



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Análisis geomorfológico de la
DAO usando GIS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

P R E S E N T A :

LINARES CANTO RICARDO ADRIAN



DIRECTOR: ING. FERNANDO ROSIQUE NARANJO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS.

A mis padres que me acompañaron y aconsejaron desde el principio y hasta el final de esta etapa de mi vida, los quiero y los admiro. Mi madre Leticia, que con tu cariño y gran corazón eres un gran pilar. Mi padre Roberto, con tu esfuerzo y determinación eres el otro pilar. A mi hermano y su esposa Mary, gracias por el apoyo los quiero mucho. Mi primo Cesar, nos divertimos y aprendimos.

A mis amigos Ray y Laura, Mariana, Caro, Alma, Choco, Cheran, Menes, Roberto y Tania, Enrique, Omar, J Gastelum, O Santiesteban., Anuar, Greñas, J.C. Avila, J. Grajeda, Lilian, cubículo 6, etc. y a todos lo demás que tuve la fortuna de conocerlos gracias a todos por aguantarme.

Al Ing. Fernando Rosique Naranjo, mi profesor, jefe y amigo, por apoyar este trabajo de tesis, por su guía y consejos.

A los profesores y sinodales: Dr. José Antonio Hernández Espriú, Ing. Héctor L. Macías Gonzáles, Ing. María de la Paz Hernández Rivero y al Dr. José Inocente Lugo Hubp por su paciencia, disposición y adecuados comentarios y observaciones. Agradezco también a José Luis Pérez Damián por la asesoría brindada.

A la máxima casa de estudio mi alma mater, UNAM, por haberme aceptado en sus aulas y a la Facultad de Ingeniería al forjarme orgullosamente como ingeniero.

Resumen

En la actualidad los sistemas de información geográfica son utilizados para muchas áreas, por mencionar algunos la geotécnica, riesgos urbanos, cartografía, geomorfología, etc. En el análisis geomorfológico, el SIG, es una herramienta con la cual se obtiene información georeferenciada y con ella analizar las formas del relieve, que en este trabajo es la delegación Álvaro Obregón. Hoy en día se presentan complicaciones debido a la explotación de material para construcción en minas subterráneas antiguas, aunado a esto el relieve ha sido modelado a través de tiempo, es así que presenta barrancos donde hay casa habitacional afectadas por la pendiente y en los cauces algunos asentamientos irregulares son dañadas por inundaciones. Para ayudar a la toma de decisión y prevenir pérdidas tanto humanas como económicas, se elaboró un sistema de información geográfica del cual se obtuvo mapas temáticos de hipsometría, pendientes y densidad de disección.

Abstract

At present geographic information systems are used in many areas, to name a few geotechnics, urban risks, cartography, geomorphology, etc. Georeferenced information and landform analysis can be obtained with the tool of GIS for the geomorphological analysis, which in this work is the Alvaro Obregon. Today there are complications due to the exploitation of construction material in old underground mines, addition to this the terrain is modeled through time, so that presents household in ravines where they are affected by the slope and the irregular settlements channels that are affected by floods. In Order to help decision making and prevent both human and economic losses a geographic information system has been developed, which was obtained the thematic maps of hypsometry, slopes and dissection density.

1. Introducción.	6
1.1. Objetivo.	6
1.2. Justificación.	7
1.3. Método de trabajo.	7
2. Geografía.	9
2.1. Localización.	9
2.2. Hidrología.	11
2.3. Clima.	15
2.4. Vegetación.	17
3. Sistema de Información Geográfica.	20
3.1. Definición.	20
3.2. Programas de aplicación.	21
3.3. Tipos de datos.	22
3.3.1. Raster.	22
3.3.2. Vector.	23
3.3.3. TIN (Triangulated Irregular Networks).	24
3.3.4. MDE (Modelo Digital de Elevación).	24
4. Geología.	26
4.2. Geología de la Delegación Álvaro obregón.	26
4.2.1. Estratigrafía.	26
4.2.2. Columna estratigráfica	31
4.2.3. Rocas extrusivas del Mioceno medio y tardío.	32
4.2.4. Formación Las Cruces (Tpc).	32
4.2.5. Depósitos del plioceno.	32
4.2.6. Formación Tarango.	32
4.2.7. Depósitos aluviales.	33

4.2.8. Lavas del Xllte	33
4.3. Geología estructural.	33
5. Geomorfología.	37
5.1. Procesos endógenos.	38
5.2. Procesos exógenos.	38
5.3. Morfometría.	39
5.4. Hipsometría.	40
5.4.1. Zona de la sierra.	43
5.4.2. Zona de piedemonte.	46
5.5. Pendientes.	49
5.5.1. Zona de la sierra.	50
5.5.2. Zona de piedemonte.	53
5.6. Profundidad de la disección.	57
6. Conclusiones, resultados y líneas futuras de investigación.	61
7. Bibliografía.	64

1. Introducción.

Con el crecimiento de la población durante el siglo XX, la mayor concentración se presenta en las zonas urbanas, trayendo consigo una expansión de asentamientos sobre áreas peligrosas, incrementado el impacto de los desastres naturales en países desarrollados y en vías de desarrollo. Las pérdidas económicas y de vidas en muchos países se debe a los riesgos geológicos: deslizamientos y la caída de rocas que en ocasiones producen desastres más grandes que los fenómenos naturales más devastadores.

La situación actual en la Delegación Álvaro Obregón (DAO) se enfoca a desarrollar sistemas de advertencia y regulaciones en el uso del suelo, esto con el fin de mitigar las pérdidas humanas y materiales, sin tener que invertir en proyectos costosos de estabilización y remediación. En países como Francia, la región de la Bahía de San Francisco y el área de Los Ángeles, Japón, Suecia y Honk Kong, se han modificado las reglas de construcción y diseñado estrategias en el rubro de protección civil para mitigar el peligro y el riesgo para obtener una planeación estratégica en el uso del suelo (Guzzeti, 2004). Por tal razón, las autoridades de la demarcación solicitan a instituciones de profesionales en la geología, estudios geomorfológicos entre otros, para el análisis del riesgo y encontrar soluciones a las zonas de minado en la porción norte y la estabilización de taludes en la zona suroeste de la DAO. Es por tanto necesaria la elaboración de un sistema de información geográfica que contenga mapas vectoriales, fotografías aéreas e imágenes de satélite que permitan elaborar mapas de riesgo y estabilidad en las diferentes zonas de riesgo.

1.1. Objetivo.

El propósito de esta tesis es elaborar mapas geomorfológicos, que permitan el análisis de las formas del relieve de la porción sureste de la sierra de Las Cruces, donde se ubica la DAO, para obtener los mapas temáticos de: hipsometría, pendientes del terreno y densidad de la disección, elementos cartográficos necesarios para la clasificación del relieve. El software que se utilizará es  Arcmap V. 9.3 de (ESRI, 2008).

1.2. Justificación.

Durante la década de los años cuarentas y cincuentas del siglo XX se inicia una explotación de materiales vulcanosedimentarios en la DAO, dejando hoy en día una inestabilidad en los taludes, los cuales provocan hundimientos e inundaciones. A este respecto las autoridades de la DAO se han dado la tarea de realizar estudios geotécnicos, geológicos, geofísicos y geomorfológicos que permitan dar soluciones y estrategias en la estabilización y remediación de las zonas de riesgo.

1.3. Método de trabajo.

El método de trabajo se dividió en cuatro etapas:

1. Recopilación de información. En esta etapa se recopilaron las diferentes fuentes de información como se muestra en la figura 1.

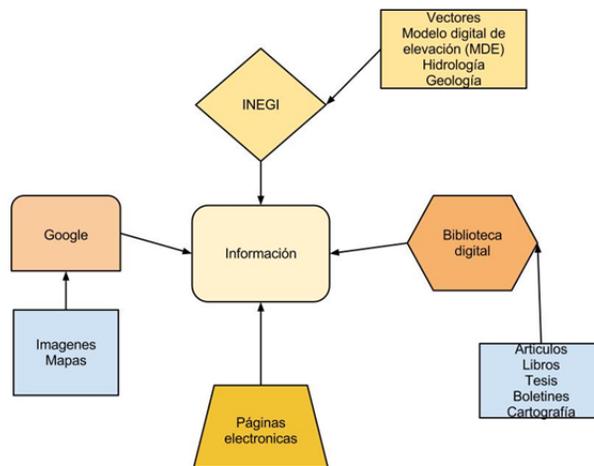


Figura 1. Recopilación de información.

2. Procesamiento de información en el GIS (ArcMap 9.3 de ESRI).

En el sistema de información geográfica se requiere de ciertos formatos por lo que se tuvieron que convertir y elaborar bases de datos con las coordenadas y descripciones de los puntos de interés, también se georreferenció con el datum WGS84.

3. Productos.- Se elaboraron tres mapas temáticos, mapa de pendientes, mapa de densidad de disección vertical y mapa altimétrico.

En el mapa de pendientes el proceso que se realizó fue a partir de la interpolación de las curvas de nivel que generó una red irregular triangulada (TIN por sus siglas en inglés) y se obtuvo el mapa de pendientes. El resultado es un raster que se reclasifica y se convierte a shape. El siguiente paso es trabajar en el shape ya que se añade en la tabla de atributos otro campo para los valores de las pendientes. Para finalizar se le asigna color a los valores y un suavizado.

Para la propuesta de clasificación de pendientes, se tomó en cuenta el trabajo publicado por el INE (Bocco et. al., 2005).

La metodología para la construcción del mapa de profundidad de disección vertical fue modificada del trabajo de Prigeo et al.(2008) con el asesoramiento de José Luis Pérez Damián. Para su elaboración se interpoló las curvas de nivel para generar el MDE (modelo digital de elevación) que es insumo principal. Posteriormente se definió el radio de un área para la escala 1:50000. Se utilizó el método de interpolación Kernel el cual se obtiene un raster, reclasificación de valores del Kernel y su conversión a vector. En el último paso se busca la diferencia de altura para los valores anteriores y definir los contornos morfométricos para construir la tabla de rangos en m/km^2 .

4. Análisis de la cartografía generada y elaboración del mapa geomorfológico.
- Interpretación de los resultados obtenidos y elaboración de las tablas de clasificación para los mapas de pendientes y de disección vertical.
 - Identificación de las zonas geomorfológicas para su estudio y aplicación de las metodologías para el análisis geomorfológico.

2. Geografía.

2.1. Localización.

La zona de estudio se localiza en la cuenca de México, la cual al Eje Neovolcánico. Este se constituye de catorce subprovincias fisiográficas, entre las cuales, la Delegación Álvaro Obregón (DAO) se ubica en la subprovincia Lagos y Volcanes del Anáhuac, la más extensa.

La DAO se ubica en el poniente del Distrito Federal, está situada entre los paralelos 19°14' N y 19°25' S, y los meridianos 99°10' E y 99°20' O. Limita con las delegaciones Miguel Hidalgo al norte, Benito Juárez y Coyoacán al oriente, al poniente con Cuajimalpa y al sur con las delegaciones Magdalena Contreras y Tlalpan (fig. 2). La delegación tiene una forma alargada de NE a SW. El censo de 2010 registró 727,000 habitantes (INEGI, Censo de población y vivienda, 2010) para la delegación. La DAO (fig. 3) se encuentra en la porción suroeste de la Cuenca de México, en la margen inferior de la Sierra de Las Cruces, conformada por una serie de estructuras volcánicas que alcanzan una altitud máxima de 3,820 msnm en el cerro del Triángulo; la mínima se localiza a los 2,260 msnm. En la delegación existen otras elevaciones importantes, como son el Cerro de San Miguel, de 3,780 msnm; el Cerro La Cruz de Cólica o Alcalica, de 3,610 msnm; el Cerro Temamatla, de 3,500 msnm; El Ocotil, de 3,450 msnm y Zacazontetla, de 3,270 msnm (SEDUVI, 2011).

La superficie de la Delegación ocupa 8,114.01 ha, que representan el 5.47% del área total del Distrito Federal, tiene el octavo lugar entre las delegaciones de mayor tamaño. En cuanto al uso del suelo se estima: el 75.59% (6,133.04 ha) de la superficie corresponde a uso de suelo urbano y el 24.41% restante (1,980.97 ha) a suelo de conservación. Las unidades territoriales que la integran son: 210 colonias, 9 pueblos y 4 barrios (SEDUVI, 2011).

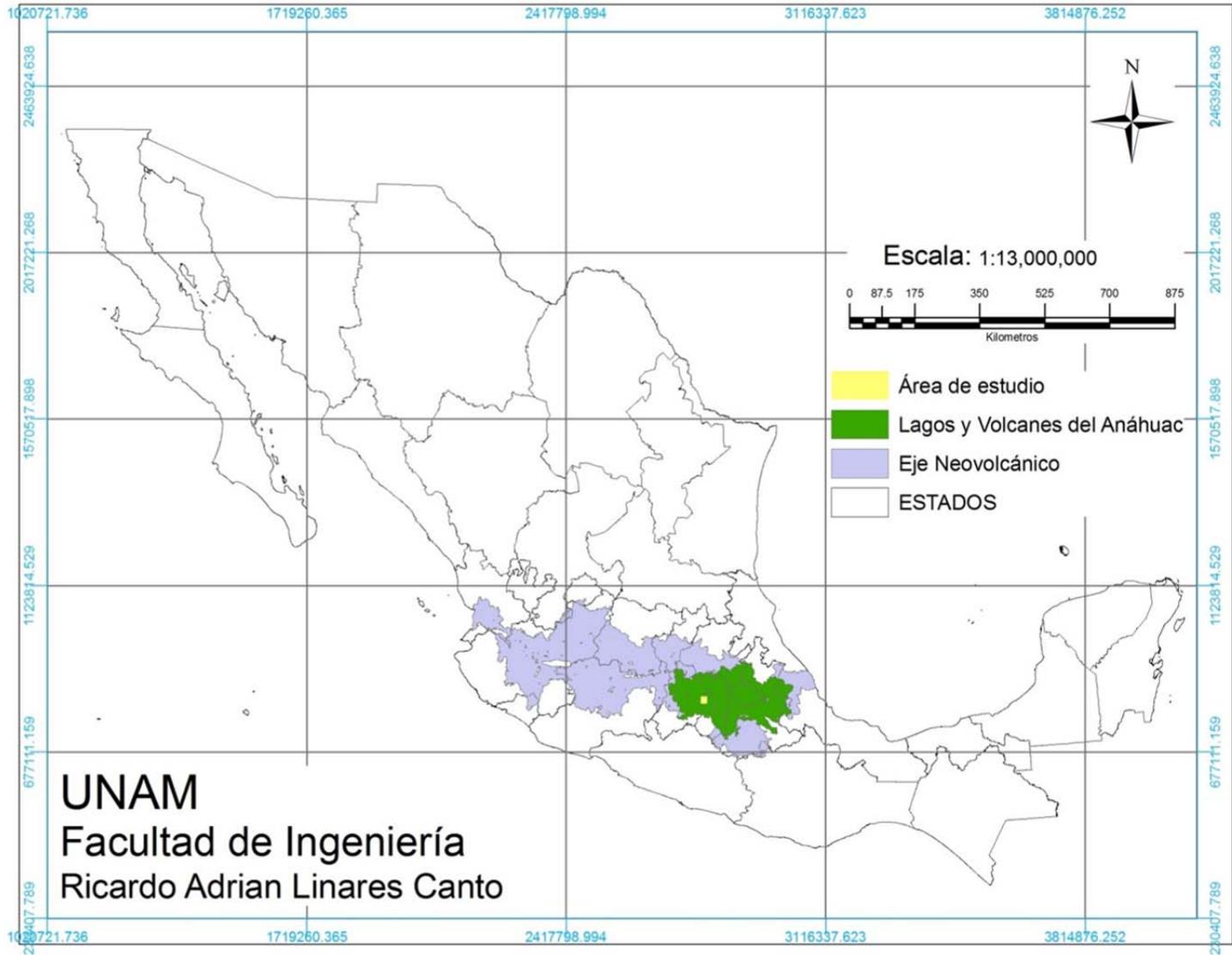


Figura 2. Localización del área de estudio.

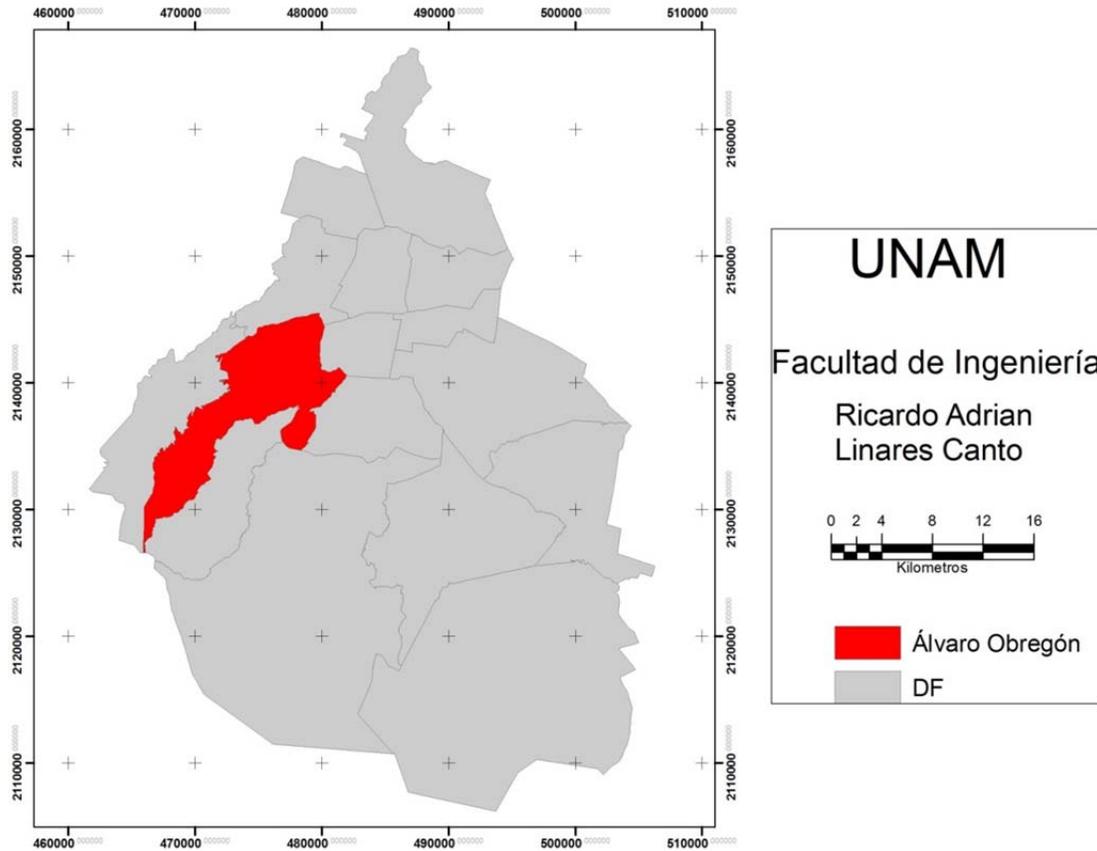


Figura 3. Ubicación.

