



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

Facultad de Ingeniería

**Uso de Sistemas de Información Geográfica en el
proyecto Nuevas Alternativas para el drenaje
geológico-artificial para el desagüe del
valle de México**

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO GEOLOGO
PRESENTA:

Esquivel Olmos Amaya Jimena

DIRECTOR: Ing. Héctor L. Macias G.



México, D.F.

Febrero 2008



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I-036

SRITA. AMAYA JIMENA ESQUIVEL OLMOS
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Héctor Luís Macías González y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL PROYECTO NUEVAS ALTERNATIVAS PARA EL DRENAJE GEOLÓGICO-ARTIFICIAL PARA EL DESAGÜE DEL VALLE DE MÉXICO

- I ANTECEDENTES**
- II GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO**
- III SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**
- IV APLICACIÓN AL PROYECTO**
- V CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

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

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

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cd. Universitaria, D.F., a 21 de enero de 2008
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZÁLO GUERRERO ZEPEDA

RJ **RJPYS*tjh**

Dedicatoria

A mi madre y padre por ser mis guías.

A los compañeros que no están aquí: Josué Jaimes, Cristian Macías, Liliana López y Héctor Hernández.

A Itzel Baños Pineda por ser el ejemplo que me dio el valor para seguir adelante.

Agradecimientos

Gracias Maricarmen por todo tu amor, apoyo, paciencia y por la motivación que me has dado para lograr mis metas.

Gracias Jaime por tu amor, apoyo y comprensión, por compartir conmigo tus experiencias que me han ayudado a ser mejor persona.

Claudia, Paulina y Majo gracias por ser mi alegría, por su cariño y compañía.

A la Familia Esquivel Meza: Fernando Esquivel, Rebeca Meza, Fernando y René, gracias por siempre estar al tanto de mi, por sus consejos, cariño y apoyo.

Miguel gracias por ser mi compañero, por tu amor y apoyo incondicional. Che cosa? Por tuo amor, por tuo amor, todo lo daría. Eu nao sei voar sem voces a meu lado.

Gracias amigos: Berta, Claudia, Estefanía, Itzel, Karen, Morris y Viki por su confianza, apoyo y lealtad.

Agradezco al Ing. Macias y al Ing. Arellano por la oportunidad de participar en el proyecto, por su orientación, confianza y enseñanzas.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por prepararme para servir a México.

Índice

Introducción.....	I
Capítulo 1. Antecedentes.	
1. Historia e inundaciones en la Cuenca de México.....	1
2. Área de estudio.....	12
Capítulo 2. Geología de la zona de estudio.	
1. Generalidades.....	20
2. Descripción del Mapa Geológico.....	20
2.1 Geología Regional.....	20
2.2 Estratigrafía.....	25
Capítulo 3. Sistemas de Información Geográfica.	
1. Generalidades.....	28
2. Modelos de datos espaciales.....	30
3. Entrada de datos gráfico-espaciales y datos alfanuméricos.....	32
4. Sistemas de proyección y Sistemas de coordenadas geográficas.....	33
5. Interpolación en los SIG.....	37
6. ArcGis.....	39
Capítulo 4. Aplicación.	
1. Software y herramientas utilizadas.....	41
2. Recopilación de información cartográfica analógica y digital.....	41
3. Recopilación de información hidrológica.....	43
4. Entrada de datos gráficos y datos alfanuméricos.....	43
5. Análisis de la información.....	46
6. Resultados.....	50
6.1 Alternativas Propuestas.....	51
6.1.1 Sección geológica.....	53
Capítulo 5. Conclusiones.....	56
Bibliografía.....	58
Anexo cartográfico.....	63

INTRODUCCIÓN

La presente tesis se desarrolló como parte del proyecto PAPIIT IN-105706-2 “Nuevas alternativas de drenaje geológico-artificial para el desagüe del Valle de México”, del cual fui becaria. Este proyecto tiene como objetivo presentar una propuesta de drenaje artificial para la Ciudad de México con salida hacia el sur, con la finalidad de resolver el problema de las inundaciones. El proyecto contiene el planteamiento de la problemática así como su marco histórico, la geología del área de estudio, el estudio hidrológico superficial y la propuesta de tres alternativas de drenaje, cada una de ellas con características constructivas y de diseño. Se seleccionó para la Cuenca de México el nombre propio de Valle de México ya que desde la creación de Comisión Nacional de Irrigación, técnicos e ingenieros la han llamado cuenca y/o valle, además de ser utilizado actualmente por la Gerencia de Aguas del Valle de México y por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México en sus estudios. Es de importancia mencionar que este proyecto de ser llevado a cabo debe complementarse con estudios hidrológicos de detalle, exploraciones geológicas directas y estudios de ingeniería civil de mayor detalle.

