos últimos) tienen que ver estrictamente con las actividades humanas que generan amenaza. Es así que como sociedad desarrollamos actividades e interacciones con el medio ambiente que pueden transformarse en peligros o amenazas.

Vulnerabilidad.

Andrew Maskrey (1993) define la vulnerabilidad como “una relación compleja entre población, medio ambiente, relaciones, formas y medios de producción”. La vulnerabilidad es siempre distinta según las circunstancias de cada persona o grupo social; se entiende como el grado con base en el cual los grupos, clases, regiones o países se comportan y sufren de manera distinta

entre sí ante el riesgo en términos de las condiciones sociales, económicas y políticas específicas. La vulnerabilidad se entiende como las características de una persona o grupo de ellas en relación con su capacidad de anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse de un desastre (Blaikie, 1994).

El concepto de vulnerabilidad abarca los siguientes aspectos: a) las condiciones físicas peligrosas, es decir el grado de exposición al peligro, b) las condiciones socioeconómicas, que son las relaciones sociales de producción, y c) la capacidad de recuperación individual o general de la sociedad afectada. La vulnerabilidad es también la condición por la cual los asentamientos humanos o edificaciones se encuentran en peligro por su exposición y su fragilidad a una amenaza.

La vulnerabilidad se genera durante largos procesos de las estructuras sociales, económicas y políticas que contribuyen a su acumulación; combinadas con las amenazas, son los elementos que producen los desastres.

Riesgo.

El riesgo es una función de la amenaza y la vulnerabilidad; es expresado con la siguiente fórmula ***Riesgo = Peligro * Vulnerabilidad***. Aunque hay una estrecha relación entre las nociones de peligro y riesgo, se apunta una diferencia esencial: mientras el peligro es la probable existencia de una precondition de daño o infortunio, el riesgo es la probabilidad de que sucedan diversos efectos nocivos a una sociedad o parte de ella.

"Una combinación de la probabilidad o la frecuencia de ocurrencia de un peligro definido y la magnitud de las consecuencias de la ocurrencia. Más específicos, el riesgo se define como la probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (de vidas, personas, heridos, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental) resultado de interacciones entre los peligros de origen natural o humano." (Europ. Spatial Planning Observ. Netw. 2003)

El riesgo es la probabilidad de una pérdida, y esto depende de tres elementos, el peligro, la vulnerabilidad y la exposición. Si cualquiera de estos tres elementos en el riesgo aumenta o disminuye, el riesgo aumenta o disminuye, respectivamente. (Crichton, 1999)

Wilches-Chaux la define como "cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese

fenómeno”. En otras palabras, el riesgo existe cuando es probable que ocurra un desastre por motivo de que uno o más peligros se manifiesten en un contexto vulnerable. Conocer el riesgo implica saber la ubicación de la posibilidad de un peligro, además de conocer el grado de vulnerabilidad, cuando estos componentes del riesgo se conjuntan ya estamos ante el hecho consumado; es decir, el desastre.

Desastre.

Se define como un evento de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que causa alteraciones intensas en las personas, en los bienes, en los servicios y/o medio ambiente.

Elaboración del mapa-semáforo.

El mapa-semáforo se realizó con base en la diversa información contenida en el SIG, para su elaboración no se tomaron en cuenta todos los factores con los que cuenta el sistema, ya que para que esto sucediera se necesita el estudio a detalle de cada uno de éstos, por lo cual se trabajó solamente con los más conocidos, esto no implica que sean los mejores o que los otros no sean funcionales, simplemente son lo que presentan mayor información.

Los factores que se utilizaron para este análisis son:

1. Relleno de las cavidades o en su caso ausencia de éste. (Figura 9)
2. Geología Estructural (fallas). (Figura 10)
3. Hidrografía. (Figura 11)
4. Geología.
5. Mancha urbana. (Figura 12)
6. Estaciones de servicio (Gasolineras). (Figura 13)
7. Autoconsumos. (Figura 14)
8. Mapa de pendientes. (Figura 15)
9. Mapa de elevaciones. (Figura 16)
10. Tránsito de la zona.

FID	Shape	Id	Dirección	Rellena	Mat_Rellen	Colonia	Nombre	Área_m2	Año
170	Polygon	167	Despertador Americano esquina José Manuel Herrera No. 14	Si	Costalera sellada con arena, cemento y bentonita	Palmas Olivar del Conde 4a. sección		168.336	2008
3	Polygon	4	Despertador Americano frente al No. 67	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Palmas Barrio Norte		52.001	0
173	Polygon	168	Despertador Americano No. 41	Si	Costalera sellada con arena, cemento y bentonita	Palmas Olivar del Conde 4a. sección		690.901	2008
182	Polygon	177	Díaz Ordaz	Si	Costalera sellada con arena, cemento y bentonita	Barrio Norte		651.87	2008
178	Polygon	173	Díaz Ordaz 1	Si	Costalera sellada con arena, cemento y bentonita	Barrio Norte		4205.151	2008
172	Polygon	119	Díaz Ordaz No. 2	Si	Costalera sellada con arena, cemento y bentonita	Barrio Norte	Díaz Ordaz	371.154	2008
150	Polygon	154	Dolores del Río	Si	Costalera sellada con arena, cemento y bentonita	Olivar del Conde 2a. sección		16.954	2007
151	Polygon	154	Dolores del Río	Si	Costalera sellada con arena, cemento y bentonita	Olivar del Conde 2a. sección		41.769	2007
56	Polygon	56	Emiliano Zapata / Francisco Villa CHECAR	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Tlacoyaque		38.541	0
9	Polygon	9	Entre Felipe Angeles y Jalalpa, atrás de la Iglesia de Nuestra Señora de Guadalupe	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Ampliación Jalalpa		26.617	0
5	Polygon	6	Escuela Primaria Toribio Velasco	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Herón Proal		24.566	0
6	Polygon	6	Escuela Primaria Toribio Velasco	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Herón Proal		64.226	0
12	Polygon	12	Felipe Angeles y Prolongación Gustavo Díaz Ordaz	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Ampliación Jalalpa		56.634	0
49	Polygon	49	Ferrocarril de Cuernavaca No. 64	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Santa María Nonoalco		108.548	0
90	Polygon	83	Flores Magon	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Olivar del Conde 4a. sección	Flores Magon No. 68/70	473.898	0
91	Polygon	84	Flores Magon	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Olivar del Conde 4a. sección	COC 17	107.736	0
100	Polygon	93	Flores Magon	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Olivar del Conde 4a. sección	Flores Magon No. 72	838.529	0
130	Polygon	130	Fortín / Peral / Barranca	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Jalalpa Tepito	JG-21	2462.735	0
112	Polygon	105	Fueguinos / Guajiras / Avenida Centenario	Si	Grava 85% Tepetate 15%	2do. Reacomodo Tlacuitlapa		3900.95	0
158	Polygon	159	Gaviotas	Si		Golondrinas 2a. sección		234.672	0
161	Polygon	114	Gaviotas	Si	Costalera sellada con arena, cemento y bentonita	Golondrinas 2a. sección	Gaviotas	44.712	2007
1	Polygon	2	Golondrina Acerada Mz 23 Lote 16	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Golondrinas		17.461	0
0	Polygon	1	Golondrina de los Acantilados y Av. Lomas de Capula	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Golondrinas		50.838	0
63	Polygon	62	Gorriones y Grullas	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Golondrinas 2a. sección		35.028	0
64	Polygon	62	Gorriones y Grullas	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Golondrinas 2a. sección		553.267	0
32	Polygon	32	Grullas y Columbus	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Golondrinas 2a. sección		754.917	0
51	Polygon	51	Grullas y Herrerillo	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Golondrinas		678.933	0
142	Polygon	146	Grullas y Petirojo	Si	Costalera sellada con arena, cemento y bentonita	Golondrinas 3a. sección		86.851	2006
143	Polygon	147	Grullas y Petirojo	Si	Costalera sellada con arena, cemento y bentonita	Golondrinas 3a. sección		46.206	2006
144	Polygon	148	Grullas y Petirojo	Si	Costalera sellada con arena, cemento y bentonita	Golondrinas 3a. sección		33.442	2006
99	Polygon	92	Guerrerenenses / Michoacanos y Veracruzanos Mz 4 Lote 24	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Arturo Martínez / Bonanza		2742.241	0
30	Polygon	30	Guerrerenenses Mz 3	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Arturo Martínez		1258.781	0
122	Polygon	123	Hacienda de Guadalupe / Río Blanco	Si	Grava 85% Tepetate 15%	2da. Ampliación Presidentes		120.407	0
123	Polygon	123	Hacienda de Guadalupe / Río Blanco	Si	Grava 85% Tepetate 15%	2da. Ampliación Presidentes		71.253	0
17	Polygon	17	Islote frente al No. 96	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Las Águilas 1a. Sección		100.043	0
53	Polygon	53	Islote No. 57	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Las Águilas 1a. sección		74.139	0
82	Polygon	75	J. M. Herrera / Fanal / Correo del Sur	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Olivar del Conde 4a. sección	Correo del Sur	1182.009	0
47	Polygon	47	Jacarandas Mz 14	Si	Grava 85% Tepetate 15%	San Clemente		90.873	0
4	Polygon	5	Joaquín Cisneros Mz 36 Lote 82	Si	Grava 85% Tepetate 15%	Barrio Norte		26.351	0
165	Polygon	163	José Manuel Herrera esquina Correo del Sur	Si	Costalera sellada con arena, cemento y bentonita	Palmas Olivar del Conde 4a. sección		791.831	2007
94	Polygon	87	Juchique / Calle 3	Si	Grava 85% Tepetate 15% CHECAR UBICACIÓN	Jalalpa 2a. Amoliación		558.186	0