2.2. Hidrología.

El Distrito Federal se encuentra en tres regiones hidrológicas, denominadas 26, 18 y 12 según la clasificación de la CNA (fig. 4). La DAO se halla en la región hidrológica No. 26 Pánuco (fig. 5).

En la DAO se reconoce una densa red fluvial, favorecida por la precipitación media anual del orden de 736 a 1300 mm (Lugo Hubp et al., 1995) y que se producen en la parte alta de las montañas. Debido a las intensas precipitaciones, el piedemonte está incidido por numerosos ríos. En el piedemonte de la DAO, hay numerosos escurrimientos provenientes de la Sierra de las Cruces y una erosión remontante (Cordero, 1992) que se inicia en la ribera lacustre, el cual

muestra un patrón de drenaje paralelo; ambos han originado el sistema que consiste en ocho subcuencas que tienen una red de barrancas y cañadas. Correspondien a los ríos Tacubaya, Becerra, Mixcoac, Tarango, Tequilazco, Tetelpan, Texcalatlaco y Magdalena, abastecidos por agua de lluvia y por cinco manantiales en la montaña.

El río Tacubaya nace en las laderas del cerro Cuajimalpa, fluye por el noreste hasta unirse con el río Becerra y después forma el río de la Piedad; sus principales alimentadores son los manantiales de Santa Fe. Este río fue entubado a la mitad de la década de 1950 y corre por debajo de la ciudad, a lo largo del río se ha construido la presa del mismo nombre. La cuenca de este río presenta una topografía accidentada que origina grandes escurrimientos.

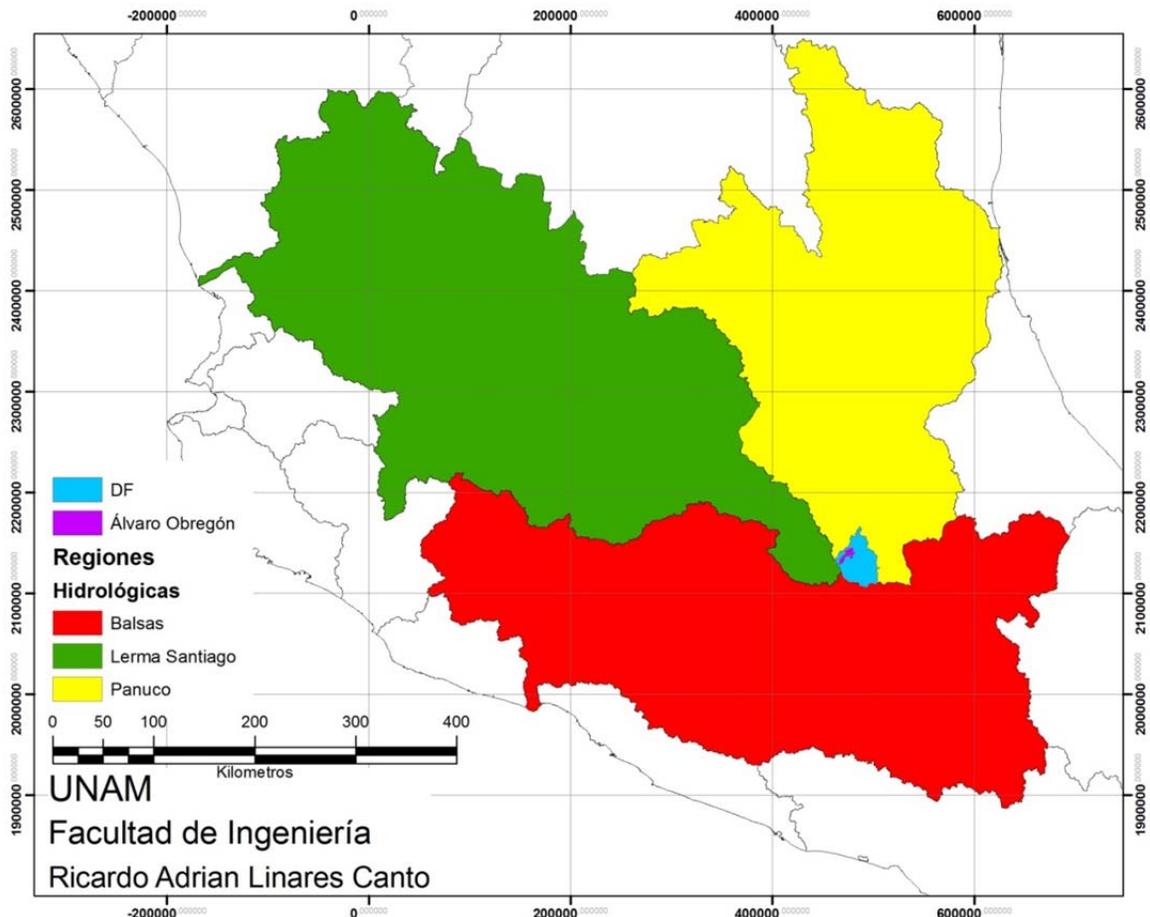


Figura 4. Regiones Hidrológicas de México. CONAGUA.

El río Becerra nace en el cerro de Cuajimalpa, sigue en dirección noreste hasta unirse con el río Tacubaya y formar así el río de la Piedad que se encuentra entubado, cruza la ciudad y desemboca en el lago de Texcoco. La cuenca está compuesta por sedimentos impermeables sobre los cuales se construyó la presa Becerra I y II, cuyos principales afluentes son las corrientes de Las Palmas, Tecolocalco, Ojalalpa y Tecolote.

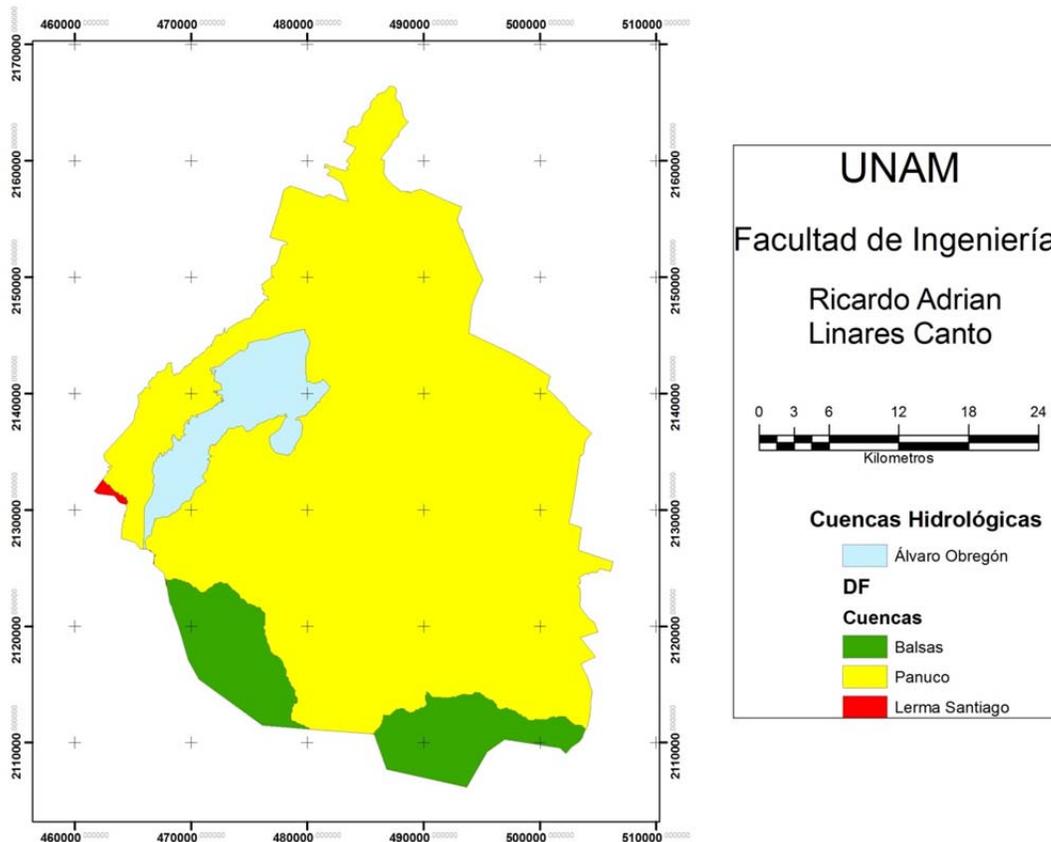


Figura 5. Regiones hidrológicas en las que se encuentra el DF

El río Mixcoac se ubica en la porción central de la Delegación, tiene una longitud de 7 km y sus cuencas ocupan una superficie de 37 km²; con una densidad aproximada de 2.5 km de cauces por km². 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. Corre hacia el norte hasta casi llegar al convento del Desierto de los Leones, donde tuerce al noreste. Está 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 este río se construyó la Presa y la Primera Represa Mixcoac.

El río Tarango nace a los 2,670 msnm, a la altura del pueblo de San Jerónimo Lídice, corre en dos cauces paralelos, uno ubicado en Puente Colorado y el otro en Puerta Grande, que se juntan en la Presa de Tarango, de donde sale el colector Barranca del Muerto que se une al colector del río Churubusco. La subcuenca del río Tarango tiene una topografía accidentada, lo que propicia que la velocidad del escurrimiento sea muy fuerte y con una longitud aproximada de 2 km.

El río Tequilazco nace en las laderas del cerro Pahueyxiotl, limita al noroeste con la cuenca del río Mixcoac y al oriente con la del Texcalatlaco; sigue hacia el noreste donde se une al río Magdalena, a la altura de los Viveros de Coyoacán. Su longitud es de 15 km; 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 y al norte y poniente por las barrancas Guadalupe y Tetelpan. Su dirección es al noreste y se une al río Magdalena. En su cauce se construyó la Presa Texcalatlaco.

El río Magdalena nace en la base del Cerro de la Palma y está limitado al sureste 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 hacia el noreste; tiene 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 hay varios manantiales que lo alimentan, como el Hueyatla, Ventanas, La Rosa y Pericos. Su longitud es de aproximadamente 22 km; sobre el río se construyó la Presa de Anzaldo y a lo

largo de éste corre el lindero de las delegaciones Álvaro Obregón y Magdalena Contreras.

Existen 13 presas para la contención de las aguas pluviales: Tacubaya y Ruiz Cortines, en el río Tacubaya; Becerra I, II y III, en el río Becerra; Mixcoac, en el río del mismo nombre; Tarango, en el río Tarango; las presas Tequilazco y La Mina, en el río Tequilazco; la presa Olivar, en el río Tetelpan; la presa Texcalatlaco, en el río del mismo nombre; la presa Pilaes, en el río San Ángel Inn; y finalmente la presa Anzaldo, sobre el río Magdalena.

2.3. **Clima.**

La DAO tiene un clima templado (García, 1986), pero con variaciones notables debido a los bruscos cambios altitudinales que en ella se presentan. En la parte baja de la DAO (fig. 6), hasta los 2400 msnm, predominante Cw1 que presenta las siguientes características: una temperatura media anual de 14.9°C; una máxima media de 17.1°C en los meses de abril a junio; la mínima media corresponde a los meses de diciembre a febrero con una temperatura promedio de 10°C. La precipitación media anual en esta área es de 816 mm, con precipitaciones máximas medias de 128.0 mm de junio a septiembre. Las precipitaciones medias mínimas se presentan en los meses de noviembre a febrero, con aproximadamente 7 mm (Cordero, 1992).

En el área media que ocupa el piso altitudinal de 2400 msnm hasta los 3100 msnm, el clima es Cw2. La temperatura media anual de 15.5°C y la media máxima de 17°C para los meses de abril a junio; las temperaturas mínimas medias se presentan en los meses de diciembre a febrero y alcanzan los 13.2°C. Las precipitaciones medias anuales son de 914 mm, y las medias mínimas ocurren en los meses de noviembre a febrero y son de 8.2 mm, las precipitaciones medias máximas de 177 mm las cuales se presentan de junio a septiembre (Cordero, 1992).

En la parte sur, aproximadamente a los 3300 msnm, el clima deja de ser templado para convertirse en semifrío CEw2 con las siguientes características. La temperatura media anual es de 10.7°C, la temperatura media máxima se presenta en los meses de abril a junio con 12°C; la temperatura media mínima es

de 8°C. Las precipitaciones medias anuales son de 1302 mm, las precipitaciones mínimas medias son de noviembre a febrero en promedio de 1 mm, las precipitaciones medias máximas ocurren en los meses de junio a septiembre con valores de 246 mm (Cordero, 1992).

En las zonas más altas (3400 msnm) el clima corresponde a CEm, su temperatura media anual llega a 12°C en las partes más bajas de la zona y a 5°C en las cimas de las sierras; la precipitación total anual va de 1 000 a 1 500 mm.

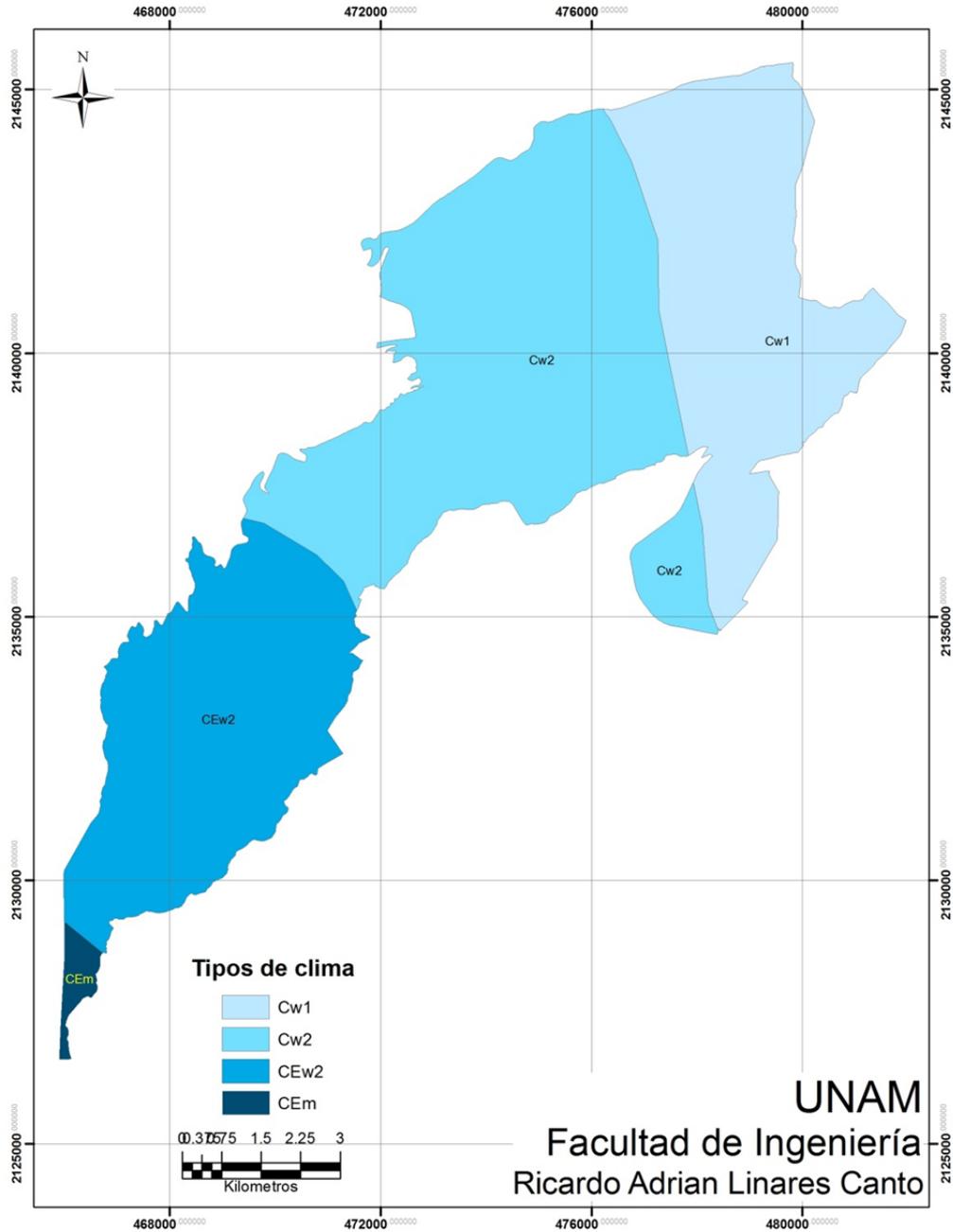


Figura 6. Climas de la DAO.