Para la realización del proyecto, fue necesario desarrollar un SIG.

El objetivo de esta tesis es describir las herramientas, la información y la metodología empleada para la instrumentación del sistema de información geográfica (SIG) del proyecto; así como presentar los resultados de este uso.

Los sistemas de información geográfica son una herramienta utilizada para crear bases de datos georeferenciadas que posteriormente pueden ser analizadas y consultadas con rapidez y eficiencia.

La información recopilada durante el estudio hidrológico superficial del proyecto fue incorporada en una base de datos dentro del SIG para facilitar su acceso y análisis.

Después de realizar el estudio hidrológico superficial, la información cartográfica digital vaciada en el SIG fue analizada para proponer alternativas de drenaje viables en su eficiencia y construcción. Durante este proceso se elaboraron diversos mapas utilizando el SIG.

Además de la presente introducción y las conclusiones, esta tesis se conforma de cuatro capítulos y un anexo cartográfico.

En el capítulo uno se presenta la problemática a resolver en el proyecto y la descripción del área seleccionada para el estudio hidrológico superficial, la cual es el área a desaguar.

En el capítulo dos describe la geología del área donde se propone construir el drenaje. Esta área abarca una zona del Distrito Federal, Estado de México y del Estado de Morelos. Las unidades litoestratigráficas que se proponen en el proyecto son unidades informales que se pudieron caracterizar mediante la interpretación de fotos aéreas, características morfológicas, mapas geológicos publicados y la petrología de laminas delgadas.

El capítulo tres esta conformado por la definición de conceptos básicos requeridos para el uso de sistemas de información geográfica, así como la descripción del SIG ArcGis.

El capítulo cuatro describe las herramientas utilizadas, la información recopilada, la metodología de entrada de datos en el SIG y los resultados de su uso.

Por ultimo, en el anexo cartográfico se presentan los mapas que se obtuvieron como resultado final del uso del SIG ArcGis 9.1 en el Proyecto.

Capítulo 1

ANTECEDENTES

1. Historia e inundaciones en la Cuenca de México.

La Cuenca de México se localiza en la parte centro-oriental de la Faja Volcánica Transmexicana (**Fig. 1.1**), una secuencia volcánica del Cenozoico de 20 a 70 km de ancho que cruza la República Mexicana desde el Océano Pacífico hasta el Atlántico en dirección este-oeste. La cuenca se localiza entre los meridianos 98°11' - 99°30' y los paralelos 19°03' - 20°11' (**Fig. 1.2**). Su altitud varía de 2240 a 2390 msnm, su longitud máxima es de 70 km de norte a sur y la mínima de 20 km de este a oeste; su área aproximada es de 9600 km², integrando la totalidad del territorio del Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla. La Cuenca de México está limitada al norte por las sierras de Tezontlalpan y Pachuca, al sur con la Sierra de Chichinautzin y Ajusco, al oriente con la Sierra Nevada, Río Frío y Calpulapan y al poniente con la Sierra de las Cruces (**Fig. 1.3**).