Figura 9. Base de datos de las minas en el SIG.

5. Análisis y clasificación del peligro

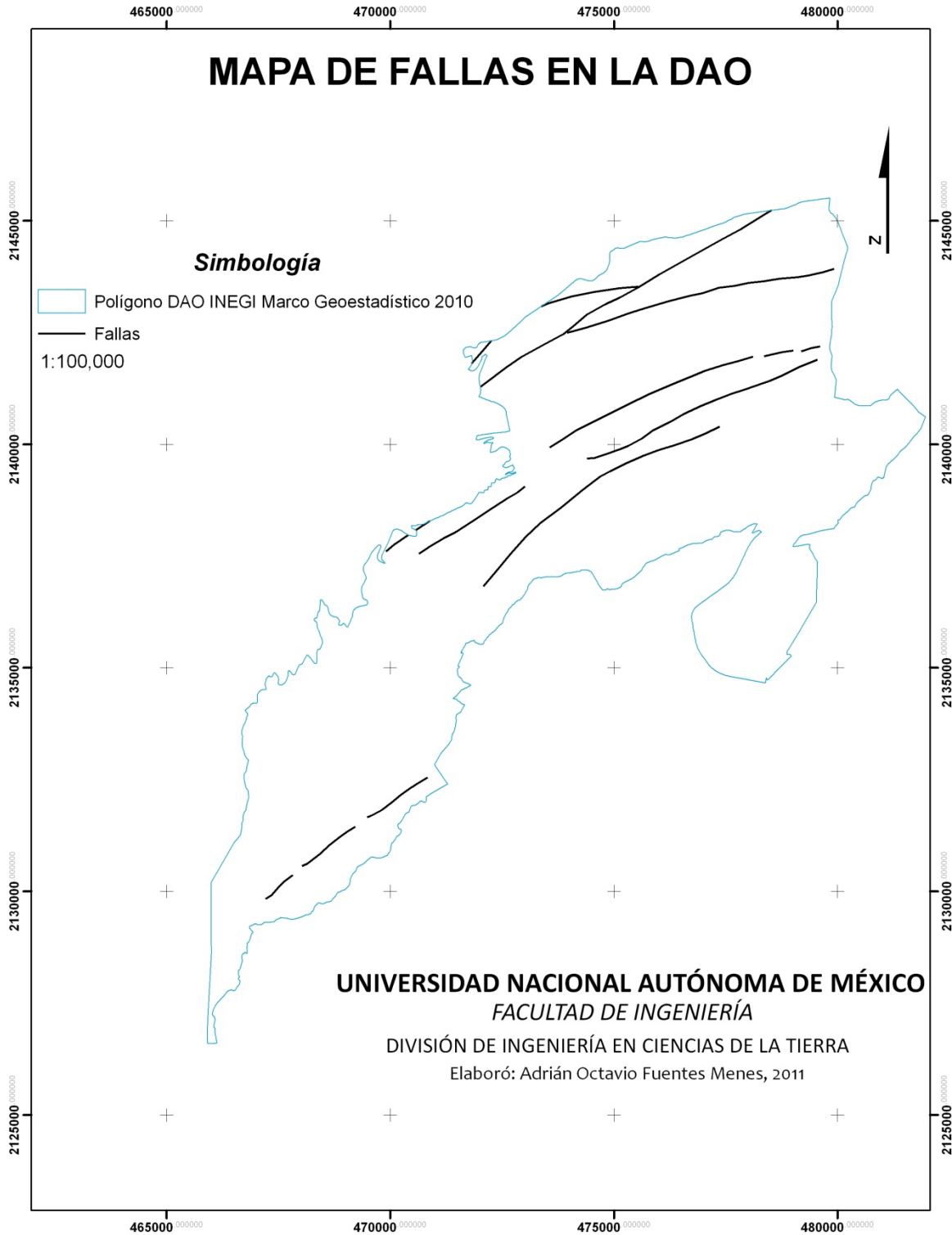


Figura 10. Mapa de fallas en la DAO.