2.4. Vegetación.

Se encuentra en estrecha relación con otros factores, como el suelo, el agua y el clima; en la zona de estudio está alterada y casi desaparece de las zonas más bajas de la misma. Consiste en arbustos y árboles que han sido sembrados en áreas verdes o recreativas que rodean las zonas urbanizadas. En la zona media,

entre los 2,500 y 3,000 msnm, se puede encontrar un bosque mesófilo de montaña, bosque de niebla (CONABIO, 2010), que cubre buena parte de las laderas y cañadas en la Sierra de las Cruces (Cordero, 1992). En esta zona es característica la vegetación de abundantes epífitas (plantas aéreas que enraízan sobre el tronco y no en el suelo), como los musgos, los helechos y las trepadoras leñosas. Las especies arbóreas sobresalientes son el encino, el limoncillo y los pinares bajos, que en general crecen asociados; los pinos más comunes son los ocotes *Pinus moctezumae* y los *Pinus hartwegii*. Estos últimos son los más resistentes a las condiciones ambientales del área y debido a la contaminación se presentan con poca densidad (Cordero, 1992).

En las elevaciones mayores a los 3000 msnm (fig. 7) se reconocen los bosques de coníferas, en los que predominan encinos y pinares que alcanzan alturas entre los 5 y 12 metros. En el sur de la delegación se presentan pequeñas comunidades de bosque de oyamel y no llegan a tener un gran desarrollo. En la zona del Pedregal de San Ángel la vegetación es muy diferente, aquí encontramos comunidades vegetativas endémicas como el palo loco, el palo dulce y otras especies como el tabaquillo, los tepozanes y el copal, especies que se han observado en la Reserva Ecológica de la UNAM (Cordero, 1992).

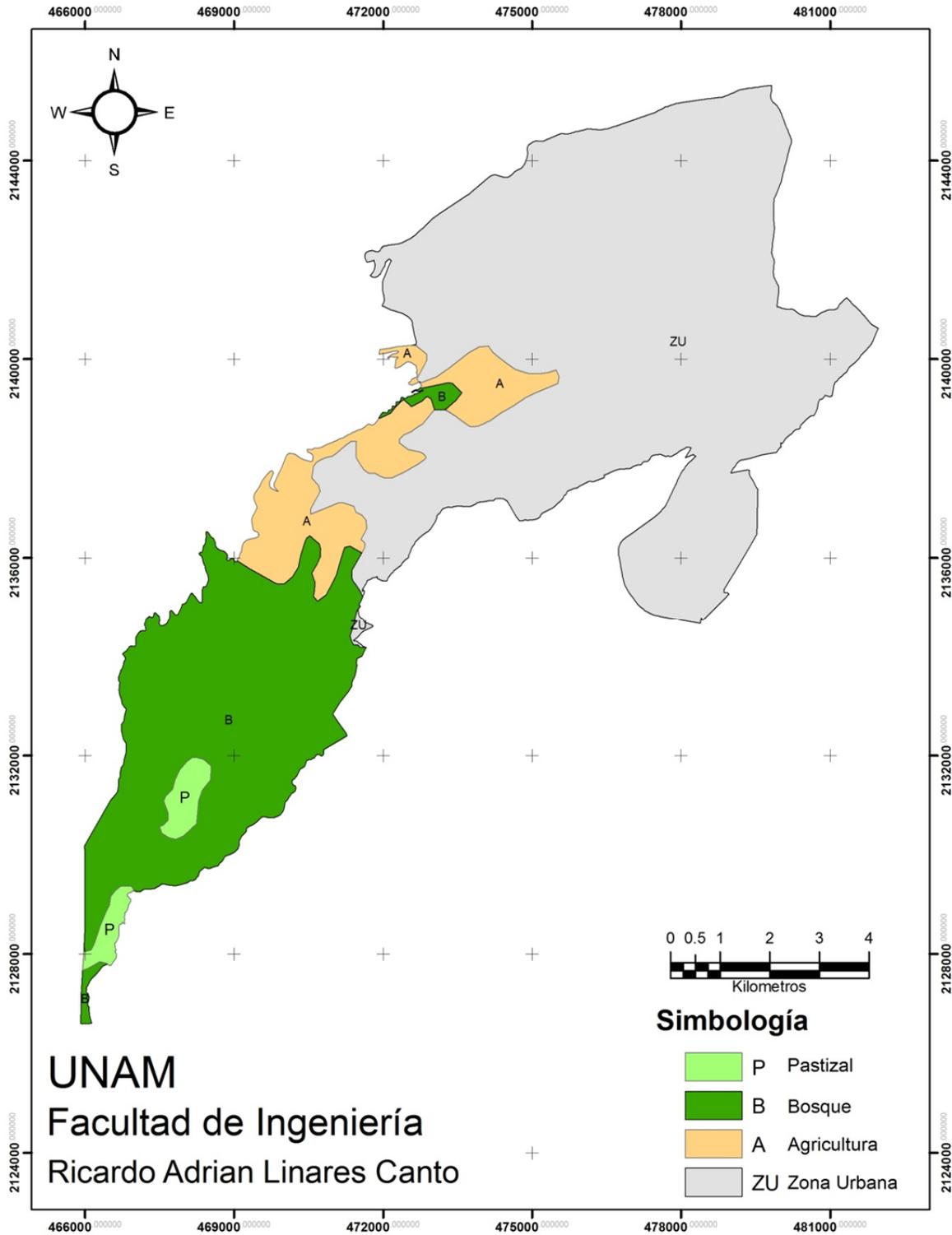


Figura 7. Vegetación de la DAO.

3. Sistema de Información Geográfica.

3.1. Definición.

Las definiciones de los SIG han ido cambiando durante el paso de las décadas, ya que se encuentran las que lo consideran como software, otras lo determinan como una base de datos y por último algunas lo consideran como un conjunto de procedimientos de análisis de datos. En la actualidad la definición más reconocida, por aquellas personas que trabajan con los SIG, es la que lo considera como un todo, incluido software, hardware, procedimientos, base de datos, usuarios, etc. (fig. 8).

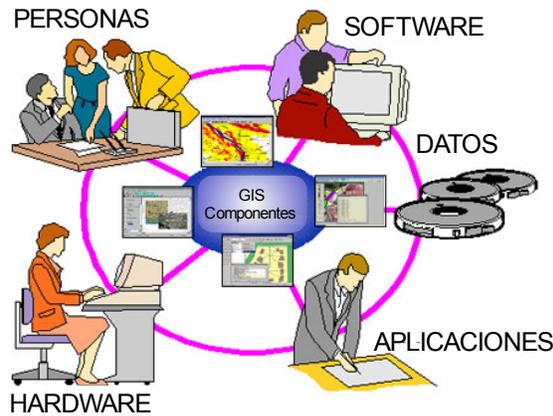


Figura 8. Componentes de los SIG.

Una de estas definiciones que es bastante aceptada es la redactada por el NCGIA (*National Centre of Geographic Information and Analysis*):

Un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas que se almacenan de forma independiente y se puede trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, donde se facilita la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos. A continuación se muestra algunas de las aplicaciones del SIG en México.

En México (fig. 9) organismos públicos y administraciones locales ya están aplicando esta herramienta, como lo son:

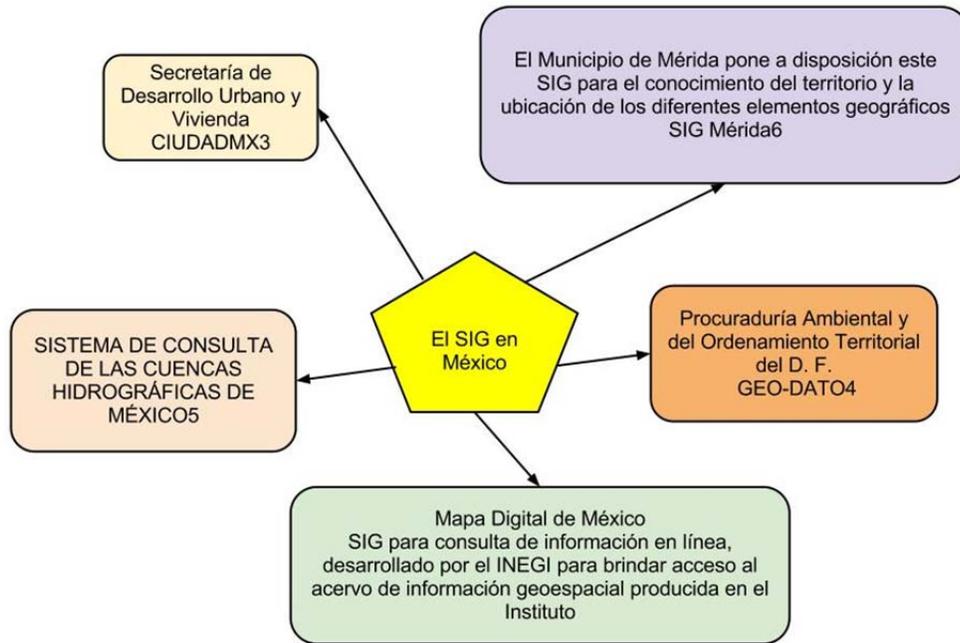


Figura 9. Los SIG en México.

3.2. Programas de aplicación.



Software en Sistemas de Información Geográfica (SIG).



Software en Sistemas de Procesamiento de Imágenes.



Desarrolladores líderes en las aplicaciones SIG de ArcFM para empresas.



ImageMapper para ArcView 3.x and ArcGIS 9.x, combinando sistemas de información geográfica (SIG) y tecnologías de Internet en un estilo innovativo y de bajo costo.



Productos para la Compresión de Imágenes Geográficas.

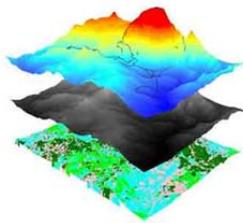


CrimeView, FireView y extensiones de seguridad y planificación publica, para ArcView.

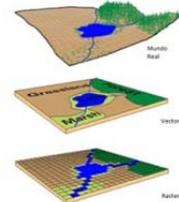


AVAtlas, AVLabel y otros productos de extensión para ArcView GIS

3.3. Tipos de datos.



Los objetos que vemos en el mundo real (carreteras, uso de suelo, altitud, litología, precipitación) se encuentran representados por medio de datos. Estos objetos o fenómenos 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.



3.3.1. Raster.

Un raster es una imagen digital representada en mallas (fig.16), en donde esta malla contiene celdas con cierto tipo de valores. En este modelo, las entidades geográficas son representadas por medio de celdas y está organizada en forma de renglones y columnas, como una matriz. La posición de cada celda está definida por una columna y un renglón. El valor de cada celda indica el valor del atributo o características que representa, cuyo origen se sitúa en el extremo superior izquierdo, al contrario de lo que ocurre con el sistema de coordenadas cartesiano cuyo origen se encuentra en el punto inferior izquierdo.

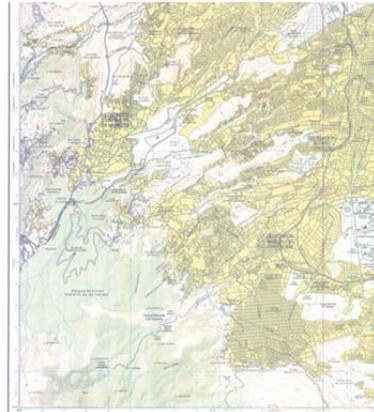
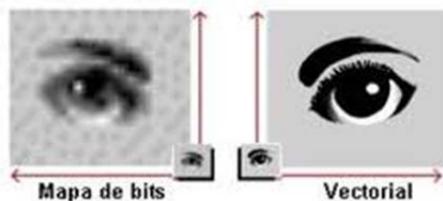


Figura 10. Relación entre el sistema de coordenadas raster y cartesiano

En este modelo el punto está representado por una sola celda, una línea por una cadena de celdas en una dirección, y un área por un conjunto de celdas. En este tipo de representación no continua de datos, se asume que el espacio geográfico puede ser tratado como si fuera una superficie cartesiana plana, de tal manera que cada celda está asociada a una porción cuadrada de terreno, por lo que la resolución o escala de datos es la relación entre tamaño de la celda en la base digital de datos y el tamaño de la celda en el terreno (Borrough, 1998). Un raster puede tener una o más bandas de información (entiéndase Fotografía Aérea con tres bandas una por cada color visible RGB; imágenes de Satélite multiespectrales o hiperespectrales, etc.). 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 (Fuentes Menes, 2011).

3.3.2. Vector.

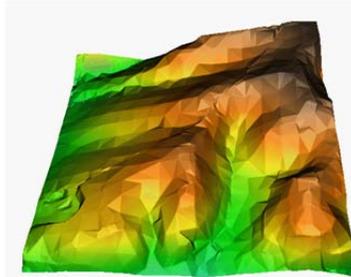


La base del modelo datos vector, es asumiendo que el mundo real puede ser dividido en elementos claramente definidos (fig. 17), donde cada elemento consiste en un objeto identificable con su propia

geometría de punto, línea y polígono. En principio, cada punto en el mapa y cada punto en el terreno que representa, goza de una ubicación usando dos o tres números en un sistema de coordenadas, como en el N, E y elevación en el sistema de coordenadas cartesiano. La información contenida en los datos

vectoriales, usualmente se pueden transformar de un sistema de coordenadas a otro.

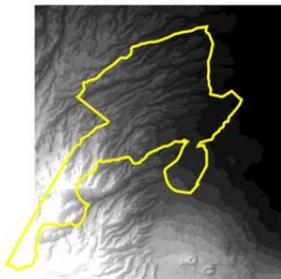
3.3.3. TIN (Triangulated Irregular Networks).



Un TIN es una red de triángulos, que varían en tamaño y en función de la rugosidad del terreno. En este modelo, los vértices del arreglo triangular, se posicionan en los puntos de mayor importancia, donde la elevación es conocida. En el modelo, las coordenadas x-y-z de todos los puntos, como también los atributos de inclinación y dirección, son almacenadas.

Los triángulos grandes son válidos en el caso de terrenos planos o pendientes muy suaves. Los triángulos pequeños pueden modelar terrenos muy accidentados. Estas características hacen del TIN, un modelo muy preciso y eficiente.

3.3.4. MDE (Modelo Digital de Elevación).



Los MDE son superficies continuas interpoladas que tienen muchos usos en el SIG. Fueron los precursores de las ortofotos hechas a computadora, pero en la actualidad tiene diversas aplicaciones, incluyendo la habilidad para mostrar los datos espaciales sobre la forma del terreno, es decir, se utilizan como método de representación de superficies.

La información altitudinal que conforma un MDE es obtenida por sistemas pasivos o activos, o bien por mediciones directas. Como ejemplo de los métodos pasivos, está la interpretación de pares estereoscópicos de fotos aéreas, fueron los pioneros en la construcción de la información topográfica, la cual fue digitalizada y es la más frecuente ya que se puede incorporar al SIG fácilmente. En México, el INEGI genera la información digitalizada de las curvas de nivel en formato vector (escalas 1:50,000 y 1:250,000). Hoy en día, sensores a bordo de satélites como ASTER (Advance Space Borne Thermal Emisión and Reflection Radiometer) y SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre) tienen la

capacidad de tomar pares estereoscópicos de imágenes lo cual genera un DEM (Pérez Vega et al., 2009).

En cuanto los métodos activos, se han desarrollado sistemas como el Radar (Radio Detection and Ranging) y el Lidar (Laser Imaging Detection and Ranging) que permite adquirir información topográfica, por medio de una señal de radar o laser. Esta tecnología funciona a base de medir el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y la detección de la señal reflejada (Pérez Vega et al., 2009). El Lidar permite generar modelos de elevación muy detallados pero puede ser costoso debido a su alta resolución

Por último, la elaboración directa de la información altitudinal, es a través de equipos topográficos como estaciones totales o GPS, el cual es laboriosa y costosa y este método no es práctico para generar DEM sobre grandes extensiones (Pérez Vega et al., 2009).

Este tipo de modelo de elevación, solo puede describir superficies y no puede manejar más de un valor de z en un punto. Es por esto el término 2.5 dimensiones, para describir la dimensión.

Con frecuencia se utiliza para referirse a cualquier representación de la topografía del terreno, sin embargo, la mayoría de las veces se utiliza para referirse de formas específicas a una malla regular o raster de puntos de altitud. El término también se utiliza para referirse a cualquier representación digital de la superficie topográfica.



En la figura 9 se muestra el DEM de la DAO, se puede apreciar que da la apariencia de ser en 3 dimensión pero sin dejar de 2 dimensiones, a esto es lo que se le llama 2.5 dimensiones.

4. Geología.

4.1. Marco geológico.

La litología que se encuentra en la DAO pertenece al Plio-Cuaternario, aunque su edad y posición estratigráfica no ha sido establecida formalmente.

Esta litología presenta una secuencia vulcanosedimentaria, que es el resultado de la actividad volcánica que dio origen a la sierra de Las Cruces. La unidad más antigua está formada por rocas volcánicas andesíticas y dacíticas del Mioceno, con intercalación de depósitos de arena pumítica, tobas arenosas y arcillosas, depósito de lahares con fragmentos de diversos tamaños en una matriz tobácea y arcillosa; por último tobas alteradas, horizontes de pómez y suelos arcillosos

La parte central de la DAO son lomas formadas por rocas generalmente firmes, depositadas fuera del ambiente lacustre, que pueden o no estar intercaladas con depósitos arenosos ya sea suelto o compactado. En la parte sureste se encuentra un área conformada por basaltos y andesitas basálticas (Delgado, y otros, 1998), que fluyeron desde el volcán Xitle de edad del Holoceno. Afloran en el área de los pedregales.

Al este de la DAO en la parte más baja se encuentran los depósitos lacustres, constituidos por arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con diverso contenido de arcilla o limo, que tienen una consistencia firme a muy dura y de espesor variable (fig. 11). Por lo general suelen estar cubiertas por suelos aluviales y rellenos artificiales.

4.2. Geología de la Delegación Álvaro obregón.

4.2.1. Estratigrafía.

El primer estudio sobre la estratigrafía de la Cuenca de México se debe a Bryan (1948), quien dio el nombre de Formación Tarango (fig. 11).