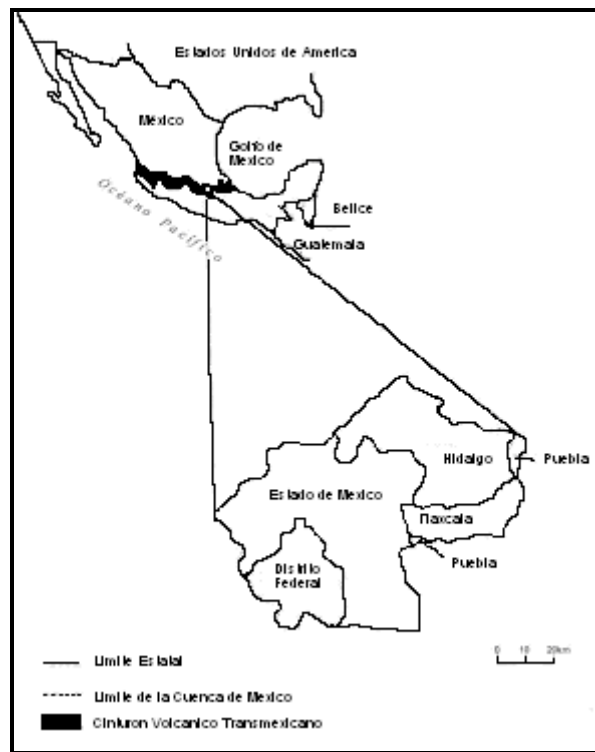


Figura 1.1. Localización de La Cuenca de México. Fuente: Gutiérrez et al. (2000).

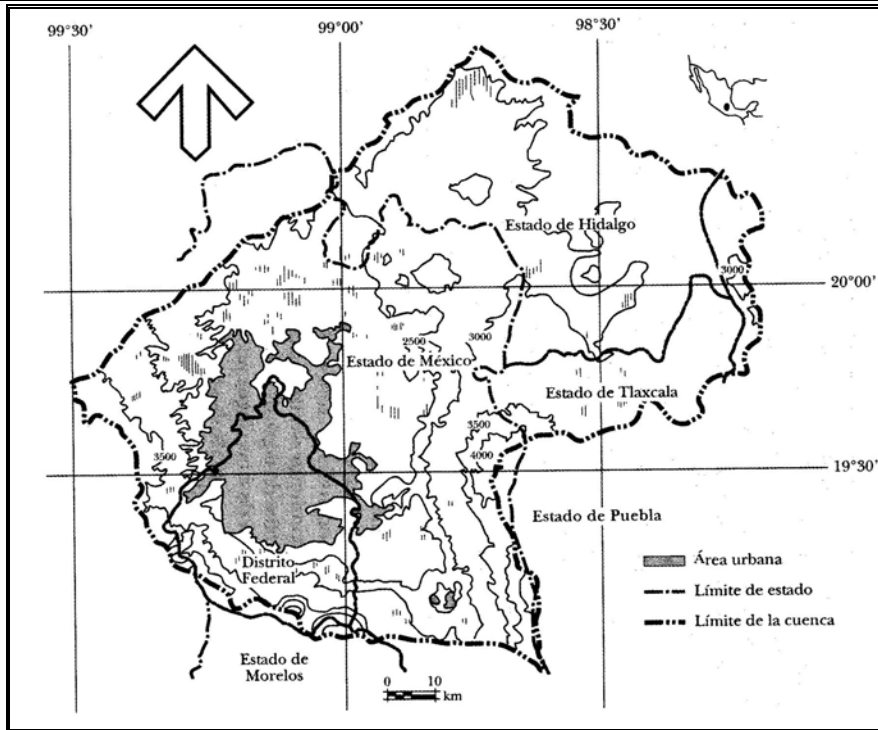


Figura 1.2. Localización de la Cuenca de México y límites estatales de México. Fuente: Ezcurra et al. (2006).