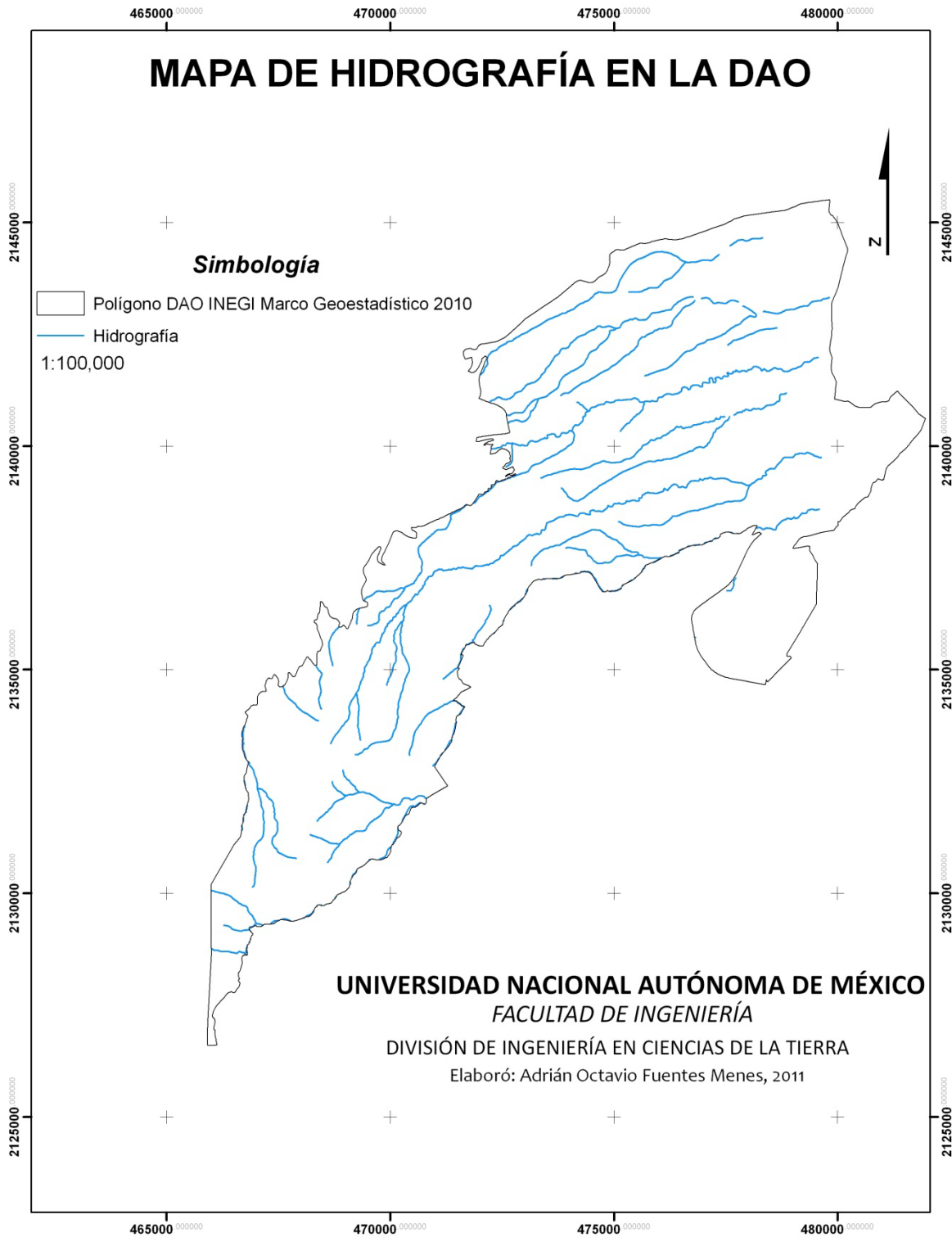


Figura 11. Mapa de Hidrografía en la DAO.

5. Análisis y clasificación del peligro

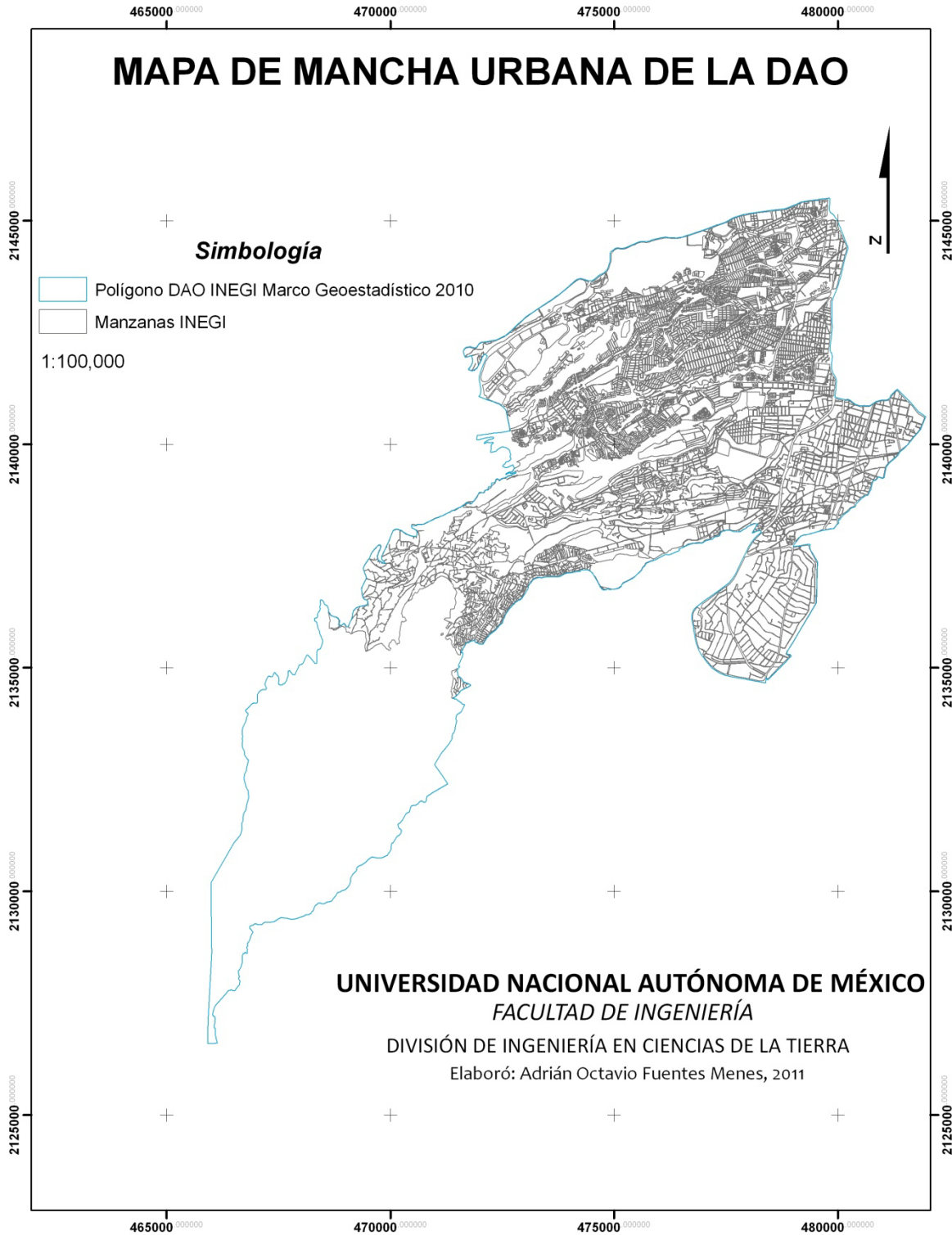


Figura 12. Mapa de la mancha urbana en la DAO.