La zona de las lomas, es un piedemonte volcánico, de edad Plioceno - Pleistoceno. Debido a lo extenso y complejo de su génesis es difícil reconstruir los episodios de su formación (García Romero, 1998). Esto da como resultado que los productos piroclásticos expulsados por los volcanes se hayan depositado uno sobre otro de forma reiterada; como consecuencia se tienen dos tipos de depósito:

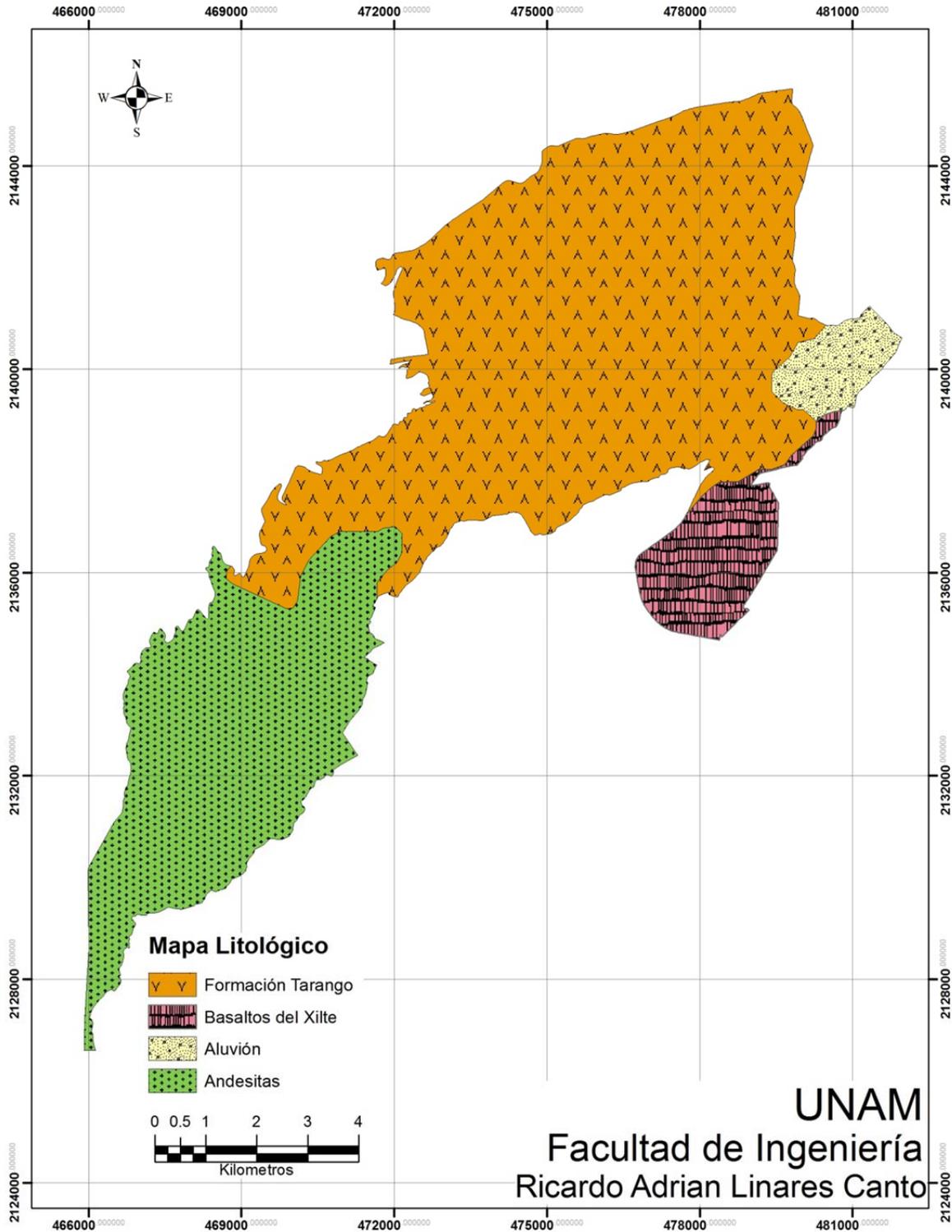


Figura 11. Mapa litológico de la DAO.

- a) Cenizas de andesita y de pómez fina que fueron transportadas por el aire hasta distancias de más de 30 km de las fuentes de emisión y que mantelan las laderas y la base de la sierra.
- b) Flujos piroclásticos y lahares dejaron sus depósitos al pie de la sierra y formaron amplios abanicos.

Los materiales se superponen e intercalan de muy diversos modos, de tal manera que sus características varían continuamente; aunado a esto, el tectonismo cuaternario lo ha dislocado intensamente lo que complica más su relación estratigráfica. Por lo anterior, la Formación Tarango se agrupa en una unidad cuyos componentes son:

1. Depósitos de flujo piroclástico y lahar, los cuales afloran desde los 2800 msnm hasta los 2300 msnm. Consiste de fragmentos gruesos envueltos en una matriz de textura areno-arcillosa, con andesita y con frecuencia, pómez o escoria (García Romero, 1998). En la porción SW de la DAO, los fragmentos andesíticos están empaquetados en arenas de diversos colores utilizados en la construcción, las llamadas “arenas rosas”, “arenas azules” y “Cuquita” (Mooser, 1986).
2. Tobas, ceniza y pómez. Son las unidades litológicas de mayor extensión. Su origen es de erupciones tipo pliniano durante el Plioceno – Cuaternario; por este tipo de erupción violenta, alcanzaron grandes alturas y se expandieron hasta cubrir un radio de 30 km.

Lugo Hubp et al. (1995), por medio de trabajo de campo, reconocen seis unidades litológicas:

- a. Piroclastos finos: principalmente cenizas de color amarillo a pardo, en partes con un tono rosado. Es el depósito con mayor distribución horizontal y vertical con un espesor máximo de 50 m, uno medio de 5 m y el mínimo de 50 cm aproximadamente. Arellano (1986) y Bryan (1948) también la reconocen como la formación Tarango. En esta unidad se presentan dos variedades: toba con clastos angulosos y ceniza con pómez.
- b. Pómez: es abundante en la delegación. Se presenta en la mayoría de los barrancos profundos. Hacia la parte inferior, la capa de pómez es

abundante en la delegación pero se reduce hacia sureste. En el trabajo de campo descrito por Lugo Hubp (1995), se reconocen tres capas de pómez:

- i. En capas horizontales, que son del tipo predominante, tiene un espesor máximo de 5 m y con un mínimo de 50 cm. El color de esta unidad es amarillo claro. Presenta poca resistencia a la erosión por su débil compactación y alta filtración.
 - ii. La siguiente es una pómez fina de color blanco poco común; está constituida por fragmentos pequeños de 3 mm hasta 5 mm. Se presentan lentes con un espesor máximo de 15 cm y el mínimo de 10 cm.
 - iii. Pómez rosa es otra unidad que se puede distinguir. Se presenta en estratos con un espesor máximo de 3 m y el mínimo de 1 m con el promedio de 2 m. Esta pómez a diferencia de las anteriores, presenta un bajo contenido de minerales ferromagnesianos (Pantoja Alor, 1990); es poco compacta y la humedad es un agente erosivo muy activo para la misma.
- c. Depósitos de flujos piroclásticos. Es una unidad distribuida generalmente en la parte media y norte de la delegación. De acuerdo con Lugo Hubp et al. (1995), se reconocen tres tipos principales:
- i. Clastos mal clasificados; el tamaño promedio es de 2 a 5 cm de diámetro con un máximo de 15 cm y mínimo de 1 cm. De color gris azulado por lo general, ocasionalmente de color rosa o pardo rojizo. Las capas en el norte tienen un espesor aproximado de 30 m, los clastos son más uniformes, bien clasificados; los tamaños mínimos son de 10 cm y predominan los de 15 cm. Están bien cementados y son comunes en el parteaguas entre los ríos Tacubaya, Becerra, La Piedad y Mixcoac, y específicamente en la colonia Mixcoac y Santa Fe.
 - ii. Una capa delgada, desde 60 cm hasta 2 m, con clastos angulosos bien clasificados, 1 a 5 cm, bien cementados; descansan en forma concordante, generalmente sobre pómez.
 - iii. La siguiente unidad es un depósito de sedimentos volcánicos de color gris azulado. Los clastos angulosos son bien clasificados de

varios tamaños; desde algunos milímetros hasta los 3 cm. Están poco consolidados y dispuestos en forma masiva.

Los tres depósitos anteriores son los que Mooser et.al. (1986) llaman arenas azules y pueden ser observados en las canteras en explotación contiguas a la Universidad Iberoamericana. En la margen septentrional de la autopista a Toluca aflora un derrame piroclástico más antiguo, llamado por Mooser et.al. (op.cit.) Cuquita, característico por su matriz pumítica y bloques, desde pequeños, de 1 a 3 cm, hasta mayores de 30 cm.

3. El lahar de flujo piroclástico es una unidad bien representada en la delegación, con espesor de hasta 35 m; se encuentra distribuido en la parte media y sur de la delegación. Tiene bloques de andesita de hasta 1.5 m de diámetro; la clasificación es mala y los tamaños varían hasta el cm, aunque los más representativos son de 10 - 20 cm. Presentan una compactación regular, cementados con piroclastos finos con pómez. La unidad se encuentra generalmente en contacto horizontal y vertical con tobas masivas.
4. Depósitos de derrame de lodo: presentan clastos mal clasificados, de color rosa, pardo y blanco claro. Su espesor máximo es de 3 m; los clastos que lo forman tienen tamaños máximos de 20 cm, los mínimos de 2 cm. Presentan una compactación regular, cementado con piroclastos finos con pómez. Estos depósitos son propios de corrientes de desembocadura de arroyos montañosos.
5. Conglomerados: por lo general se localizan en la base de los barrancos o bien en las laderas de los mismos. Consisten en cantos bien clasificados, redondeados, con un tamaño máximo de 2 a 5 m y un mínimo de 1 a 5 cm y son muy compactos.
6. Lavas del volcán Xitle. Con una edad aproximadamente de 2200 años, ocupan una porción pequeña de la demarcación. Actualmente se encuentran en la colonia Pedregal de San Ángel, donde sobreyacen a capas de pómez.

4.2.2. Columna estratigráfica

Columna estratigráfica

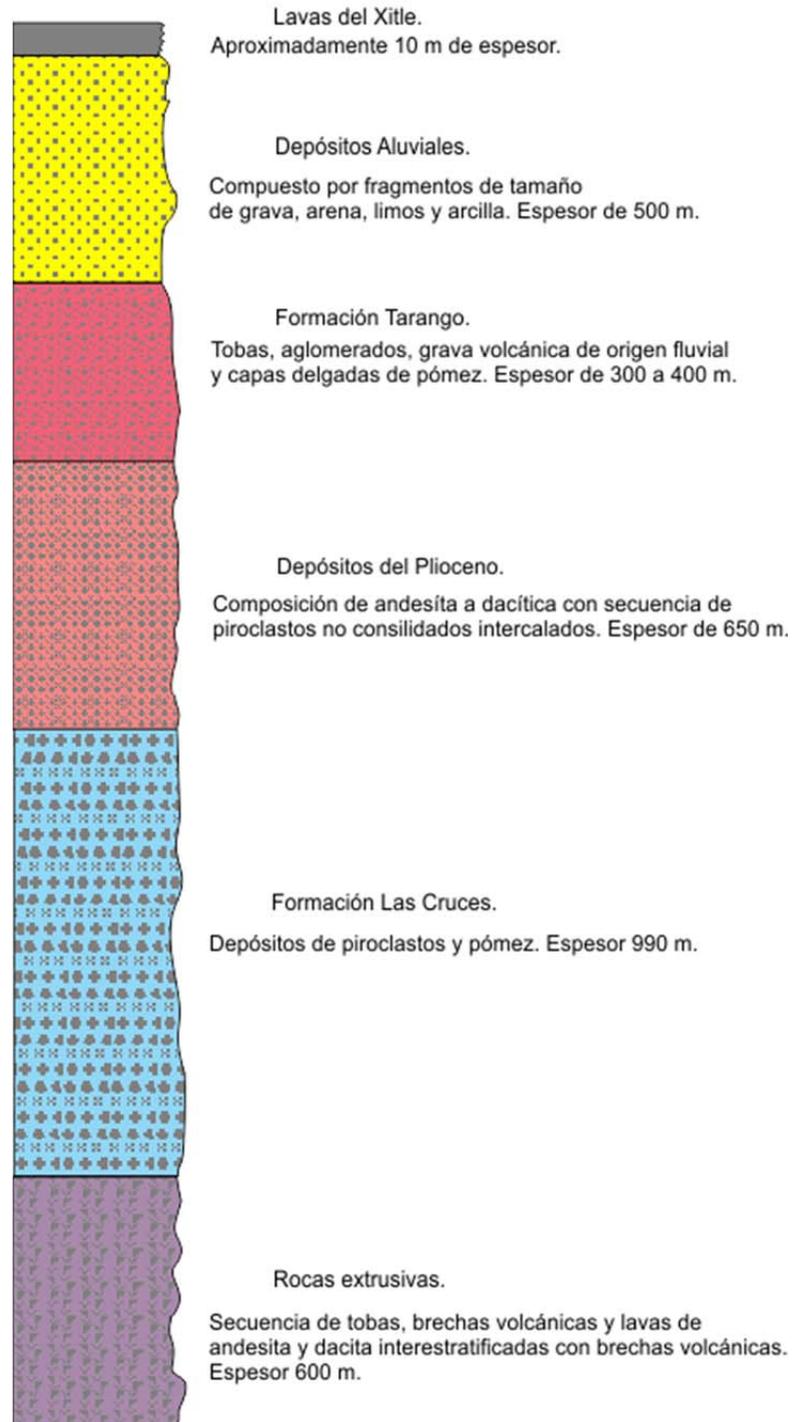


Figura 12. Columna estratigráfica de la DAO.

4.2.3. **Rocas extrusivas del Mioceno medio y tardío.**

Estas rocas se encuentran en lo que es la base de la sierra de Las Cruces (fig. 12). Se encuentran constituidas por secuencias de tobas, brechas volcánicas y lavas de andesita y dacita interestratificadas con brechas volcánicas, con un espesor medio de 600 m (Vazquez Sanches, Jaimes Palomera, 1989).

4.2.4. **Formación Las Cruces (Tpc).**

Definida por Schlaepfer (1968) como “el conjunto de rocas volcánicas que forman las sierras de Las Cruces y Monte Alto” (fig. 12), formado por depósitos piroclásticos y pómez, que se pueden o no encontrar interestratificados con material aluvial, con un espesor de 990 m (Vazquez Sanches, Jaimes Palomera, 1989).

4.2.5. **Depósitos del plioceno.**

Afloran en los flancos de la sierra de Las Cruces (fig. 12). Su composición varía de andesítica a dacítica con secuencia de piroclastos no consolidados intercalados con derrames lávicos, con espesor de 650 m (Vazquez Sanches, Jaimes Palomera, 1989).

4.2.6. **Formación Tarango.**

Fue definida por Bryan (1948) quien dio el nombre de formación Tarango a una secuencia de 300 a 400 m de espesor de tobas, aglomerados, grava volcánica de origen fluvial y capas delgadas de pómez (fig. 12). En la Formación Tarango Inferior se derramaron grandes volúmenes de tobas, aglomerados, depósitos fluviales y horizontes de pómez, en forma de avalanchas ardientes. Debido a que las capas inferiores de la Formación Tarango sobreyacen y en parte se intercalan con los derrames de la secuencia volcánica de la Sierra de Las Cruces, se le asigna una edad del Plioceno Tardío (Aguayo Camargo et. al., 1989) La parte superior de la formación está caracterizada por avalanchas ardientes de andesitas, las cuales inundaron las antiguas barrancas en las lomas de Chapultepec (Mooser, 1961). En esta parte predominan las cenizas volcánicas arenas

gruesas de pómez y fragmentos andesíticos; todo el material vulcano-sedimentario se encuentra mezclado lo que le da una apariencia de depósito de nube ardiente (Aguayo-Camargo et. al., 1989).

La característica de esta formación, en su parte inferior, es el estado caótico en el cual aparecen depositadas las series clásticas (Mooser, 1957; Tapia Varela y López Blanco, 2001). Esta serie clástica consiste de material andesítico derivado de la destrucción rápida y erosión profunda de los complejos volcánicos. Los depósitos carecen en su mayoría de estratificación, orden de tamaño, y forman horizontes de distintos espesores (Mooser F., 1957).

4.2.7. **Depósitos aluviales.**

Se tienen espesores alrededor de 500m, compuestos por fragmentos de tamaño de grava, arena, limos y arcilla (fig. 12).

Contemporáneo al desarrollo de la red fluvial, se inician las últimas erupciones volcánicas intensas y el ciclo de efusiones más recientes. Las capas de pómez que cubren tanto las partes altas como las antiguas cañadas de la Formación Tarango Inferior y los abanicos aluviales de la sierra de Guadalupe, dan prueba de violentas explosiones volcánicas (Mooser F. , 1961).

4.2.8. **Lavas del Xilte**

La composición es de basaltos y andesitas basálticas. Se ha fechado la edad radiométrica de las lavas aproximadamente de 2,000 años (fig. 12). Tiene un espesor aproximado de 10 m. (Delgado, y otros, 1998).

4.3. **Geología estructural.**

Existen fallas (Cordero, 1992) que datan del Mioceno tardío tienen un rumbo general NW (fig. 13) y son las siguientes: Nevado-Pachuca, Huixquilucan, Contreras, Ajusco, Taloc-Apan, Chinameca, y Xochimilco; a su vez estas fallas conforman un conjunto de fosas: la gran fosa del terciario medio se ubica entre las fallas del Nevado-Pachuca y Chinameca, entre las fallas Contreras y Ajusco

se encuentra la fosa Peñones. La falla Xochimilco y la Tlaloc-Apan forman la fosa central de la Cuenca de México. Estas fosas constituyen bloques correspondientes a las sierras más importantes: Tezontlalpan, el NW de la falla Nevado-Pachuca; Las Cruces-Zempoala entre el flanco NW de la fosa central y el flanco de la falla Nevado-Pachuca; el bloque de las sierras Nevada y Río Frío, localizado entre el flanco SE de la fosa central y la falla Chinameca. Para la DAO, es importante el estudio de la sierra de Las Cruces.