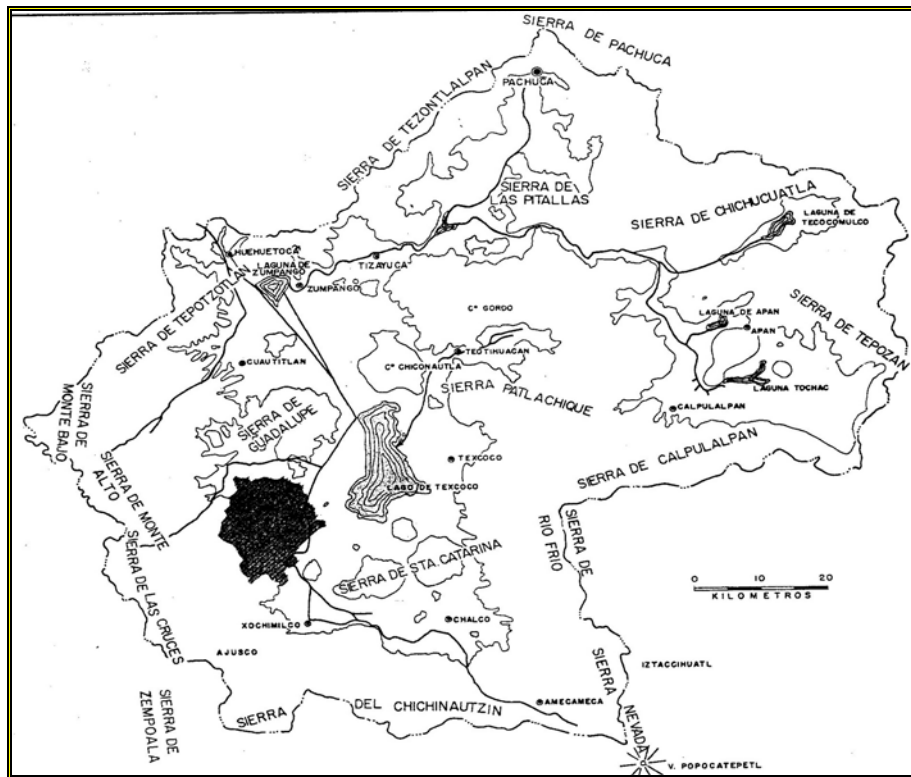


Figura 1.3. Las sierras y los lagos de la Cuenca de México. Fuente: Mooser (1975).

La cuenca es de tipo endorreico. Estaba cubierta antes de la llegada de los aztecas por un sistema de lagos que cubría aproximadamente 1500 km² y se componía de cinco lagos poco profundos, unidos de norte a sur: Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco (Aguayo et al., 1989). El lago de Texcoco era el más bajo por lo que las aguas de los demás lagos en tiempo de máxima inundación tendían a fluir a éste, donde finalmente se evaporaban en la atmósfera. Con el paso del hombre en la cuenca, estos lagos se vieron afectados (**Fig. 1.4**) y actualmente el drenaje en la cuenca es artificial.