5. Análisis y clasificación del peligro

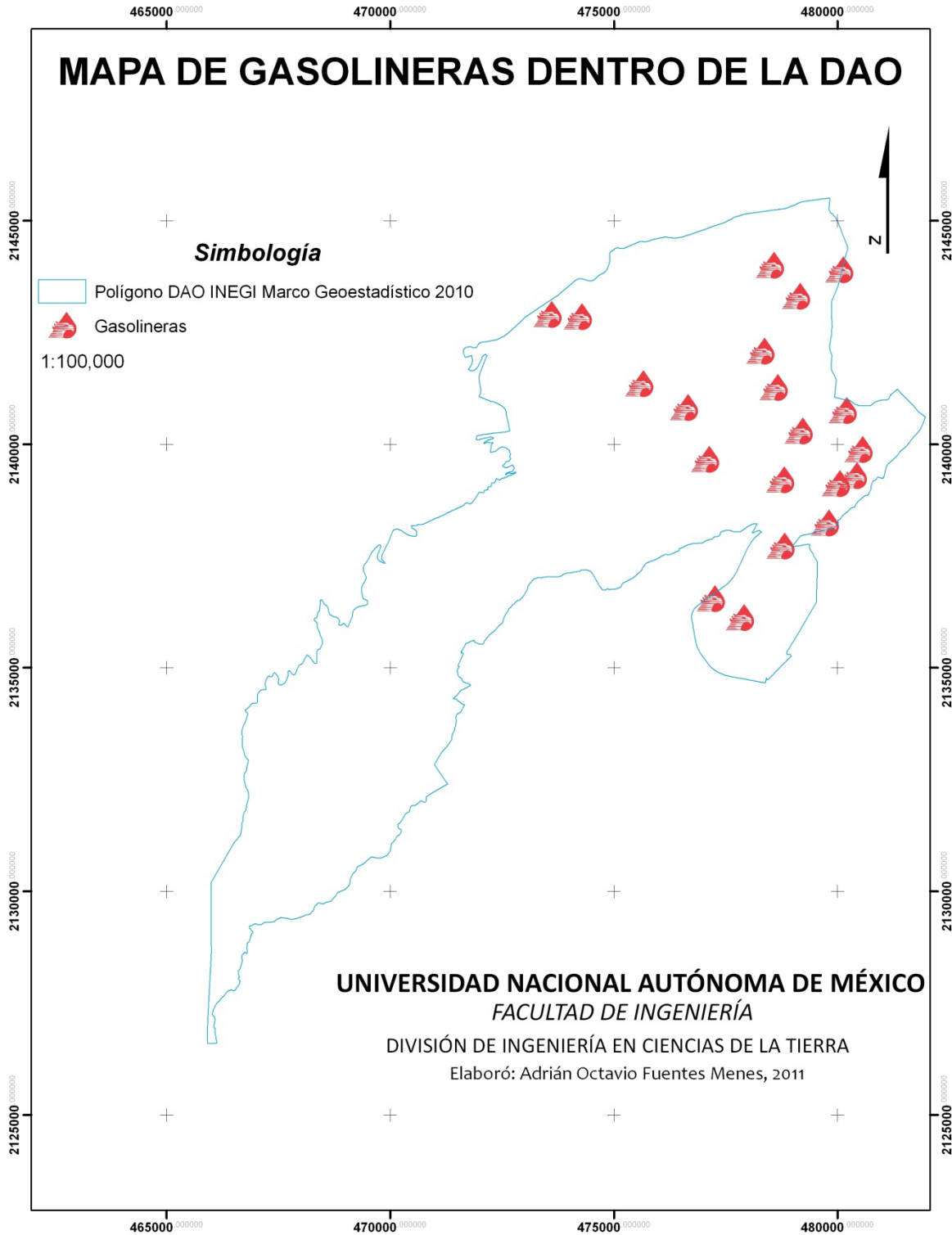


Figura 13. Mapa de gasolineras dentro de la DAO.

5. Análisis y clasificación del peligro

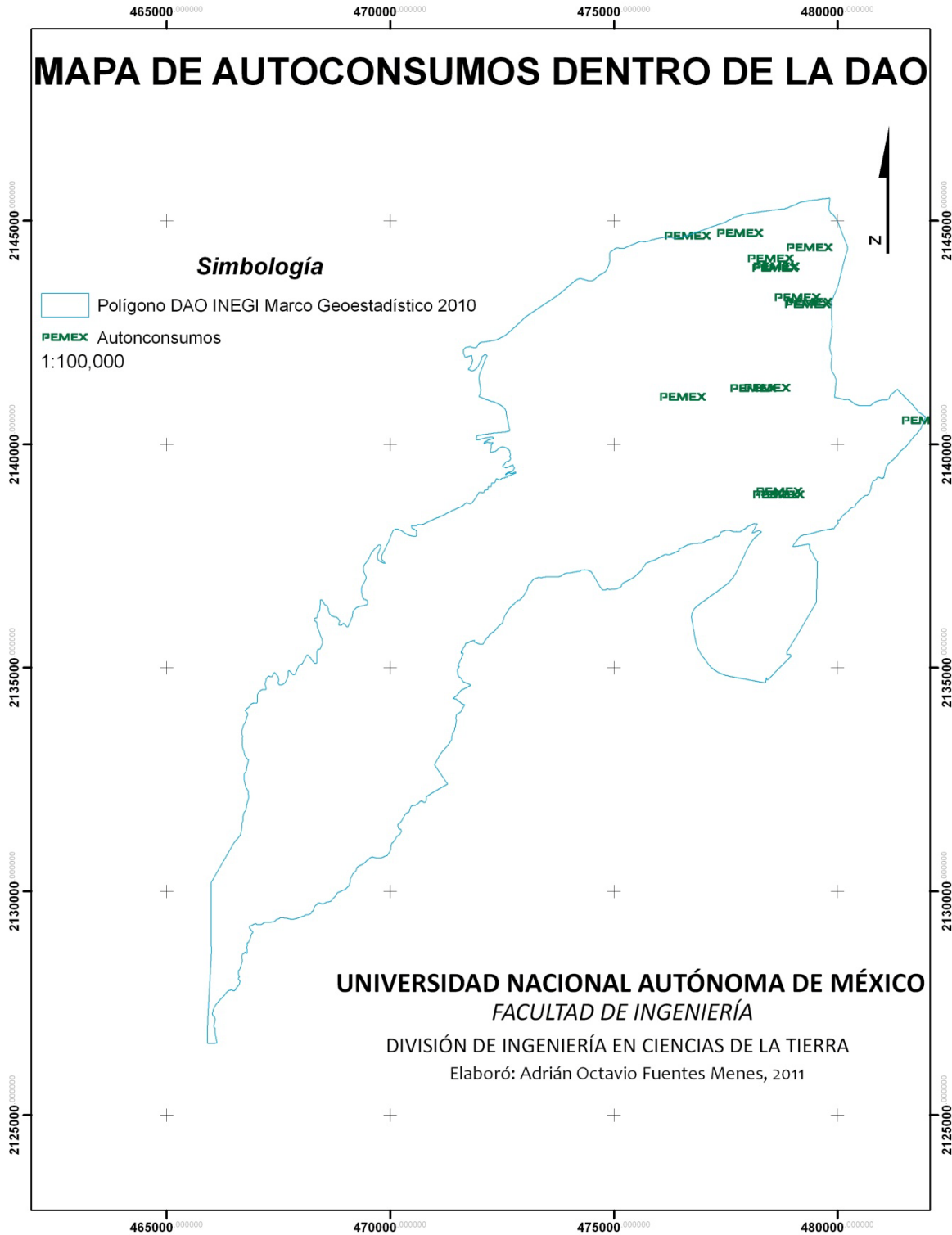


Figura 14. Mapa de autoconsumos dentro de la DAO.