El bloque de Las Cruces está cortado por un enjambre de fallas que se detectaron en la superficie y lo limita el norte por la fallas Río Hondo y al sur la de Contreras (De Cserna et al., 1990).

Este enjambre está formado por ocho estructuras; Cordero (1992) menciona sólo seis que son las que se encuentran en la DAO y que a continuación se mencionan:

- i. **Falla Contadero.** Mide aproximadamente 10 Km, es ligeramente convexa hacia el norponiente; tiene un rumbo de NE40°. Al nororiente, el rumbo cambia a NE60°, al parecer el bloque hundido se encuentra al suroriente, el desplazamiento de la misma fue vertical y no se conoce su dimensión. Posteriormente sufrió un desplazamiento horizontal en la zona, donde choca con la Falla Santa Fe, se calcula que esta última tiene en 1500 m (De Cserna et al., 1988).
- ii. **Falla Santa Fe.** Dividida en dos estructuras en estrecha relación; el primer tramo, noroccidental, tiene un rumbo de NE45°, hasta el fraccionamiento Lomas de Vista Hermosa, y de este tramo suroriental hasta su terminación, donde choca con la falla Contadero; su rumbo es de NE80°. Su longitud es de 17 km. El desplazamiento vertical de la misma es de 20 m y el bloque hundido se localiza al norponiente, tanto para el tramo noroccidental como para el suroriental.
- iii. **Falla Atzoyapan.** Se ubica al suroriente del enjambre; su longitud superficial es de 11 km, con una trayectoria casi recta. El rumbo es NE60°, el desplazamiento vertical de 20 m aproximadamente y el bloque hundido es el noroccidental.
- iv. **La Falla Puente Colorado.** Se extiende desde Santa Rosa Xochiac, al nororiente, hasta la Barranca del Muerto; tiene unos 10 km de longitud. A 4

km al nororiente de Santa Rosa Xochiac está cortada por una pequeña falla oblicua que se extiende 500 m al suroriente, con una longitud superficial de 5 Km al nororiente. El tramo suroccidental de esta falla tiene un rumbo de NE60° y el nororiental de NE65°. El bloque hundido de la falla principal está al norponiente. La falla oblicua que corta a la estructura principal tiene dirección E-W y el boque hundido se localiza en el sur.

- v. **Falla Texcalatlaco.** Se extiende desde las cercanías de San Bernabé Ocotepéc hasta la presa Tarango, tiene una longitud de 7 km y trayectoria convexa hacia el norponiente; su mitad suroccidental tiene un rumbo de NE40° y el nororiental NE60°. Se considera que esta falla es normal y tiene el bloque hundido al suroriente.
- vi. **Falla Contreras.** Es la que se encuentra al extremo suroriente del enjambre; se localiza a lo largo de la barranca del Río Magdalena, tiene una longitud de superficial de unos 13 Km, se extiende desde las cercanías del cerro La Palma hacia el nororiente, hasta Contreras, donde se pierde en la zona urbana; su rumbo es de 55° NE. No se conoce el tipo de desplazamiento de ésta estructura, pero según Mooser (1975) es una falla de desplazamiento vertical.

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

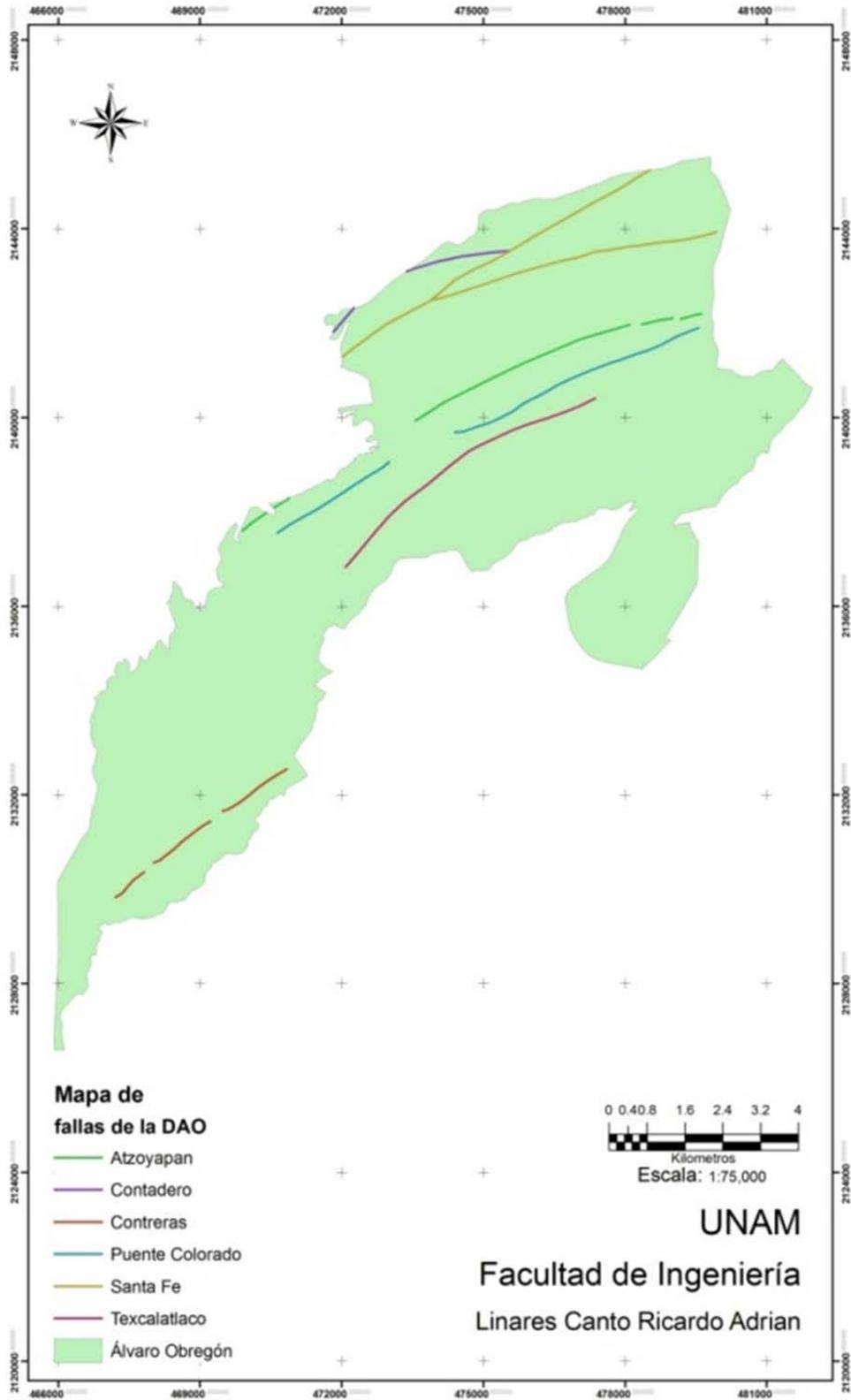


Figura 13. Mapa de fallas de la DAO.

5. Geomorfología.

En la geomorfometría de terrenos montañosos se han tenido que hacer modificaciones a las diferentes clasificaciones, debido a que un solo sistema de clasificación no es suficiente para para caracterizar la compleja naturaleza de los múltiples relieves. Estos cambios se vienen dando desde 1852 cuando Ritter apuntó el significado vago del término “montaña”, el cual relaciona problemas básicos de semántica del relieve basado en un contexto específico. La primera definición de “montaña” la dio Sonklar (1873), también incluyó la diferencia entre cerro y montaña basado en el relieve, donde el límite del relieve desde el fondo del valle hasta la cima y empieza desde los 200 m. Esta definición no hace distinción si se encuentra en una planicie de poca altitud o de mayor altitud, o si la cima está incorporada en un sistema de alta montaña. Penck (1984) publica una definición de “montaña” que es parecida a la de Sonklar en 1873. Sin embargo dos años después, Penck define montaña como “un área que se inclina en todas direcciones desde una posición cualquiera”. Más adelante describe que las montañas son una de las seis formas básicas de la superficie de la Tierra. En consecuencia, un sistema montañoso es interpretado como relieve de mayor orden, en otras palabras es un agregado individual de un número de formas del relieve. Esto fue criticado por Obst (1914) y Supan (1911), que presentaron diferentes puntos de vista y acordaron que la diferencia entre cerro, montaña y sistema montañoso basado en la extensión de área o altura no es una clasificación adecuada (Bishop & Shroder Jr, 2004).

A nivel internacional se tienen diferentes escuelas para la clasificación sistemática del relieve como lo es de la antigua Unión Soviética y Europa Oriental, y luego las desarrolladas en Australia y Europa Occidental. En México se han desarrollado técnicas por la entonces SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología) (Bocco G. y., 2009). Las clasificaciones propuestas en este trabajo se obtuvieron con el programa ArcMap. Se usó la morfometría ya que proporciona la parametrización de los procesos que toman lugar en la formación del relieve.

5.1. Procesos endógenos.

Se manifiestan por sismicidad, volcanismo, magmatismo, fallas, fracturas y plegamiento. Todos estos fenómenos son parte del grupo de los procesos endógenos (Lugo, 1988).

Por la historia geológica que presenta la zona de estudio, se puede deducir que los procesos que tiene mayor presencia en el modelado son volcanismo, las fallas y fracturas.

5.2. Procesos exógenos.

La transformación permanente de la superficie terrestre se realiza también por la acción de los procesos exógenos, condicionados por los endógenos, por el clima y la gravedad. Son tres tipos de procesos externos los que se encargan de la nivelación de la superficie terrestre: el intemperismo o meteorización, la erosión o denudación y la acumulación. El intemperismo se encarga, por fenómenos físicos, químicos y bioquímicos, de la destrucción de las rocas. La remoción de partículas preparadas por el intemperismo se produce por distintos agentes, lo que es el proceso de erosión o denudación; finalmente las partículas acarreadas son depositadas en forma temporal o permanente, lo que constituye la acumulación (Lugo, 1988).

La erosión complementa al intemperismo al remover las partículas preparadas. Los medios principales son: escurrimiento superficial y subterráneo, el hielo en movimiento (glaciares), el mar (olas, mareas corrientes litorales) y el viento. Como se puede apreciar en la DAO, la erosión fluvial ha sido el principal como agente modelador del relieve.

La acumulación es el último en los procesos exógenos, se cumple con los mismos medios que la erosión, con la excepción que en la DAO la actividad antrópica ha cubierto por completo las zonas donde se acumularon originalmente los sedimentos. En la actualidad el principal agente modificador del relieve en la DAO es el ser humano, ya que modifica el relieve de manera muy rápida, en comparación con los miles o millones de años que lleva modificar el relieve naturalmente.

5.3. Morfometría.

La morfometría es un método cuantitativo que facilita la comprensión de las formas del relieve (Toscana Aparicio, 1998). Los elementos que se pueden cuantificar a partir de las formas del relieve son: longitud, superficie, volumen, altura absoluta y relativa, pendiente, orientación, densidad, frecuencia y otros elementos numéricos (Lugo, 1991.).

Estos métodos permiten clasificar el relieve en función de sus propiedades métricas (Tabla 1). Esto es, definir superficies con límites más o menos precisos de otros diferentes con el fin de relacionarlas con las estructuras geológicas y los procesos exógenos.

La ventaja de los métodos morfométricos es su capacidad de mostrar en forma objetiva los cambios que experimenta la morfología del relieve, su degradación y por ende su vulnerabilidad ante la acción de los procesos exógenos. A continuación se muestra una tabla de clasificación de las formas del relieve terrestre de Piotrovsky (1977):

Magnitud (orden)	Superficie.	Dif. de alturas (metros).	Ejemplos.	Escala de representación
I	Millones de km ²	Hasta 20,000 2,500-6,500 prom.	Continentes, cuencas oceánicas	1:50 000 000
II	Decenas y miles de km ²	Max 11,000 500-4000 prom.	Altiplanos, países montañosos continentales y oceánicos, depresiones cratónicas y oceánicas.	1:10 000 000 1:1 000 000
III	Cientos y miles de km ²	200-2000	Montañas, grandes cuencas, algunas trincheras.	1:1 000 000 1:100 000
IV	Cientos y miles de m ²	200-300	Colinas, terrazas, poljes, barrancos.	1:50 000 1:10 000
V	M ² y cientos de m ²	m y decenas de m	Bancos de cauce, barrancos, dolinas	1:25 000 1:5 000
VI	Dm ² y m	0.1 a 1-2	Montículos, cárcavas	1:5 000
VII	Cm y dm	cm ² y dm ² a m ²	Cúmulos y estrías	-----

Tabla 1. Clasificación de las formas del relieve de Piotrovsky.

En el análisis morfométrico existe la posibilidad de selección, es decir, se elige el mapa (escala y equidistancia de curvas de nivel) en que se realizan las mediciones, así como el tipo y escala donde se presentan los resultados.

Los métodos morfométricos utilizados en este trabajo son el análisis altimétrico, pendientes y disección vertical.

5.4. **Hipsometría.**

Este mapa tiene la finalidad de presentar de manera simplificada la información topográfica, condición que permite distinguir de forma inmediata los desniveles y pisos altitudinales más importantes, así como las alturas máximas y mínimas. A pesar de su simplicidad, es uno de los más importantes, ya que resume de forma rápida y clara la información del mapa topográfico (Lugo, 1991.). La elaboración de este tipo de cartografía se considera básica en el análisis y clasificación del relieve, ya que considera de manera indirecta la génesis, estructura y dinámica del mismo (García Romero, 1998).

La clasificación de los intervalos se hizo para remarcar las principales diferencias altitudinales del mapa hipsométrico a partir de los cortes naturales (NB); en cuanto a los rangos definidos, el programa construye clases similares y al mismo tiempo maximiza los contrastes entre estos. De este modo forma límites de clases las cuales muestra diferencias considerables entre los valores.

Ya identificados los principales contrastes altitudinales, se estableció el número de rangos en que se agruparían, se delimitó que nueve intervalos que representan de manera apropiada el relieve. A continuación se procedió a una reclasificación manual para que los valores tengan una mejor representación.

A partir del análisis espacial del mapa hipsométrico (fig. 14), se distinguieron dos unidades morfológicas de relieve bien definidas (zona de sierra y zona de piedemonte), las cuales presentan características particulares sobre su génesis y a los procesos que la modelan. Están representadas en el mapa de zonas geomorfológicas (fig. 15).

La elaboración del mapa hipsométrico se apoyó en el mapa de topográfico del INEGI, el MDE de INEGI escala 1:50,000 y análisis bibliográfico previo. Para la interpretación del mapa hipsométrico se apoyó en el mapa de pendientes. El resultado es la división de la DAO en dos regiones morfológicas definidas por su génesis: la **zona de la sierra** este queda definido aproximadamente desde la altura de 3800 msnm hasta 2700 msnm; la **zona de piedemonte**, conformada

desde 2700 msnm hasta 2280 y está definida por los barrancos de composición (ver mapa litológico) “variada ya que tiene depósitos de cenizas, arenas y lapilli, es decir, que se depositaron por vía aérea, lahares, brechas cementadas por arcillas (Maples Vermeersch, 1972)” y llegándose a mezclar con los depósitos lacustres hacia el E.

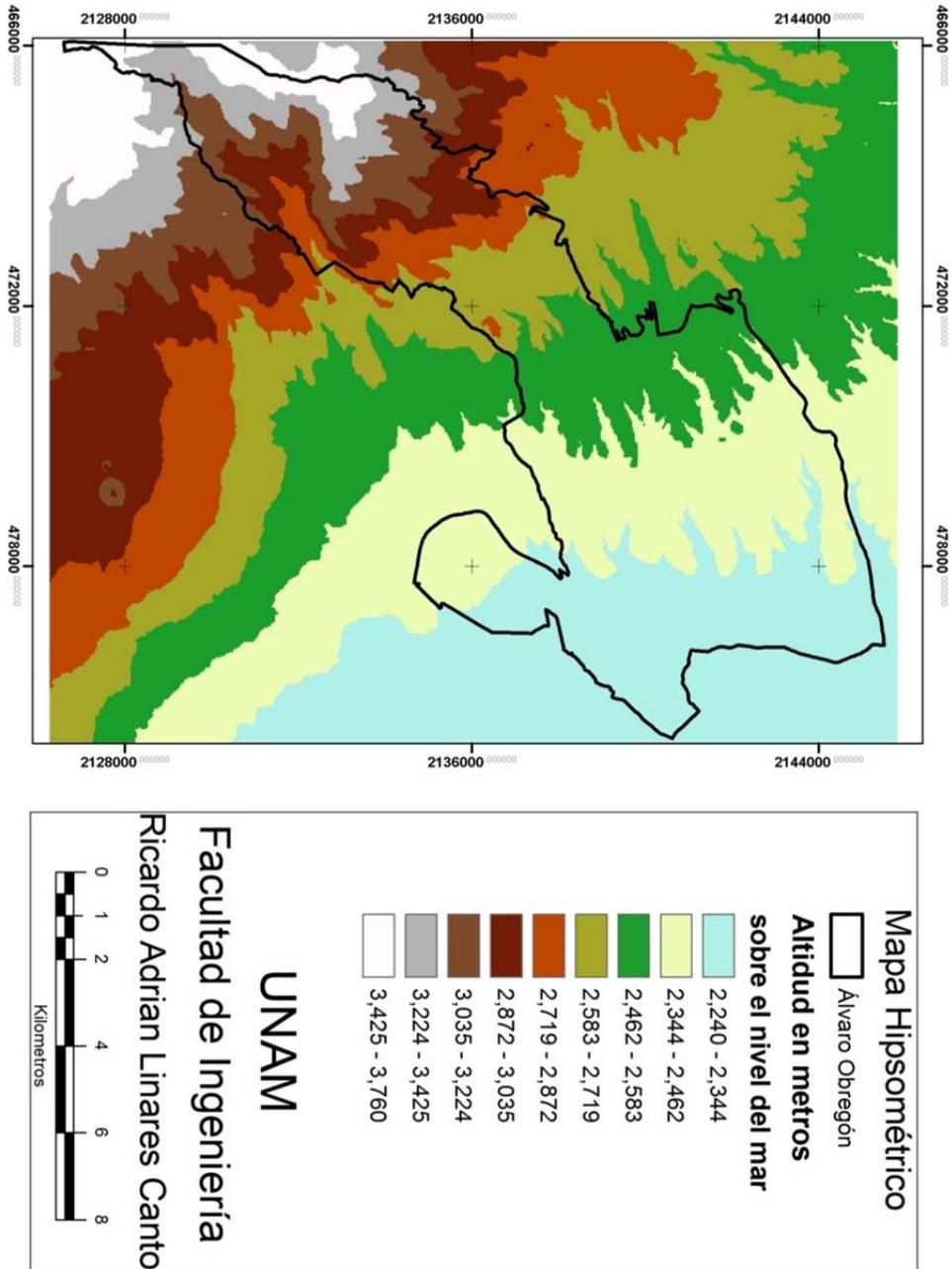


Figura 14. Mapa Hipsométrico de la DAO.