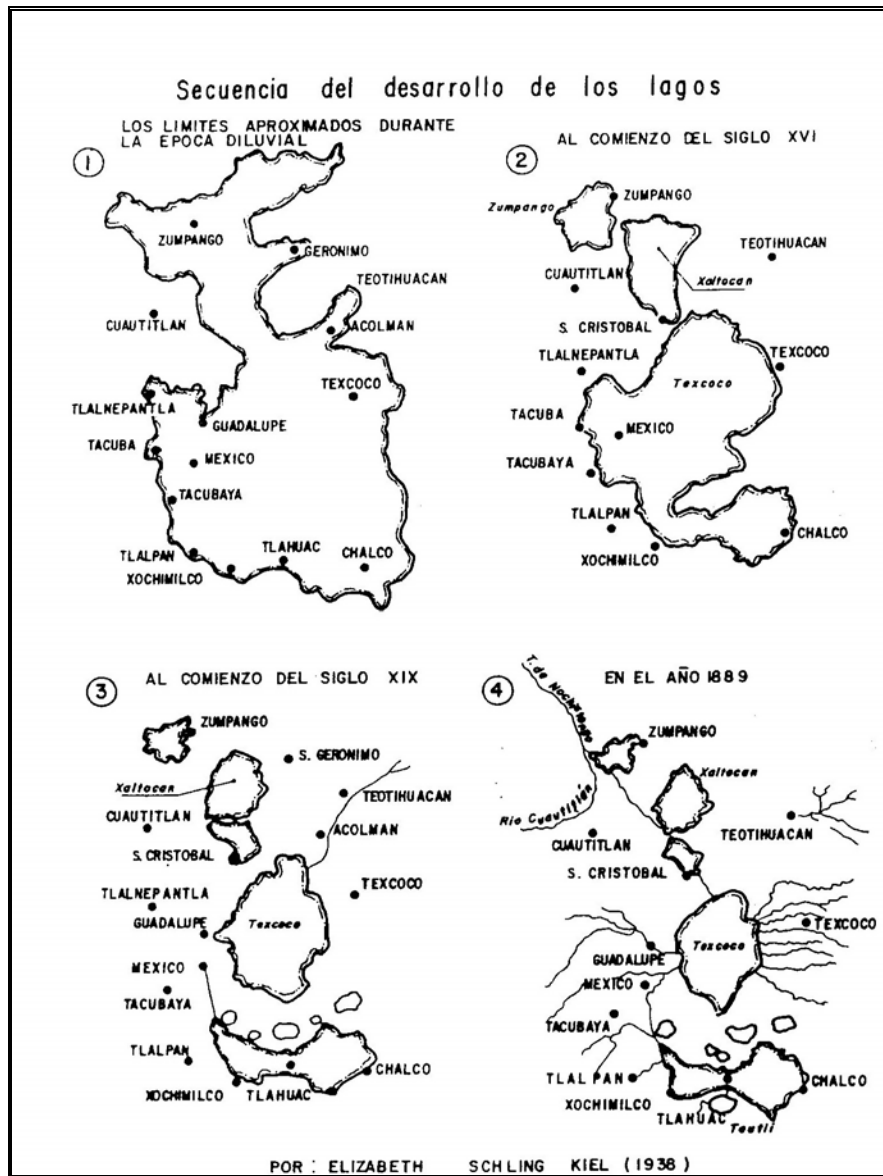


Figura.1.4. Secuencia de evolución de los lagos en los últimos siglos. Fuente: Aguayo et al. (1989).

Las inundaciones en la Cuenca de México han sido un problema que ha existido desde que esta comenzó a poblarse.

El continente americano comenzó a poblarse durante el estadio glacial Wisconsiniano, que comenzó hace unos 70,000 años durante el Pleistoceno y terminó aproximadamente hace unos 12,000 años. El paso de los humanos se dio a través del Estrecho de Bering expandiéndose rápidamente de norte a sur.

En la Cuenca de México se han encontrado restos arqueológicos en Tlapacoya aproximadamente hace 22,000 años. Los grupos sedentarios están ligados al desarrollo de la agricultura y esta comenzó a desarrollarse en la cuenca hace unos 7,000 años; estos grupos comenzaron a establecerse en áreas planas que poseían un potencial productivo y adecuada humedad, pero que al mismo tiempo se encontraban en zonas elevadas para evitar las inundaciones en las temporadas de lluvia.

Entre 1700 y 1100 a.C. comenzaron a desarrollarse los primeros grandes asentamientos en el noroeste de la cuenca y para el año 100 a.C. la población de la cuenca era de alrededor de 150,000 habitantes (**Fig. 1.5**), en su mayoría distribuidos en tres grandes asentamientos: Texcoco al noreste, Teotihuacan al norte y Cuicuilco al suroeste (Ezcurra, 2006). Esta última era una cultura floreciente de igual importancia que Teotihuacán, sin embargo la erupción del volcán Xitle aproximadamente en el año 100 d.C. generó un flujo de lava que sepultó sus tierras fértiles, su centro urbano y ceremonial, e hizo migrar hacia el norte a los sobrevivientes, acabando con su cultura. La caída de Teotihuacán fue aproximadamente en el año 700 d.C. y esta se atribuye a la explotación masiva de recursos naturales de los alrededores y a la falta de tecnología desarrollada para explotar los terrenos fértiles aunque propensos a inundaciones de las orillas de los lagos de la cuenca.

Otros pueblos se fueron asentando en la cuenca como los Chichimecas (norte), Acolhuas, Tepanecas y Otomíes hacia la margen occidental del lago (Azcapotzalco, Tlacopan y Coyohuacan), y grupos de influencia Tolteca hacia el oriente (Culhuacan, Chimalpa y Chimalhucan) (Ezcurra, 2005). Se desarrollaron nuevas técnicas como el riego

por inundación y la construcción de canales que servían como vías de comunicación y drenaje; las inundaciones se controlaron gracias a los campos de rellenos hechos con los sedimentos extraídos de los canales.