5. Análisis y clasificación del peligro

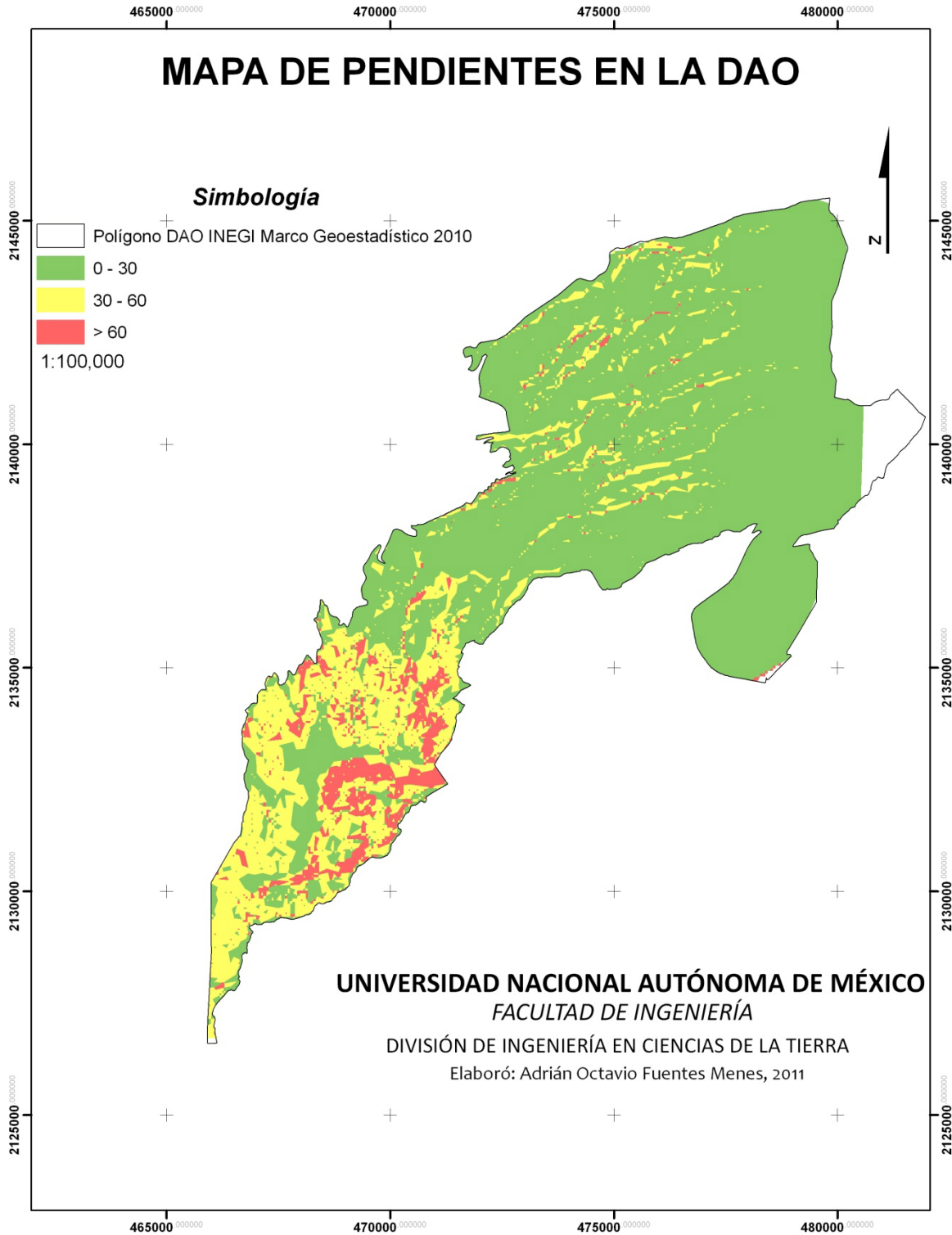


Figura 15. Mapa de pendientes en la DAO.

5. Análisis y clasificación del peligro

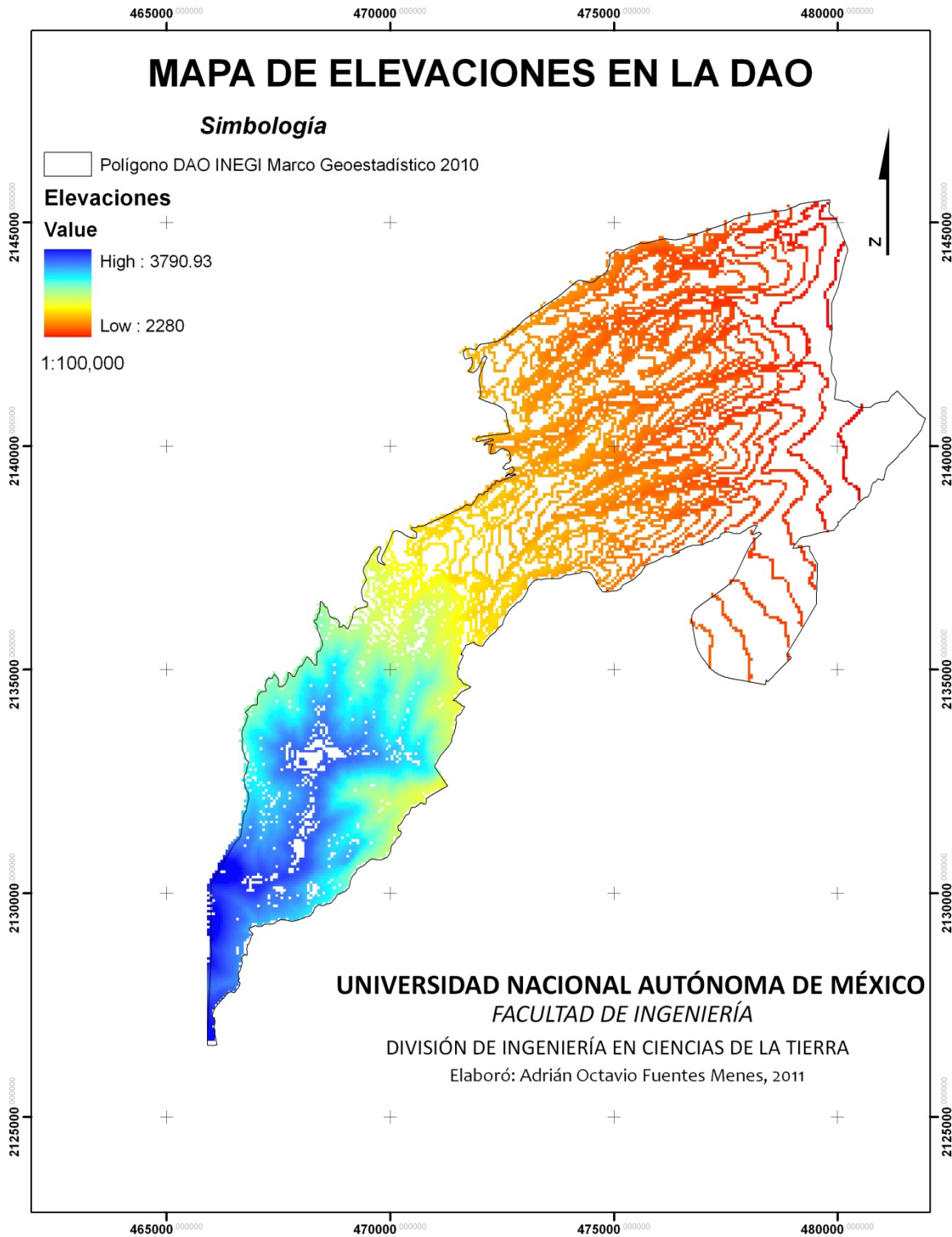


Figura 16. Mapa de elevaciones en la DAO.