5.4.1. Zona de la sierra.

Esta zona abarca desde la parte más alta de la DAO que tiene una altitud de 3800 msnm como límite superior hasta los 2700 msnm. Como parte de la Sierra de las Cruces, el cual presenta dos unidades geomorfológicas mayores: relieve de montaña y piedemonte (Garcia Palomo, y otros, 2008), en esta zona comienzan a ser frecuentes los afloramientos rocosos a partir de los 2700 msnm en promedio.

Esta es la zona más antigua ya que data del Mioceno con composición de rocas volcánicas andesíticas y dacíticas.

Dicha zona colinda con la delegación Cuajimalpa de Morelos y La Magdalena Contreras. Aquí es donde se localiza el cerro San Miguel, el cual tiene la máxima altitud de 3870 msnm. En esta zona tiene un desarrollo de barrancos en forma de V. El proceso de modelamiento llega a ser tan intenso que pierde la fisonomía original del relieve. Esta es la zona más antigua ya que data del mioceno con composición de rocas volcánicas andesíticas y dacitas.

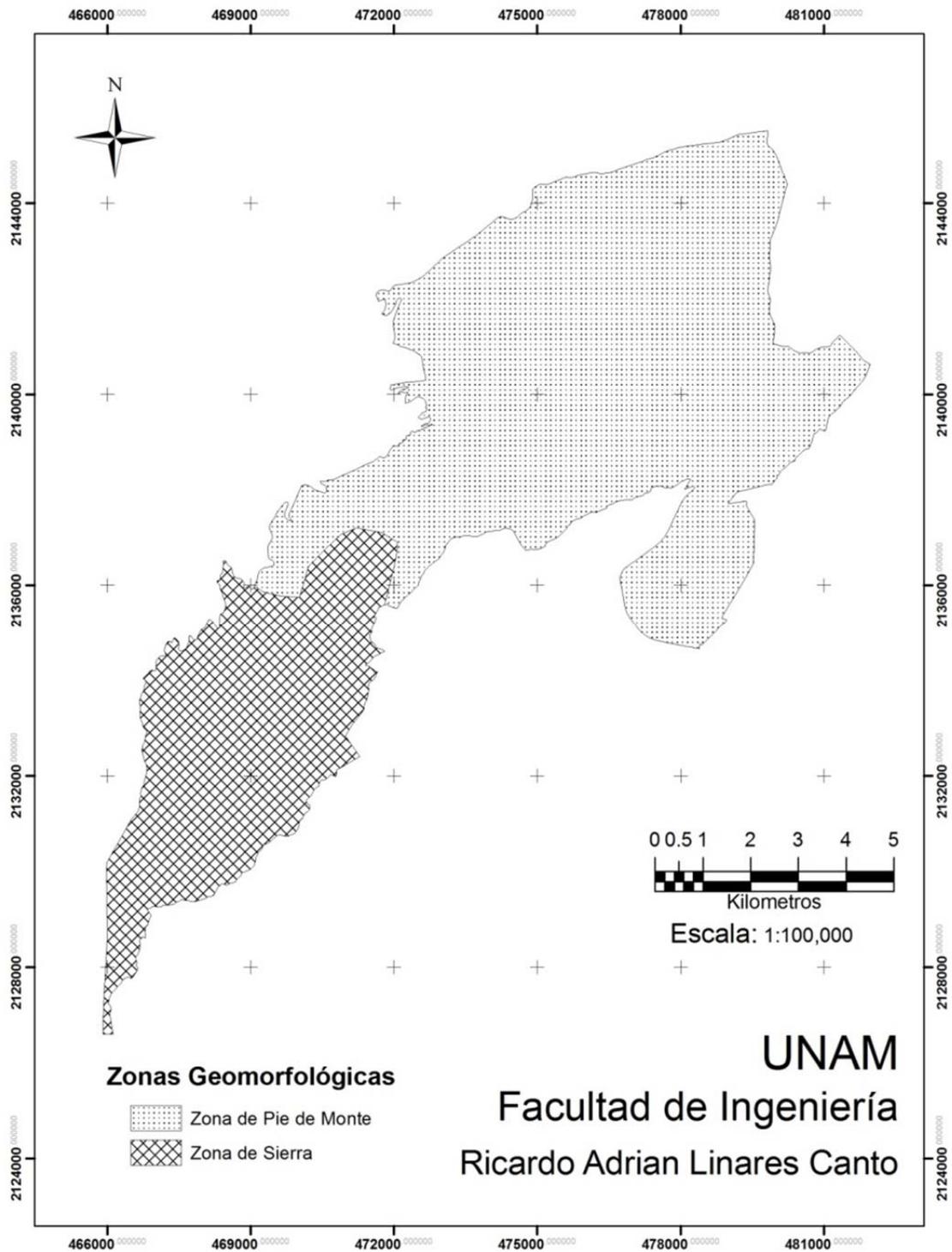


Figura 15. Mapa de las Zonas Geomorfológicas.

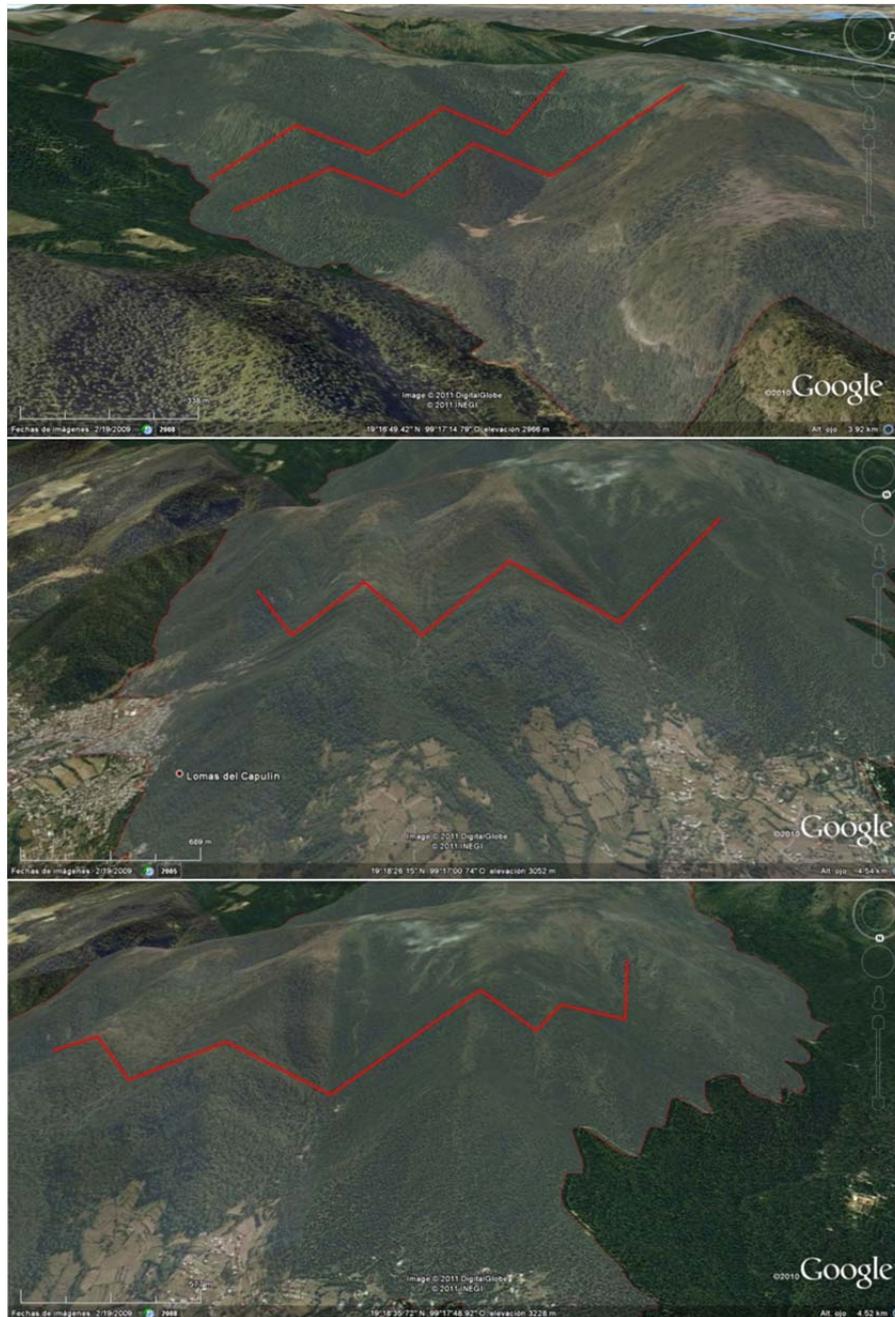


Figura 16. “V” de la Zona de la sierra. En transparencia la DAO.

El proceso que lo origina es netamente endógeno (volcánico), pero el que lo modela es el exógeno (fluvial), aparentemente sin actividad antrópica actuando en las corrientes de agua y remoción de masa. La dinámica en esta zona se presenta con actividad erosiva intensa que ha formado

barrancos de 200 m de profundidad y se encuentran separados por una superficie de parteaguas con escasos 20 m de longitud. La disección aquí es muy activa y lo único que lo suaviza es la presencia de una espesa carpeta vegetal. Se puede apreciar el perfil en “V” claramente de las divisorias en esta zona (fig. 16).

5.4.2. Zona de piedemonte.

Esta zona comienza desde los 2700 msnm, donde se limitó por sus características morfológicas del relieve (pendientes del terreno, comportamiento de las curvas de nivel y su geología). El nivel inferior está en los 2240 msnm. Esta zona es colindante con la delegación Cuajimalpa de Morelos, Miguel Hidalgo, la Magdalena Contreras, Coyoacán, Benito Juárez, y Tlalpan. Esta zona tiene la característica de estar cortada por barrancos principales y secundarios, los primeros de hasta 100 m de profundidad y los segundos de 20 – 40 m de profundidad (Reyes Pimentel, 2009).

El origen de la zona de lomas se vincula con procesos exógenos y endógenos, así que los primeros tienen mayor presencia que los segundos. Esto se debe a que las corrientes fluviales, que es el proceso exógeno principal, ejercen una potente acción erosiva en los materiales que componen el piedemonte, cuyo resultado son las lomas y barrancos. De los procesos endógenos y de manera más específica los volcánicos, se encuentran los derrames piroclásticos, piroclastos de caída, conglomerados y lavas. Estas últimas de composición heterogénea de materiales, da origen a morfologías complejas. El sistema de fallas que da origen a esta zona, forma los barrancos que alternan con divisorias de anchuras 40 - 60 m y 100 m de profundidad aproximadamente; los barrancos secundarios llegan a tener hasta 50 m de profundidad aproximadamente (Lugo Hubp, Martínez Luna, 1980.). Los barrancos principales tienen perfil de “V” (fig. 17), por lo tanto esta morfología tiene característica de relieve fluvial.

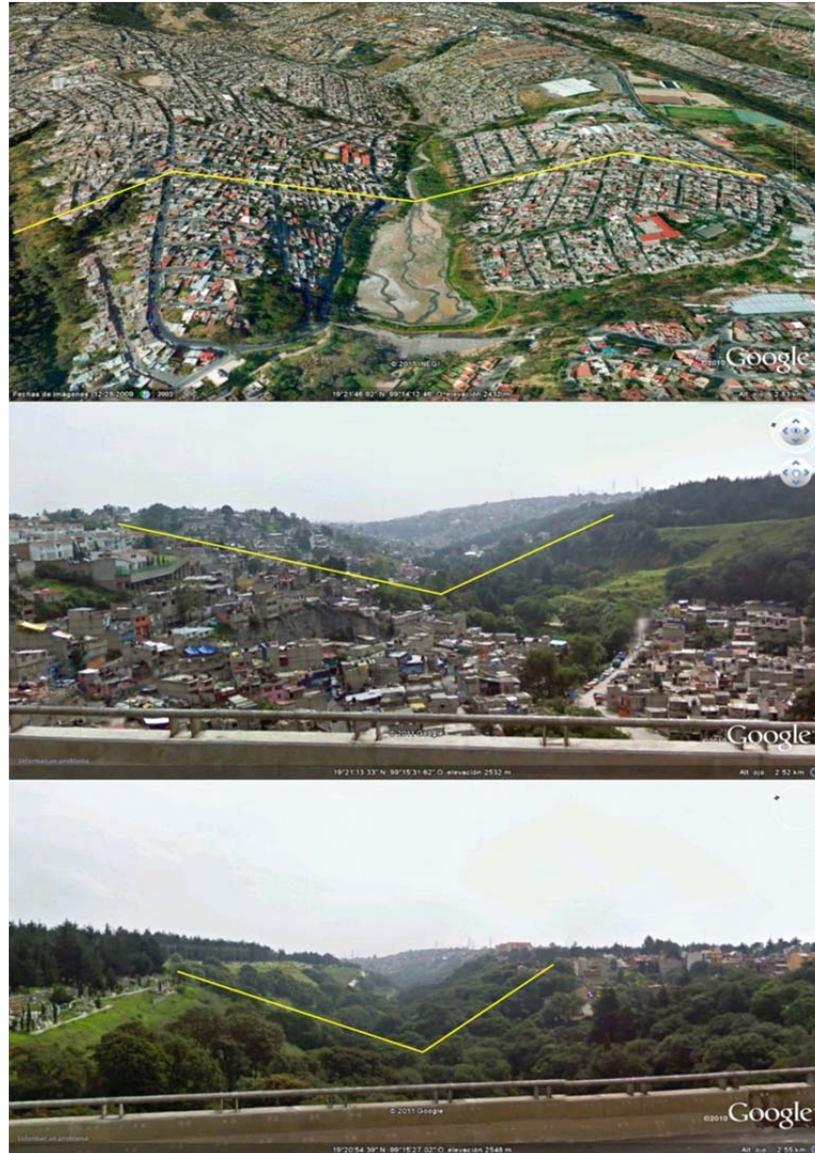


Figura 17. “V” de la Zona de pie de monte.

En cuanto la composición, esta zona tiene claramente de la formación Tarango, la cual Mooser *et. al.* (1992) reconoce las siguientes unidades:

1. Derrames piroclásticos, arenas azules.
2. Piroclastos Xolopo.
3. Pómez.
4. Derrames piroclásticos Cuquita; erupciones de nubes ardientes menores de polvo fino.

Y en la parte sureste se compone de material basáltico y andesitas basálticas las cuales emanaron del volcán Xitle.

Las principales corrientes que se presentan en la zona, generalmente se encuentran entubadas y evitan el modelado del relieve. Los procesos exógenos han sido interrumpidos, pero el proceso de modelación que tiene mayor expresión es el antrópico, en consecuencia los procesos exógenos son parcialmente evitados ya que miles de cientos de años estos fueron los dominantes.

5.5. Pendientes.

La pendiente del terreno está condicionada por diversos factores, entre los que se puede mencionar: la litología y estructura geológica, la geometría de las vertientes y la intensidad y tipo de procesos modeladores del relieve. El análisis de pendientes tiene como objetivo caracterizar las formas del relieve en función del grado de inclinación y procesos erosivos que la modelan.

Los valores de pendiente pueden obtenerse por medio de fórmulas aritméticas, sus unidades en que se representa están en función del tipo de información que se quiera obtener como m/km, porcentajes o grados, pero en la cartografía se acostumbra en grados (Lugo, 1988).

La fórmula aritmética para conocer los valores de la pendiente es:

$$\text{Pendiente del terreno} = \text{ang tan } (\Delta C / LPH)$$

Donde ΔC es la diferencia de cotas o curvas de nivel y LPH es la longitud de la proyección horizontal medida en planta.

Para la metodología de este análisis se utilizó el SIG, ArcMap, así como las curvas de nivel del INEGI a escala 1:50,000. Las curvas se interpolaron para generar un TIN. Para construcción de los rangos de pendiente se tomaron en cuenta los trabajos de García (1993), Gómez (1998), Lugo (1988), Protección Civil (2004) e INE (2003). Con fin de analizar las dos zonas mencionadas previamente, se analizaron y se reclasificaron cada zona ya que de este modo se representan mejor las pendientes en la zona de la sierra, como resultado se obtuvo las tablas de clasificación para cada una de las zonas (tabla 2).