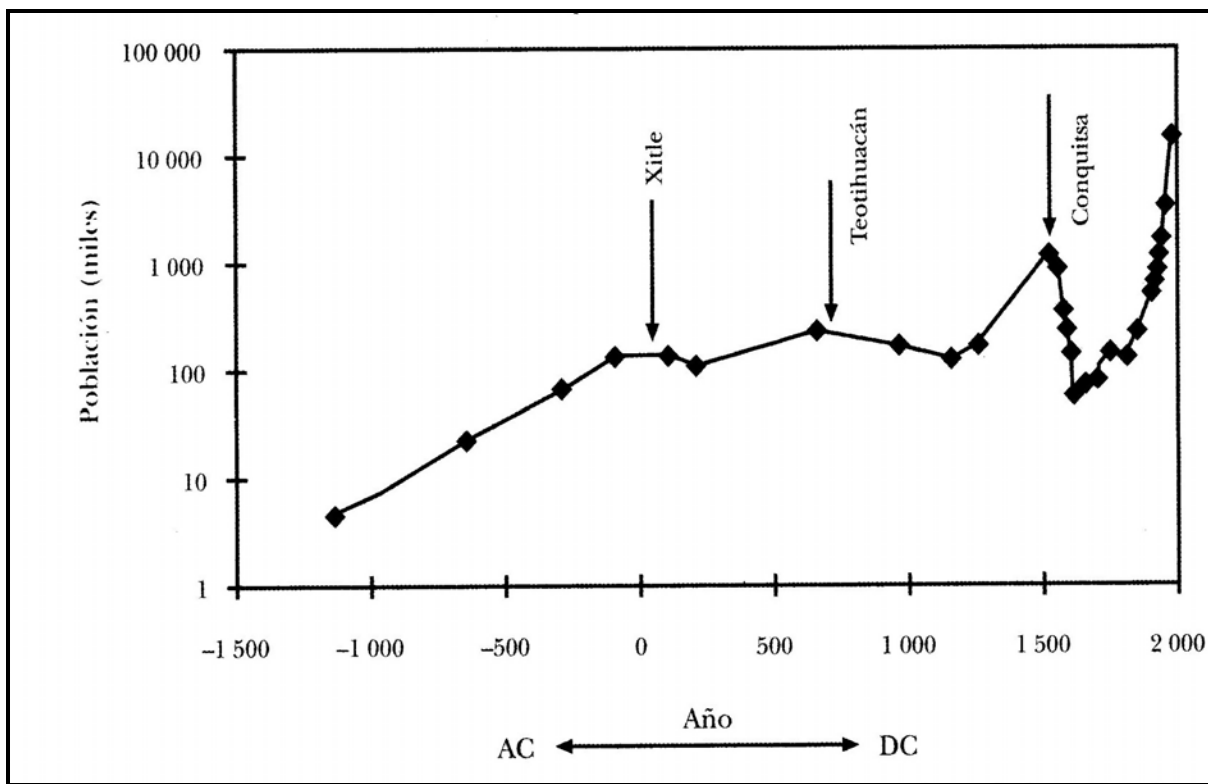


Figura 1.5 Cambio poblacional en la Cuenca de México. Fuente: Ezcurra et al. (2006).

El pueblo Azteca o Mexica en el año 1250 d.C. era un pueblo nómada que atravesaba el norte del país (Orozco, 1980). Al llegar a la Cuenca de México el primer lugar donde se establecieron fue en Chapultepec, pero hostigados por el pueblo Azcapotzalco tuvieron que continuar su peregrinación hacia el sur del lago.

Al llegar al Señorío de Culhuacan en el año de 1299 d.C. suplicaron al señor Coxcoxtli, rey de los Culhuacanos les concedería algún sitio para establecerse; el rey los envió a la región pedregosa de Tizapan al sur de la ciudad de México actual, con el propósito de que las víboras venenosas que habitaban ahí acabaran con ellos. En lugar de morir por las picaduras de las víboras, los aztecas las cazaron y las convirtieron en su alimento. En el año de 1323 d.C. los aztecas, mandados por su dios Huitzilopochtli,

acudieron de nuevo con el nuevo rey de Culhuacan, Achitometl, a pedirle les cediera a su hija para convertirla en su diosa Yaocihuatl, “La mujer guerrera”; creyendo que su hija se convertiría en la diosa viviente de los Aztecas el rey cedió. Cuando los Culhuacanos asistieron a la adoración de la nueva diosa se dieron cuenta que los Aztecas habían sacrificado a la hija del rey desollándola y usando su piel para las ceremonias religiosas. La reacción inmediata del rey fue atacar a los Aztecas, los cuales huyeron penetrando el lago (León, 1983).

En el año de 1325 llegaron al islote (**Fig. 1.6**) encontrando al águila devorando la serpiente donde se asentarían; este islote se encontraba en una zona baja e inundable. Esta zona pertenecía a los límites del territorio del señorío de Azcapotzalco, por lo que los aztecas se vieron obligados a dar tributo a este pueblo (León, 1983).