5. Análisis y clasificación del peligro

La base de datos integrada en el SIG se encuentra formada por más de 190 registros de las minas de las cuales se tienen: sus geometrías, tipos de rellenos, superficies, pilares, muros de refuerzos, derrumbes, muros de mampostería, año de regeneración, etc.; debido a la escala en que estos aspectos pueden ser observados en un mapa es difícil generarlo, por lo que se muestran acercamientos de las cavidades en el SIG. (Figuras 17,

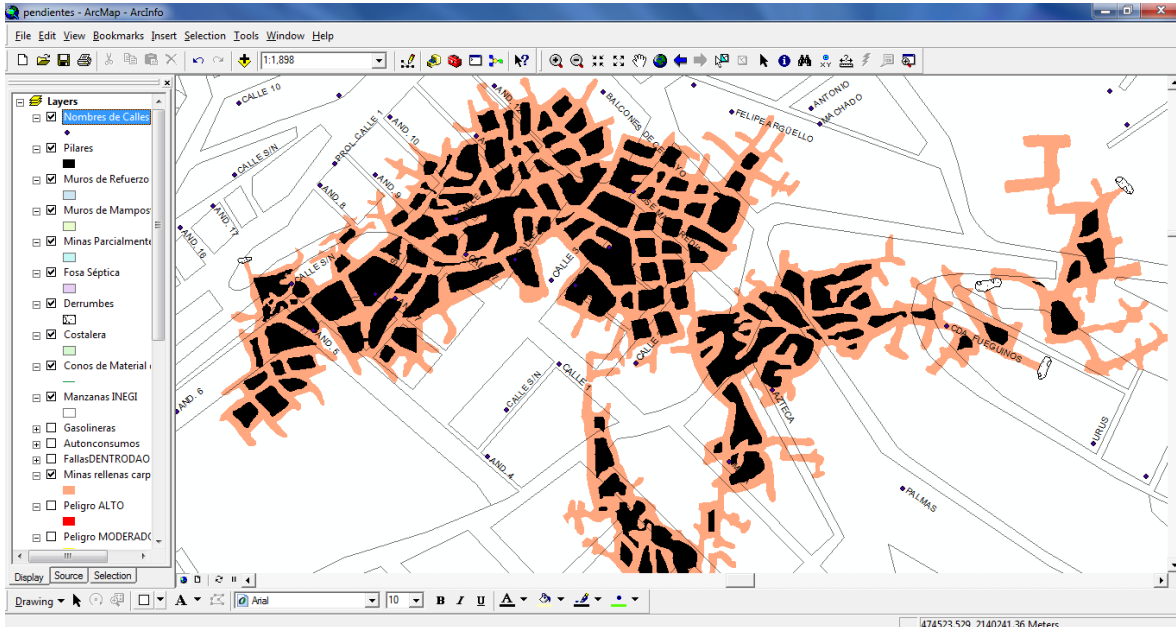


Figura 17. Geometría de una de las minas de la DAO registradas en el SIG.

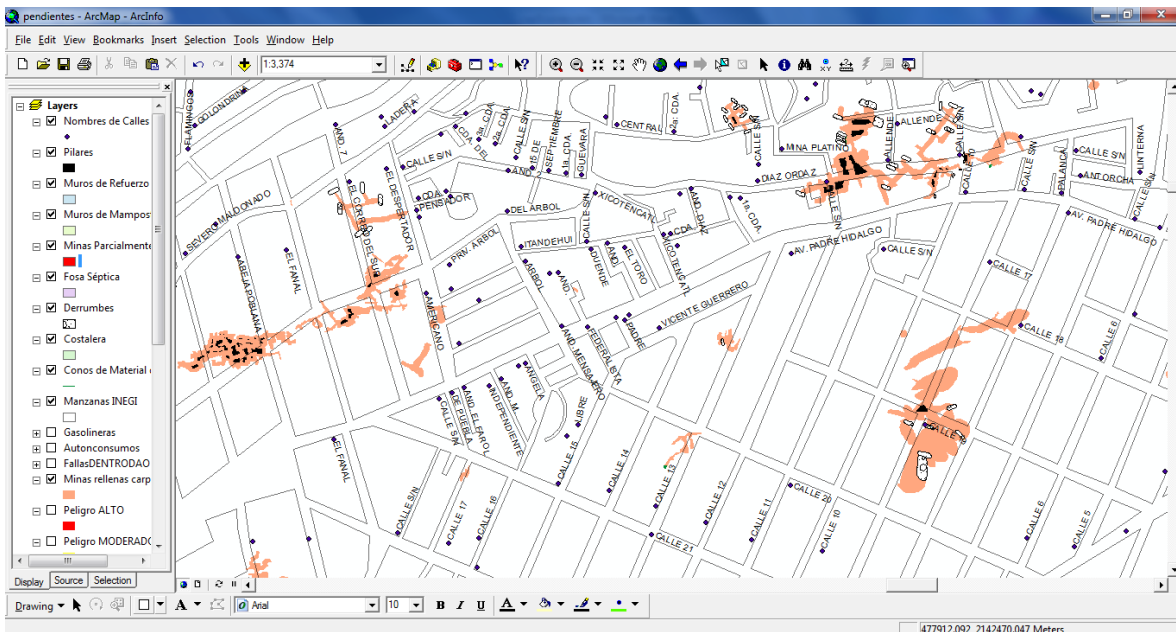


Figura 18. Minas en la DAO registradas en el SIG.

5. Análisis y clasificación del peligro

A pesar de que las cavidades hayan sido regeneradas existen diversos factores que pueden provocar su reactivación o inestabilidad, es por esto que la DAO fue dividida en dos grandes zonas, la que se encuentra hacia el norte que representa el 64% del total de la superficie de la DAO es la que está influenciada por las minas y se decidió poner un color naranja (zona de peligro) a toda esta gran zona entendiendo que no se encuentra exenta de peligro, posteriormente se realizó un análisis tomando en cuenta los factores anteriormente mencionados para asignar un intervalo de peligro que va de bajo a alto. Esto es, color verde peligro bajo, color amarillo peligro moderado y finalmente color rojo peligro alto.

El color verde (peligro bajo, 1.9% de la zona de peligro) fue asignado a aquellas zonas en las que existe una cavidad regenerada y que no cuenta con más de tres factores de los antes mencionados, estos puntos se encuentran en las colonias Tizapan, Ampliación los Alpes, Águilas Pilares y Tlacoyaque. Debe observarse que representan una parte muy pequeña de toda la zona de peligro.