La metodología empleada aquí fue trabajar con las curvas de nivel para crear un TIN, con el producto anterior se procedió a editarlo y a obtener las pendientes el cual es un raster, estas se reclasifican y se convierte a formato shape con la finalidad de suavizar los contornos como también darle color.

Índice Morfométrico	Rango	Pendiente
Ángulo de inclinación de las pendientes (°)	< 1	Plana
	1 – 3	Muy suavemente inclinada
	3 – 5	suavemente inclinada
	5 – 10	Ligeramente inclinada
	10 – 15	Ligera a medianamente inclinada
	15 – 20	Medianamente inclinada
	20 – 30	Fuertemente inclinada
	30 – 45	Intensamente inclinada
	> 45	Abrupta

Tabla 2. Tabla de clasificación de Pendientes. INE 2003.

5.5.1. Zona de la sierra.

Debido a su composición de rocas volcánicas andesíticas y dacíticas, esta zona es más resistente a los agentes modeladores (fluviales, gravitacionales, etc.), en comparación con la zona de piedemonte que ofrece menos resistencia. La zona de sierra tiene como característica que los valores de pendiente son predominantes y que son del orden de los 3° hasta mayores de 45°.

En general se observa que los valores entre 18° a 35° (fig. 18) tienen mayor distribución, esto se debe a que es el cambio de pendiente medianamente inclinada a fuertemente inclinada; el valor que le sigue es entre 12° - 18°, este valor representa lo que en la tabla se muestra como ligeramente inclinada. Los valores de 0° - 3° tiene un comportamiento lineal del centro que llega al borde norte, en el poniente se observan los valores de sur a oeste y en el oriente los valores parten del sur al este, mientras que en el sur los valores apuntan al este, este rango está clasificado como semiplano debido a que se encuentra en la zona de la sierra. El rango de 35° - 45° forma dos fracciones, una de sur al este y la otra está en el norte, representan la pendiente intensamente inclinada. Estos valores de 6° - 12° tiene una distribución en centro y el borde norte con menor presencia en los límites sur, este y oeste, se observan valores al norte debido a que se encuentra con el piedemonte y sus valores en los bordes es porque son continuación de otras pendientes fuera de la zona. Los mayores a 45° representan la continuación y margen de las pendientes de la zona de sierra, de pendiente abrupta, los cuales tienen una distribución al centro y al este. Por

último los valores 3° - 6° tienen una escasa presencia debido a que hay un salto de los valores de pendientes. Debido a su origen volcánico esta zona tiene la configuración altitudinal mayor de la DAO. Como ya se ha mencionado, tiene escarpes muy pronunciados ya que los agentes exógenos tienen gran presencia y la modelan.

Esta clasificación (tabla 3) se hizo con detalle para que se ejemplifique el comportamiento de las pendientes, el número de rangos no sean demasiados y que su clasificación sea concisa.

Rango (en grados)	Pendiente
0 – 3	Semiplana
3 – 6	Suavemente inclinada
6 – 12	Ligeramente inclinada
12 – 18	Ligera a medianamente inclinada
18 – 26	Medianamente inclinada
26 – 35	Fuertemente inclinada
35 – 45	Intensamente inclinada
> 45	Abrupta

Tabla 3. Clasificación de pendientes de la Zona de sierra

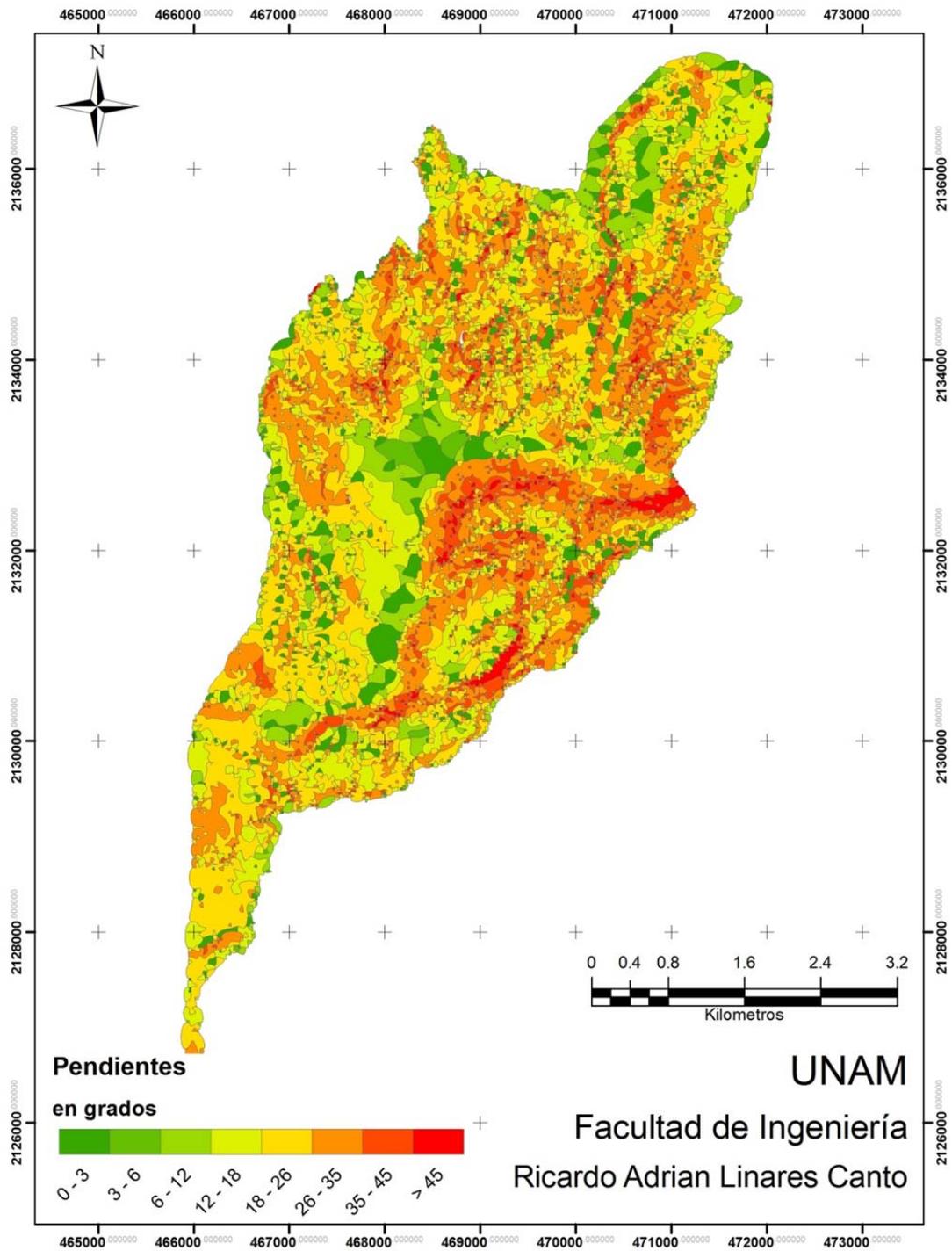


Figura 18. Mapa de pendientes de la Zona de sierra.

5.5.2. Zona de piedemonte.

Se caracteriza por una acumulación de material volcanoclástico el cual fue afectado por los procesos erosivos dándole la forma que tiene hoy en día. En esta zona la composición de la formación Tarango (cenizas, pómez, flujos piroclásticos, lahares, etc.) se mezcla con el material de la planicie. Presenta valores de pendientes que van de 0° a los 30°, por lo que en el área de lomas y barrancas presenta los mayores valores de pendientes que van de los 12° hasta 30°, en algunos sitios rebasan los 30° (fig. 19). La clasificación de esta zona es de pendientes planas a pendientes muy fuertemente inclinadas. Cabe mencionar que en el área de las lomas por lo general se presentan pendientes de 6° hasta mayores de 30° por el flanco sur, mientras que en el flanco norte tiene valores de 12° hasta 30° y en la superficie de divisorias de aguas tiene valores de 0.5° hasta 18°, en donde pasan los ríos que en la actualidad se encuentran entubados. Estas son los residuos del piedemonte original en las cuales hay significativas vialidades como la calzada Las Águilas, Santa Lucía, Santa Fe, Constituyentes, etc. (Lugo et al., 1995).

De acuerdo con Lugo (1995), las laderas de los barrancos mayores son estables, en donde hay tres tipos de construcción: las casas hechas de cartón y lámina, que presentan un riesgo importante; las construcciones modestas, estas con menor riesgo; las de mejor construcción ubicadas en laderas de fuerte pendiente, que también son afectadas en menor grado por deslaves.

El piedemonte tiene una distribución de pendientes del rango de valor de 6° - 12° se encuentra ampliamente distribuido hasta el límite con la ladera montañosa de la zona de sierra, que desde la calzada de Las Águilas hasta el Desierto de los Leones forma una banda concentrada junto con el siguiente valor, con clasificación de ligera a medianamente inclinada. El valor de 3° - 6°, tiene una distribución moderada en el centro de la zona de piedemonte, se nota este valor intercalándose con el valor de pendiente 0.5° en la parte este y norte de la zona, en el suroeste con el valor de 12° forma una franja, con la clasificación ligeramente inclinada. El valor de 1.5° - 3° se presenta en el oriente de la zona de piedemonte junto a la parte lacustre que sería desde el Periférico casi alcanzando la Avenida Escuadrón 201 y en la parte meridional, donde están las

lavas del Xitle, es del Periférico con entronque Picacho-Ajusco hasta el Eje 10 Sur y Paseos del Pedregal, clasificándola en pendiente suavemente inclinada. El valor de 12° - 18° se encuentra distribuido en la parte central en las laderas de los barrancos y en el surponiente cerca de la ladera montañosa, su clasificación es medianamente inclinada. De 18° - 24° se sitúa en las laderas de los barrancos en la parte central de la zona de piedemonte, que alcanza algunas partes de la ladera montañosa, la clasificación es medianamente inclinada. El valor de 24° - 30° , se ubica en la parte central y en las laderas de los barrancos, pero con menor presencia, clasificándola en fuertemente inclinada. El rango de 1° - 1.5° solamente se presenta en la parte de las lavas del Xitle y en sobre la avenida el Eje 10 Sur (Copilco) y la avenida de los Insurgentes, con clasificación muy suavemente inclinada; Mayores de 30° , estos valores se muestran casi exclusivamente en la parte central de la zona de piedemonte, pero también hay en el surponiente donde está el límite con la zona de sierra, la clasificación es intensamente inclinada. Por último los valores de 0.5° - 1° no tienen presencia significativa, ya que se distribuyen en las lavas del Xitle, por el Periférico y la Barranca del Muerto, su clasificación es semi plana.

El efecto de las corrientes ha modificado el relieve y a modo que las pendientes se distribuyen como se describió anteriormente. En la actualidad, estas se encuentran entubadas y no alteran el relieve, en cambio el actual modelador son las corrientes secundarias. Así que el único proceso que tiene una fuerte presencia es el antropogénico. En general, esta zona tiene escasa acción erosiva debido a que la pared de los barrancos y las lomas, han sido urbanizadas por completo.

En esta zona es donde se sitúan antiguas minas subterráneas y que tiene cierta influencia en el modelado, estas se pueden percibir como grietas o como hundimientos.

Para los rangos de los valores, estos fueron clasificados de acuerdo con la tabla 4, se empezó con 0.5° para ver con detalle las pendientes y doblando el valor hasta los 12°, de aquí en adelante se manejó cada 6° con el fin de analizar los valores de pendiente mayores y delinearlas en el mapa con su respectivo color.

Rango (en grados)	Pendiente
0 – 0.5	Plana
0.5 – 1	Semi plana
1 – 1.5	Muy suavemente inclinada
1.5 – 3	Suavemente inclinada
3 – 6	Ligeramente inclinada
6 – 12	Ligera a medianamente inclinada
12 – 18	Medianamente inclinada
18 – 24	Mediana a fuertemente inclinada
24 – 30	Fuertemente inclinada
> 30	Intensamente inclinada

Tabla 4. Clasificación de pendientes en la zona de piedemonte generado a partir del SIG.

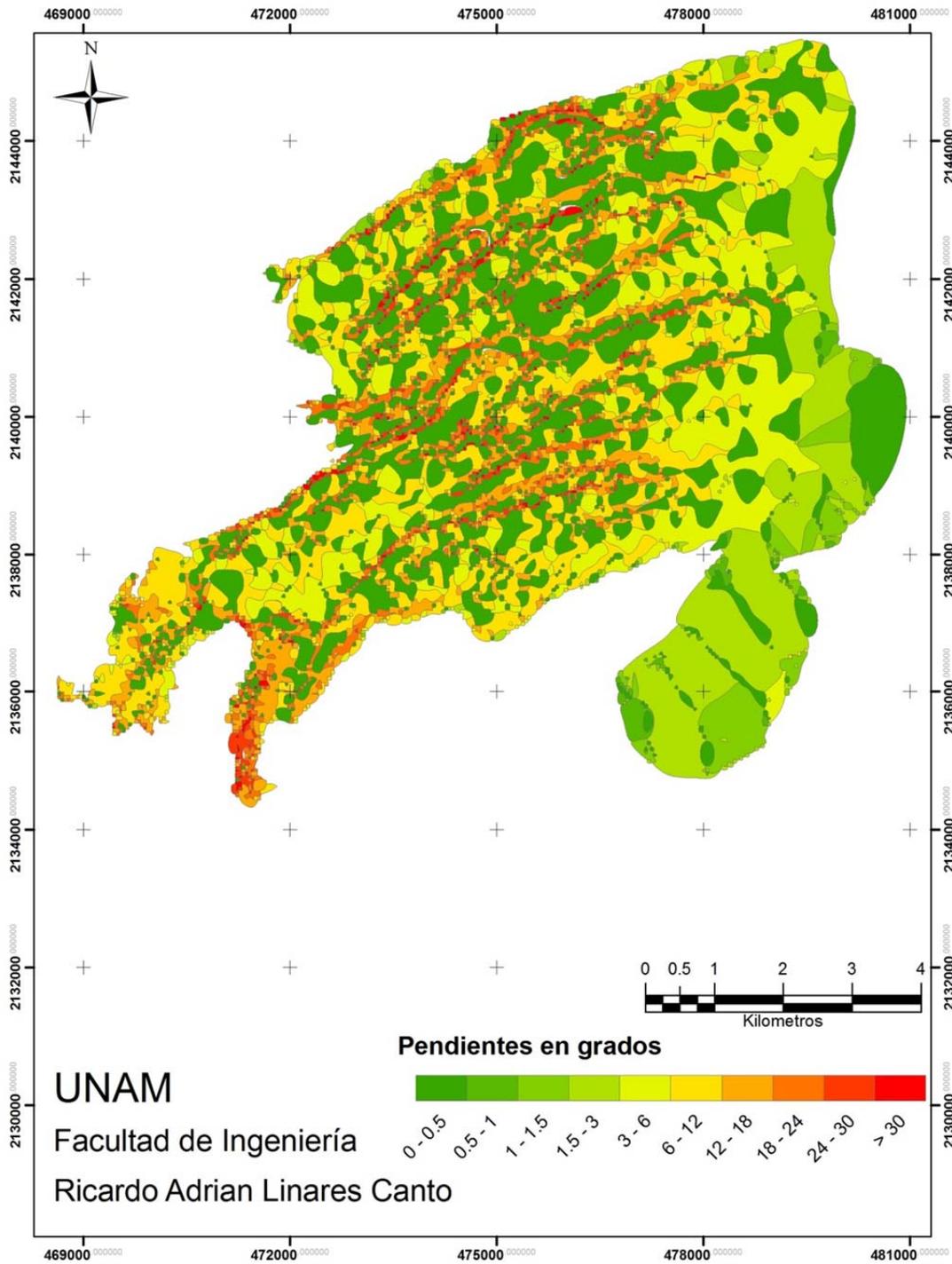


Figura 19. Mapa de pendientes en la zona de piedemonte generado en el SIG

5.6. Profundidad de la disección.

El índice de disección vertical es un método para la clasificación del relieve, lo cual ayuda a determinar los tipos morfométricos. En la DAO, ya que es parte de la sierra de Las Cruces, presenta diversas morfologías, de acuerdo con la clasificación de disección vertical (Bocco, Priego, & Cótler, 2005).

El insumo necesario para la elaboración del mapa de disección vertical lo constituyen los modelos digitales de terreno, que generalmente se derivan de curvas de nivel digitalizadas de un mapa topográfico. En la actualidad, este tipo de producto se adquiere directamente en formato digital del INEGI (Priego, Bocco, Mendoza, & Garrido, 2008).

La finalidad de este mapa es mostrar el valor del corte vertical producido por las corrientes fluviales en el relieve (Toscana Aparicio, 1998). Durante el proceso de erosión fluvial, los escurrimientos tienden a concentrarse en los sitios donde las rocas presentan menor resistencia al proceso erosivo por distintas causas, por ejemplo pendientes, vegetación, volumen y carga de las corrientes, la litología (Lugo, 1988). Por lo tanto el método nos ayuda a visualizar aquellas áreas donde la actividad fluvial tiene un papel importante en el modelado del relieve (Gomez Arizmendi, 1998).

Una vez realizado la metodología en el SIG, la DAO presenta las siguientes características de disección:

1. Lomeríos: ligera, mediana y fuertemente diseccionadas.
2. Montañas: ligera, mediana y fuertemente diseccionadas.

La medición de estas características se fundamenta en la Clasificación morfométrica del relieve mexicano, como se muestra en la tabla 5.

Índice Morfométrico	Rango	Clasificación
Disección Vertical (m/km ²)	< 2.5	Llanuras planas
	2.5 – 5	Llanuras onduladas ligeramente diseccionadas
	5 – 10	Llanuras onduladas medianamente diseccionadas
	10 – 15	Llanuras onduladas fuertemente diseccionadas
	15 – 20	Colinas ligeramente diseccionadas
	20 – 30	Colinas medianamente diseccionadas
	30 – 40	Colinas fuertemente diseccionadas
	40 – 60	Lomeríos ligeramente diseccionados
	60 – 80	Lomeríos medianamente diseccionados
	80 – 100	Lomeríos ligeramente diseccionados
	100 – 250	Montañas ligeramente diseccionadas
	250 – 500	Montañas medianamente diseccionadas
	500 - 1000	Montañas fuertemente diseccionadas
	> 1000	Montañas extraordinariamente diseccionadas

Tabla 5. Clasificación morfométrica de disección vertical del INE.