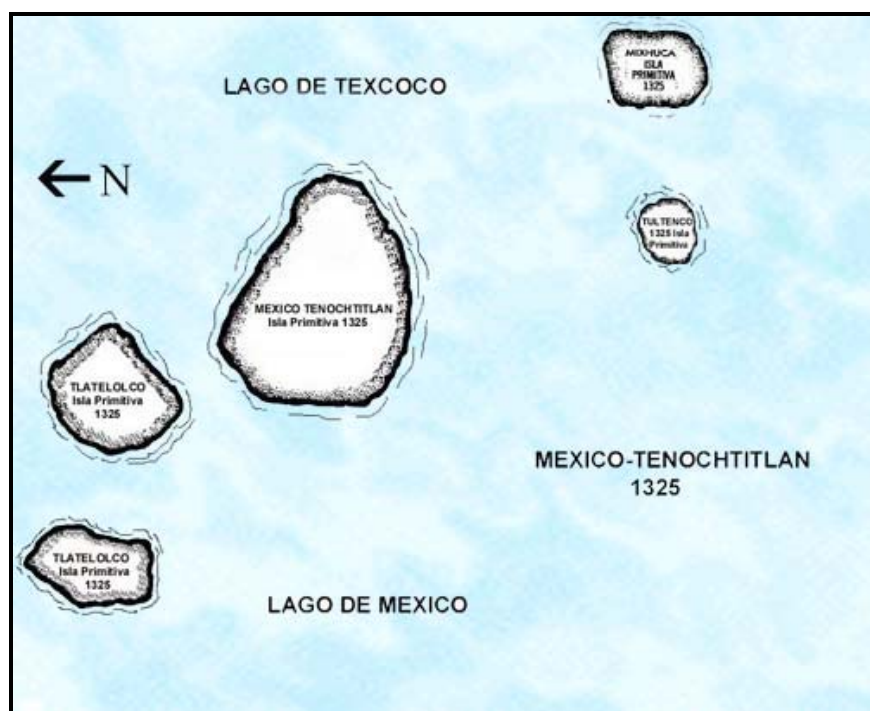


Figura 1.6. Islotes en 1325. Fuente: Aguirre (2003).

La isla de Tenochtitlan se encontraba en el centro de la cuenca. (**Fig 1.7**), con el tiempo, este pueblo guerrero busco alianzas y se hizo poderoso. Para el siglo XV la

En las reseñas de los Aztecas se encuentran registradas dos grandes inundaciones en los años 1449 y en 1500, que se clasificaron como desastres.