El color amarillo (peligro moderado, 6.75% de la zona de peligro) igualmente se asignó a diversas zonas con minas regeneradas pero que les influye más de tres factores pero menos de siete, varios de estos puntos convergen directamente con zonas de peligro alto. Los sitios de peligro moderado se encuentran en las colonias Ampliación Lomas de Santo Domingo, Lomas de Nuevo México / La Mexicana, Margarita Maza de Juárez, Ampliación Jalalpa, Jalalpa 2ª sección, Bejero, Corpus Christy, Lomas de Guadalupe, San Clemente, Las Águilas, Tecalcapa y Las Águilas 1ª sección. Esta clasificación representa una parte más grande proporcionalmente que la clasificación anterior.

El color rojo (peligro alto, 12% de la zona de peligro), en este caso fue asignado a minas no regeneradas como a cavidades regeneradas pero que por su influencia con siete o más factores de los determinados se interpreta que son las zonas con el mayor peligro dentro de la zona de peligro anteriormente mencionada. Las colonias que se encuentran en esta situación son Bellavista, Jalalpa Tepito, Ampliación Piloto Adolfo López Mateos, Ex Hacienda Tarango / Huetlale, Ampliación Tepeaca, Herón Proal, Villa Progresista, Tlacuitlapa, Ampliación Tlacuitlapa II, 2ª Ampliación Presidentes, Ampliación Piloto Adolfo López Mateos, Ampliación Jalalpa, Las Cuevitas, Calzada Jalalpa, La Cañada 2ª sección, Arturo Martínez, Bonanza, Golondrinas 1ª sección, Golondrinas 2ª sección, Golondrinas 3ª sección, Olivar del Conde 1ª sección, Olivar del Conde 2ª sección, Olivar del Conde 4ª sección, Palmas, Barrio Norte, Minas de Cristo, Lomas de Tarango,

5. Análisis y clasificación del peligro

Ampliación Molino de Rosas / Cascada, Alfonso XIII, Santa María Nonoalco y Reacomodo El Cuernito. (Figura 19)

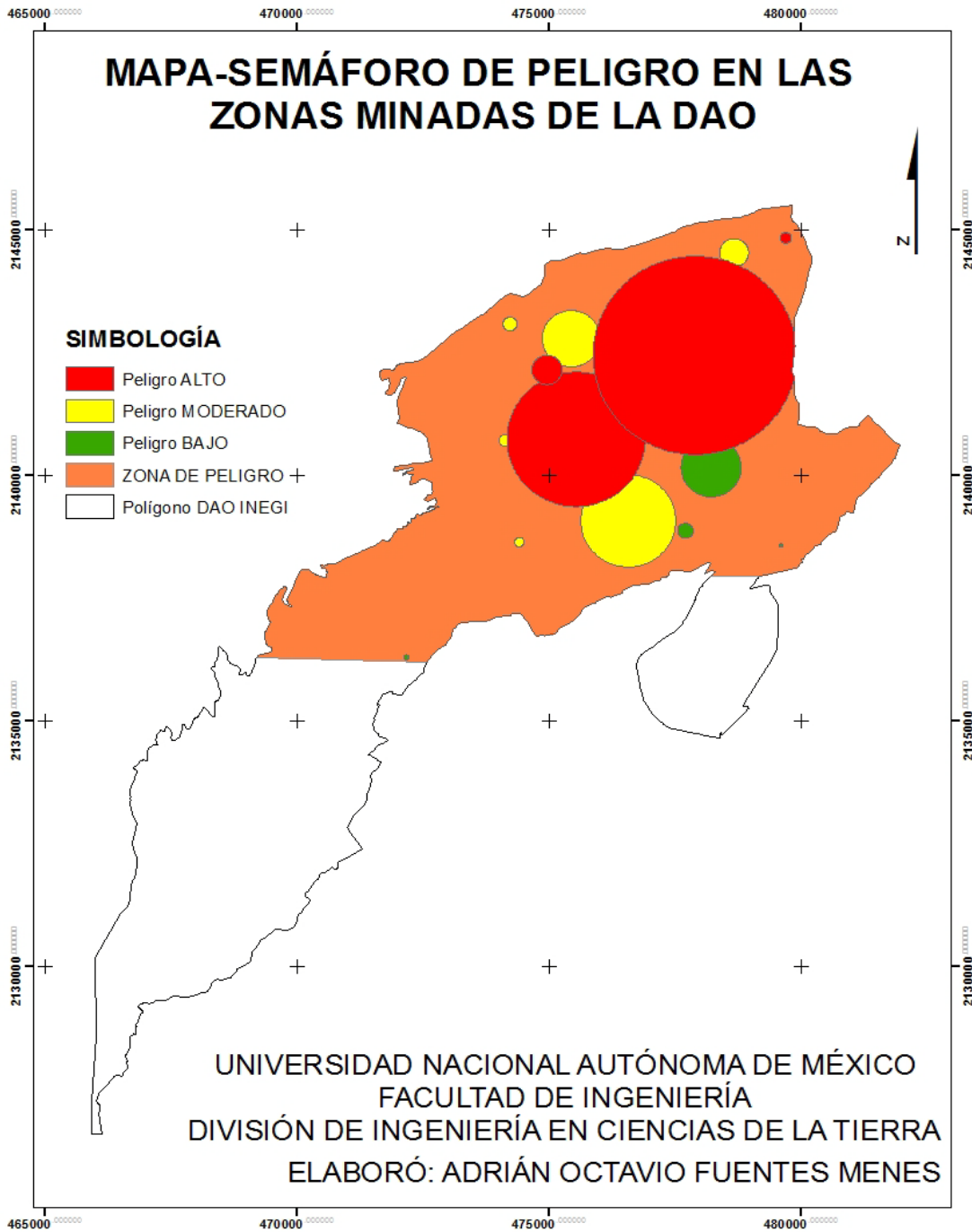


Figura 19. Mapa-semáforo de peligro en las zonas minadas de la DAO. Inédito.

5. Análisis y clasificación del peligro

En este análisis que se realizó no se tomaron en cuenta las intensas lluvias de finales de Junio y principio de Julio que sin duda representan más del promedio anual que la DAO está acostumbrada a recibir y que evidentemente su inclusión en este trabajo repercutiría en la concepción del mapa.

6. Conclusiones.

El continuo incremento en la población del D. F. y su falta de lugares en donde vivir ha ocasionado que sean utilizados sitios en los cuales no se puede garantizar la seguridad tanto para las personas como para la infraestructura, es cada vez más común ver en nuestra ciudad las cañadas así como los cerros totalmente poblados.

La DAO es actualmente una de las delegaciones que generan complicaciones al D. F. ya que cuenta con diversos problemas que en conjunto representan un continuo peligro para sus habitantes; en este caso las minas de arena que se explotaron en el pasado.

Es necesario integrar toda la información referente a las minas que actualmente se tiene en una sola base de datos, en este caso eso se realizó en el SIG, en el cual se adicionaron datos de diferentes fuentes como lo son INEGI, la DAO, la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería, y otros tantos datos que fueron consultados pero como tal no fueron proporcionados por ninguna institución específica. La mayoría de esta información no se encontraba en formato digital por lo cual fue necesario hacer el proceso de digitalización para poderla introducir al sistema.