Para el análisis del resultado de la metodología, se dividió en 6 clases de disección (tabla 6). Esto con el fin de representar lo mejor posible dicho proceso exógeno y para no confundir, se analizó la disección en toda la DAO, tratándolo como un solo cuerpo y no dos como se hizo al principio ya que si fuera así no sería buena la clasificación por sí misma.

El mapa (fig. 20) nos indica el comportamiento de dicho proceso, siendo así que en el piedemonte tenemos 4 valores de disección. Estos valores son de lomeríos ligera, mediana y fuertemente diseccionadas con un cuarto valor de montaña ligeramente diseccionada. Lo que es la zona de pie de monte, se encuentra en la transición de lomeríos fuertemente diseccionados y montaña ligeramente diseccionados.

La zona de sierra está bien diferenciada en el mapa, ya que hay un salto de valores de lomeríos fuertemente diseccionada a montaña medianamente diseccionada, se presentan los valores más altos de disección vertical.

La parte SW de la DAO, como se muestra en el mapa, llega a rebasar los 300 m/km², esto se debe a sus características morfológicas y genéticas, ya que es resultado de cientos de miles de años de actividad de los procesos endógenos y exógenos.

En la zona de sierra ya no hay asentamientos, ni construcciones como sucede en la zona de pie de monte, por lo tanto lo único que cubre y a la vez actúa como agente exógeno es la capa vegetal, sin embargo no exenta de procesos de desprendimiento.

Rango (m / km ²)	Clasificación
0 – 50	Lomeríos ligeramente diseccionados
50 – 100	Lomeríos medianamente diseccionados
100 – 150	Lomeríos fuertemente diseccionados
150 – 200	Montañas ligeramente diseccionados
200 – 300	Montañas medianamente diseccionadas
> 300	Montañas fuertemente diseccionadas

Tabla 6. Clasificación de la disección vertical de la DAO.

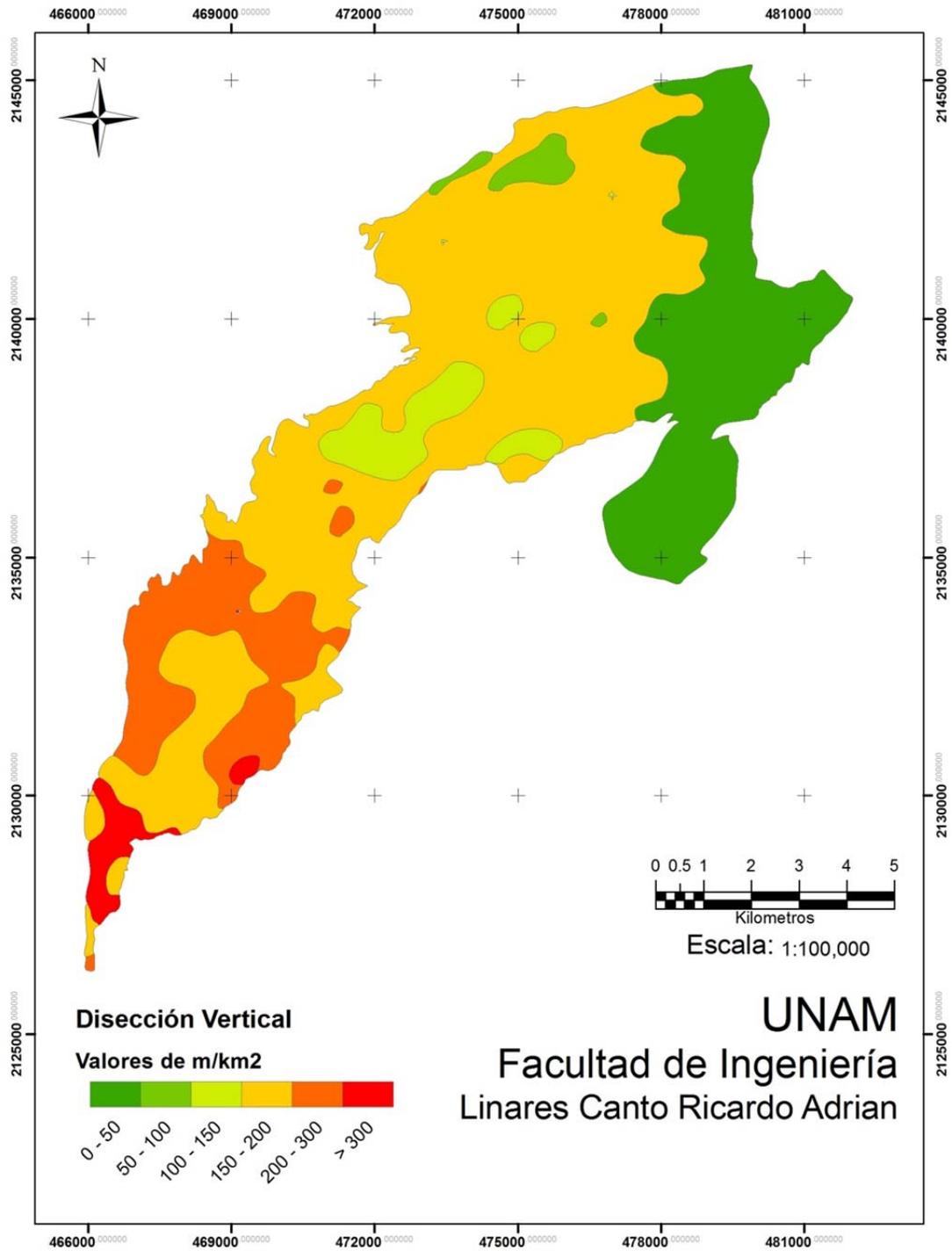


Figura 20. Mapa de Disección Vertical de la DAO.

6. Conclusiones, resultados y líneas futuras de investigación.

Con el crecimiento desmedido del DF, se han tenido que expandir el límite donde no se puede garantizar la seguridad de la población ni de la infraestructura. Y en el futuro inmediato, las áreas donde actualmente representa un peligro, estarán ocupadas con asentamientos.

Esto representa un compromiso a la DAO para ubicar los nuevos asentamientos para la población, porque el piedemonte se está saturando con establecimientos irregulares con grandes probabilidades de sufrir un accidente y que pueda haber probabilidad de que la población habite el área denominada aquí como zona de sierra, sin tener los permisos necesarios para construir y que estarían sujetos a riesgos geológicos que se puede evitar con estudios de ingeniería.

El sistema que se muestra en este trabajo es sólo una parte de lo que podría llegar a ser si se complementa con otras áreas (por ejemplo: mecánica de rocas y de suelos, datos de geología estructural, geoestadística, etc.), dando un sistema muy rico en cuanto a sistemas de información geográfica.

Haciendo la comparación de los tres mapas (altimétrico, pendientes y disección), se llega a la conclusión que los análisis sí concuerdan en que los procesos modeladores tienen una estrecha relación, ya el proceso de disección genera las pendientes (entre otros procesos) y de éste se hizo la distinción de piedemonte y sierra, ya que partiendo del NE al SW, en los mapas se va diferenciando características particulares de la zona de piedemonte y zona de sierra.

Estas características, como es el caso de la pendiente en la zona de piedemonte, parten del NE con valores muy bajos que se relacionan con los valores de disección y a su vez encaja en el mapa altimétrico.

Pasando a la porción SW de la DAO, lo que es la zona de sierra, los valores de pendiente se correlacionan en mayor parte con los valores de disección. Esto obedece a que esta zona se trabajó y clasificó por separado, es decir, dos partes, sin embargo se trabajó un mapa de pendientes de toda la DAO donde se clasificó en 9 clases. El inconveniente de este mapa es que no representaba en su totalidad las pendientes de la zona de sierra ya que rebasaba los 45° , mientras que separadas se llegó a más detalle.

Tomando en cuenta que la DAO puede presentar, por lo general tres tipos de daño para su población, como son los colapsos de túneles, los cuales ya han sido mapeados (Fuentes Menes, 2011) pero no en su totalidad; los deslaves en los barrancos y las inundaciones, es importante que se hagan trabajos que abarquen planeación estratégica, esto es, una planeación para su sustentabilidad para 50 años, por decir una cifra.

Las laderas de los barrancos, aunque algunas son estables, presentan asentamientos los cuales van desde casas de láminas hasta edificios privados ubicados en zonas de fuerte pendiente. Sin embargo se tiene que considerar que no están libres de algún proceso gravitatorio, así que este tipo de riesgo se puede identificar con trabajos como el presente y otros los cuales junto con los SIG, se puede llegar a una toma de decisión correcta para prevenir alguna catástrofe.

Se concluye que la geomorfología de la DAO es compleja, debido a que los procesos que la modelan están ligados, ya que existe una relación estrecha entre la morfología, la morfometría y la geología estructural. Las fallas de la DAO originadas a partir de procesos endógenos, como se mencionó antes, son las que controlan la red fluvial de la zona de estudio; en cuanto a la morfometría, está ligada a las fallas y se puede apreciar, por ejemplo, que la profundidad de disección se desarrolla a partir del proceso exógeno de erosión fluvial, la cual deja su huella en forma de lo que hoy en día se aprecia como lomeríos de piedemonte, los cuales tiene grados de pendiente muy variados; sin dejar a un lado la morfología, que parte de las fallas y morfometría, se clasifica la red fluvial de la DAO que es paralela o subparalela. Es así que estos tres conceptos van ligados uno con el otro.

Líneas futuras de investigación.

Este trabajo, debido a que la metodología empleada implica que el análisis sea indirecto, es decir, que no exista interacción con el campo, deberá ser continuado con estudios más a detalle con salidas hacia el área de estudio. Por lo tanto, una manera de enriquecer el sistema y hacer un análisis mucho más completo y complejo, sería interactuar con el campo y tener acceso a datos ya preexistentes.

Ya que una de las características de los SIG, es que deben estar en constante actualización y que los datos que se obtengan sean correctos, esto es para que en el futuro, si se pretende hacer análisis espacial con los datos, la interpretación y la toma de decisiones sea la correcta.

Ya que en muchos países, los estudios geomorfológicos son esenciales para la planificación urbana, México debe estar en la vanguardia sobre los estudios y planeación, tanto urbana como de conservación de áreas verdes.

7. Bibliografía.

- Aguayo Camargo, J., Martín Córdova, S., & Sánchez Díaz, F. (1989). *Evolución geológica de la Cuenca de México*. México: SMMS. Simposio sobre tópicos geológicos de la cuenca del valle de México.
- Arcila Garrido, M. (2003). *Sistemas de Información Geográfica y Medio Ambiente : Principios Básicos*. Universidad de Cadiz.
- Aronoff, S. (1989). *Geographic information systems : A management perspective*. Ottawa: WDL.
- Bernhardsen, T. (1999). *Geographic Information Systems: an introuction*. New York: John Wiley & Sons.
- Bishop, P. M., & Shroder Jr, J. (2004). *Geographic Infromation Systems and Mountain Geomorphology*. Chinchester: Springer Praxis.
- Bocco, G. y. (2009). *La cartografía de los sistemas naturales como base para la planeación territorial*. México: SEMARNAT, INE, CIGA, UNAM.
- Bocco, G., Priego, A., & Cótler, H. (2005). *Geografía física y ordenamiento territorial. Experiencias en México*. México: Gaceta Ecológica. Instituto Nacional de Ecología.
- Borrough, P. A. (1998). *Principles of Geographical Information System*. United Kingdom: Oxford University Press.
- Bryan, K. (1948). *Los suelos complejos y fósiles de la Altiplanicie de México en relación con los cambios climáticos*. México: Boletín Sociedad Geológica Mexicana T III p 1-20.
- Camargo, J. E., & Cordova, S. M. (1989). *Evolución geológica de la cuenca de México*. México: SMMS.
- CONABIO. (2010). *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible*. México, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Cordero Estrada, M. F. (1992). *El origen y evolución del relieve en la delegación Álvaro Obregón. Tesis de Licenciatura*. México: Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- De Cerna, Z., De la Fuente, M., Palacios, M., Triay, L., Mitre, L., & Mota, R. (1988). *Estructura geologica, gravimétrica, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México*. México: UNAM.
- Delgado, H., Molinero, R., Cervantes, P., Nieto Obregón, J., Lozano Santa Cruz, R., Macías González, H. L., . . . Gilberto. (1998). *Geology of Xitle volcano in southern Mexico City - a 2,000 years old monogenetic volcano in an urban area*. México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.
- Enciso de la Vega, S. (1992). *Propuesta de nomenclatura estratigráfica para la Cuenca de México*. México: UNAM.
- Fuentes Menes, A. O. (2011). *Elaboración de un Sistema de Información Geográfica para definir el peligro en las zonas minadas en la Delegación Álvaro Obregón. Tesis de Licenciatura*. México: Facultad de Ingeniería . UNAM.
- García Palomo, A., Zamorano, J. J., López Miguel, C., Galván García, A., Carlos Valerio, V., Ortega, R., & Macías, J. L. (2008). *El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces*. (Vol. 25). México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.
- García Romero, A. (1998). *Análisis integrado de paisajes en el occidente de la Cuenca de México: la vertiente oriental de la Sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo. Tesis Doctorado*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Geografía e Historia.
- García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana)*. México: Instituto de Geografía UNAM.
- García, E. (1986). *Apuntes de climatología*. México: UNAM.
- Gomez Arizmendi, A. (1998). *Análisis Geomorfológico del Volcán Popocatepetl escala 1:20000. Tesis de Licenciatura*. México: Facultad de Filosofía y Letras UNAM.
- Gonzales Alvarado, R. (2003). *Cartografía Geomorfológica del complejo volcánico Sierra de San Juan, Nayarit. Tesis de Licenciatura*. México: Facultad de Filosofía y Letras UNAM.

- Guillen Guerrero, M. Á. (1996). *Geomorfología de la vertiente occidental del volcán Iztaccihuatl. Tesis de Licenciatura*. México: Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- Guzzeti, F. (2004). *Landslide Hazard Evaluation: A review of current techniques and their application in multi-scale study*. Perugia.
- INEGI. (2010). *Censo de población y vivienda*. México.
- INEGI. (17 de Mayo de 2012). Obtenido de www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/infoescala.aspx
- Longley, P. A. (2005). *Geographic Information System and Science*. John Wiley & Sons. 2nd Edition.
- Lugo Hubp, J. (1984.). *Geomorfología del Sur de la Cuenca de México*. (Vol. 1). (I. d. Geografía, Ed.) México.: Serie Varia.
- Lugo Hubp, J. (1988). *Elementos de Gormorfología Aplicada: Métodos Cartográficos*. México: Instituto de Geografía.
- Lugo Hubp, J. (1989). *Diccionario Geomorfológico*. México: Instituto de Geografía. UNAM.
- Lugo Hubp, J. (1991.). *Elemento de geomorfología aplicada. Métodos cartográficos*. México.: UNAM. Instituto de Geografía.
- Lugo Hubp, J., & Martinez Luna, V. M. (1980.). *La disección del relieve en el sur de la cuenca de México y porciones adyacentes*. México.: Instituto de Geografía.
- Lugo Hubp, J., Cordero Estrada, M., & Zamorano Orozco, J. J. (1995). *Relieve, litología y riesgos en la zona urbana de la delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, México*. México: UNAM, Instituto de Geología.
- Luna Gonzales, L. (1997). *Los sistemas de información geográfica: una alternativa para el análisis socioespacial de los accidentes de tránsito en carretera. Propuesta metodológica. Tesis de Maestría*. México: Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- Maples Vermeersch, M. (1972). *Uso del suelo en los lomerios de la Sierr de Las Cruces, zona poniente de la Cd. de México. Tesis de Licenciatura*. México: Facultad de Filossofía y Letras. UNAM.

- Mooser, F. (1957). *Vulcanología del Cenozoico. Los ciclos del vulcanismo que formaron la Cuenca de México*. México.: XX Congreso Geológico Internacional, T II.
- Mooser, F. (1961). *Informe sobre la geología de la Cuenca de México y zonas colindantes*. México.: Secretaria de Recursos Hidráulicos. Comisión Hidrológica de la Cuenca de México.
- Mooser, F. (1963). *Historia Tectónica de la Cuenca de México*. (Vol. 15). México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Pedraza Gilzans, J. d. (1996). *Geomorfología: Principios, métodos y aplicaciones*. Alarcon: Rueda.
- Pérez Vega, A., & François Mas, J. (2009). *Evaluación de los errores de modelos digitales de elevación obtenidos por cuatro métodos de interpolación*. México: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.
- Prigeo, Á., Bocco, G., Mendoza, M., & Garrido, A. (2008). *Propuesta para generalización semiautomatizada de unidades de paisaje. Fundamentos y métodos*. México: SEMARNAT, INE, UNAM, CIGA.
- Reyes Pimentel, T. A. (2009). *Sismicidad en el poniente de la ciudad de México, resultados en la parte norte de la delegación Álvaro Obregón*. México.: Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. UNAM.
- Schlaepfer, C. J. (1968). *Hoja México Q-h(5)*. México: Instituto de geología. UNAM.
- SEDUVI. (2011). *Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Álvaro Obregon*. México.
- Tapia Varela, G., & López Blanco, J. (2001). *Mapa geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000*. México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.
- Toscana Aparicio, A. (1998). *Análisis geomorfológico detallado del volcán Ajusco y zonas adyacentes*. México: Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras.
- Vazquez Sanches, E., & Jaimes Palomera, R. (1989). *Geología de la Cuenca de México* (Vol. 28). México: Revista de la Unión Geofísica Mexicana.