La actualidad de la situación de las minas en la DAO es alarmante ya que se necesita demasiado dinero para la regeneración de las cavidades que se conocen hasta el momento, también se necesita una inversión importante en la exploración para poder detectar todas o la mayoría de las cavernas aún no conocidas; pero aún más importante es la inversión para la integración de la información en un SIG.

El 64% de la DAO es considerado una zona de peligro ya que es la parte que se encuentra bajo la influencia de las minas; el 1.2% del total del territorio de la DAO es estimado de un peligro bajo, 4.37% de la superficie de la DAO se presenta con un peligro moderado y finalmente el 7.8% se ha analizado que posee un peligro alto. Es importante considerar que estas zonas de análisis se concentran dentro ese 64% del territorio de la DAO.

Esto no significa que el restante territorio de la DAO se encuentre exento de peligros, simplemente se presentan otros de tipos distintos, también es importante señalar que existen más datos de

6. Conclusiones y futuras líneas de investigación

cavernas que no han sido considerados en esta tesis y que por obvias razones al momento de tomárseles en cuenta modificaran el mapa que se presenta.

Los SIG's se han posicionado como una tecnología básica, imprescindible y poderosa, para capturar, almacenar, manipular, analizar, modelar y presentar datos georeferenciados. Un SIG no es solamente un programa de cartografía por computadora, ni un software de tipo CAD; aunque hace mapas y tiene ciertas funciones para dibujar, lo específico del SIG reside en rasgos tales como su capacidad para almacenar grandes cantidades de información espacialmente referenciada o su potencia para el análisis de la misma, que le hacen idóneo para abordar problemas de planificación y gestión, es decir, para la toma de decisiones.

El SIG que se diseñó en este trabajo sólo es solo el inicio de un enorme trabajo que se tiene que realizar, faltan demasiados aspectos por introducir así como por conocer, es necesario que exista un sistema en el cuál la información que se quiera consultar sea sencilla de localizar así como de manejar, también es necesario que los datos que se quieran introducir sean claros y legibles ya que facilitaran su captura en el sistema. Es importante mencionar que gran parte de la aportación de este sistema es la georeferencia que da a las geometrías de las cavernas, la cual hasta el momento no se tiene, lo que hace indispensable que en lo sucesivo cualquier levantamiento de cavidades se haga obteniendo las coordenadas.

Futuras líneas de investigación.

Es de vital importancia introducir al sistema todos los datos que se tienen disponibles, la delegación posee demasiada información pero se encuentra almacenada en carpetas. Es recomendable su migración al formato digital para su posterior uso en el SIG.

Será necesario generar una metodología basada en índices y pesos que cuantifiquen cada variable de las que en este trabajo se ocuparon para la elaboración del mapa-semáforo.

Se deben integrar otras interpretaciones que se realicen o ya se tengan de otro tipo de peligros y riesgos de la DAO.

Un trabajo posterior debe surgir ya que los SIG's son sistemas dinámicos, será necesaria su actualización constante con cada banco de datos nuevos que se obtenga.

6. Conclusiones y futuras líneas de investigación

Un análisis posterior integrando la mayor cantidad posible de información sin duda otorgará un mapa con una interpretación más detallada.

Bibliografía

- Audefroy, Joel, *Riesgo y mitigación en la Ciudad de México*, Oficina de la Coalición Internacional para el Hábitat para América Latina (HIC-AL), IPN/ESIA-TEC.
- Bolstad, P. (2005) *GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems, Second Edition*. White Bear Lake, MN: Eider Press, 543 pp
- Bosque Sendra, J. (1992) *Sistemas de Información Geográfica*. Rialp. Madrid.
- Burrough, P.A. and McDonnell, R.A. (1998) *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press, Oxford, 327 pp.
- Centro virtual de información del agua <http://www.agua.org.mx>
- Chang, K. (2007) *Introduction to Geographic Information System, 4th Edition*. McGraw Hill.
- Chang-Guk Sun, Sun-Ho Chun, Tae-Gyun Ha, Choong-Ki Chung, Dong-Soo Kim, 2008, *Development and application of a GIS based tool for earthquake induced hazard prediction*. Computers and Geotechnics, Volume 35, Issue 3, p. 436-449.
- Cordero Estrada, Maricarmen Fidelia, 1992, *El origen y evolución del relieve en la Delegación Álvaro Obregón*, Tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- *Cuaderno Estadístico Delegacional de Álvaro Obregón*, Distrito Federal, edición 2007. Mapas.
- Delegación Álvaro Obregón, D. F. <http://www.dao.gob.mx/delegacion/encifras/index.php>
- Environmental Systems Research Institute <http://www.esri.com>
- Felpeto, Alicia, Martí, Joan, 2007, *Automatic GIS based system for volcanic hazard assessment*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 166, Issue 2, p. 106-116.
- Gruber, U., Bartelt, P., 2007, *Snow avalanche hazard modelling of large areas using shallow water numerical methods and GIS*, Environmental Modelling & Software, Volume 22, Issue 10, p. 1472-1481.
- INEGI
<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/df/fisio.cfm?c=444&e=02>
- INEGI Geografía y Topografía. Productos y servicios. Datos vectoriales 1:1000000
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/infoescala.aspx>
- Lugo Hubp, José, Cordero Estrada, Maricarmen, Zamorano Orozco, José Juan, 1995, *Relieve, litología y riesgos en la zona urbana de la delegación Álvaro Obregón*, Distrito

- Federal, México*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, volumen 12, número 1, p.52-67.
- Pradhan, Biswajeet, Lee, Saro, 2007, *Utilization of Optical Remote Sensing Data and GIS Tools for Regional Landslide Hazard. Analysis Using an Artificial Neural Network Model*, Earth Science Frontiers, Volume 14, Issue 6, p. 143-151.
 - Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal (PAOT) http://www.paot.org.mx/paot_docs/informes/2009/l1.html
 - *Programa delegacional de Desarrollo Urbano de Álvaro Obregón.*
 - *Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos, Álvaro Obregón, Distrito Federal, Clave Geoestadística 09010.*
 - Renschler, Chris S., 2005, *Scales and uncertainties in using models and GIS for volcano hazard prediction*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 139, Issues 1-2, p. 73-87.
 - Secretaría de Desarrollo Social, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Centro Universitario para la Prevención de Desastres Regionales, *Atlas de Peligros Naturales*, Secretaría de Gobernación Municipal, Unidad Operativa Municipal de Protección Civil.
 - Secretaría del Medio Ambiente, *Diagnóstico Geológico y Geohidrológico preliminar de la Microcuenca del Río Magdalena*, Gobierno del Distrito Federal.
 - Secretaría del Medio Ambiente, GDF http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/infmeteorologia2006/05_capitulo1_2006.pdf
 - Tapia Varela, Guadalupe, López Blanco, Jorge, *Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000.*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, volumen 19, número 1, p. 50-65.
 - UDLA, Universidad de las Américas Puebla <http://hosting.udlap.mx/profesores/carlos.acosta/home/Investigacion/Tesisdirigidas/riquelme/Chapter5.pdf>
 - United Nations University <http://www.ehs.unu.edu/elearning/mod/glossary/view.php?id=8&mode=&hook=ALL&sortkey=&sortorder=&fullsearch=0&page=2>