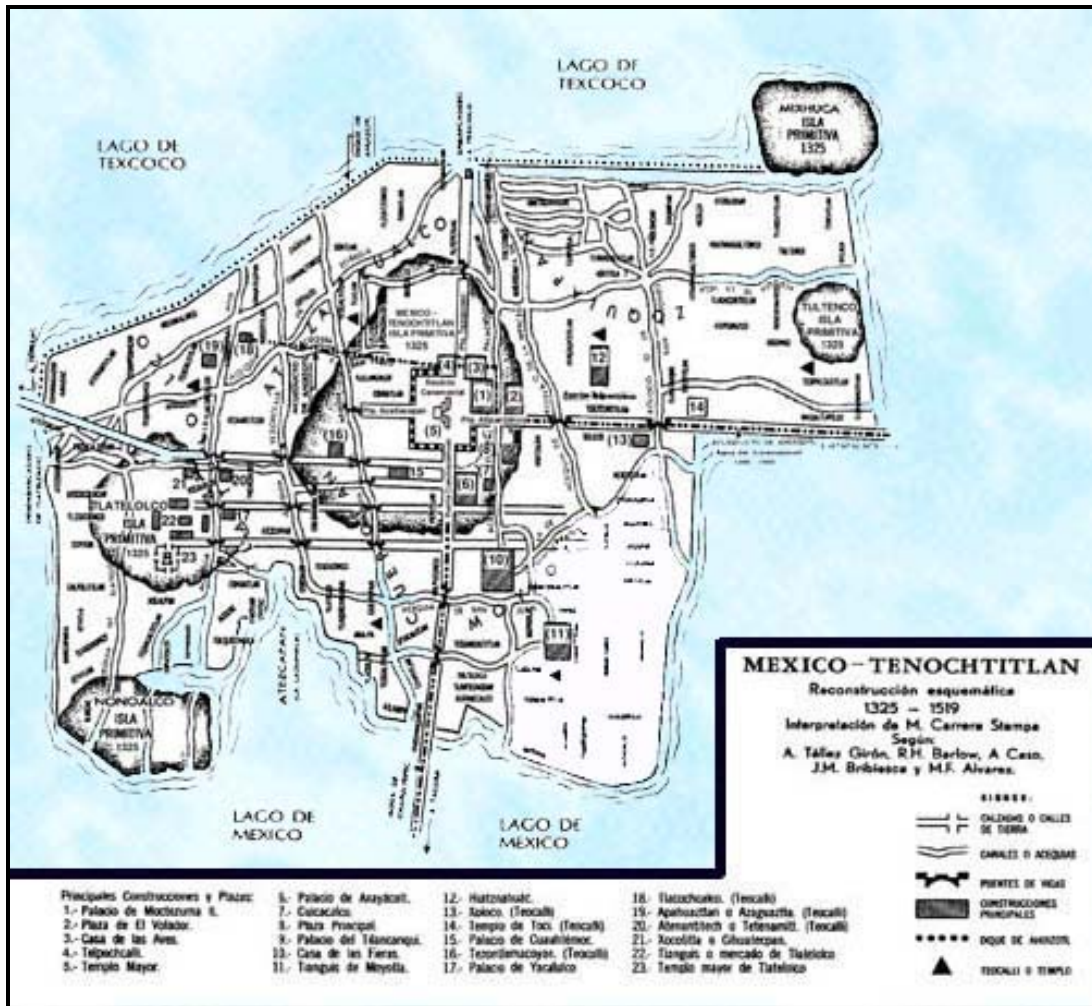


Figura 1.8. México-Tenochtitlan 1325-1519. Fuente: Aguirre (2003).

Para controlar las inundaciones, la presa de Nezahualcoyotl o Albarradón de los Indios, había sido construido en la margen este de la ciudad, para separar las aguas de Tenochtitlan del gran cuerpo de agua que formaba en esa época el lago de Texcoco.

Los españoles llegaron a la Cuenca de México en 1519, los que al conquistar a los Aztecas cambiaron totalmente la estructura de la ciudad, además de que hubo una disminución en la población de la cuenca (Fig. 1.5), causada por las matanzas, la migración

y las nuevas enfermedades que trajeron consigo los españoles. La visión de la nueva ciudad que tenían los españoles no era compatible con el paisaje lacustre de la cuenca, así que comenzaron a rellenar los canales para construir calles elevadas ocasionando que el drenaje superficial se obstruyera, creando que se acumularan grandes superficies de agua.

La primera inundación grave que ocurrió durante el periodo de La Conquista fue en el año de 1553, seguida de recurrentes inundaciones en 1580, 1604, 1607 y 1629, durando esta última, seis años siendo como consecuencia la más terrible (**Fig.1.9**) (Aguirre, 2007). Posteriormente las inundaciones ocurrieron en periodos más cortos de tiempo; durante la temporada de secas los lagos se veían cada vez más bajos. El gobierno colonial trazo el drenaje de la cuenca hacia el norte, eligiendo este rumbo por su desnivel natural, llamándolo el tajo de Nochistongo. Este drenaje contaba con 15 km de longitud, partía del lago de Zumpango hacia Tula y fue inaugurado en 1608. Este canal abrió por primera vez a la cuenca hacia el Golfo de México, a través de la cuenca del Río tula (Ezcurra, 2005).

Gracias al asolvamiento y a las continuas inundaciones, hacia fines del siglo XVI se construyeron obras más grandes como el Canal de Huehuetoca (**Fig. 1.10**), que inicialmente funcionaba como un vertedero del exceso de agua de la cuenca pero al construirse el Canal de Guadalupe en 1796 que conectó el drenaje con el lago de Texcoco, el área lacustre de la cuenca disminuyó drásticamente.

En 1796 se dio por primera vez la discusión en el gobierno colonial sobre la conveniencia de secar los lagos. José Antonio Alzate, un pionero de las ciencias naturales en México, fue el único en alzar su voz contra el proyecto, para sugerir que mejor se emprendiera la construcción de un canal regulador que controlara los niveles del lago de Texcoco y mantuviera al mismo tiempo las superficies lacustres de la cuenca (**Fig. 1.11**) (Ezcurra, 2005).

A pesar de las obras de drenaje, la navegación por los canales continuaba a fines del periodo colonial, las embarcaciones salían de Xochimilco y Chalco hasta el este del Zócalo. El Canal de la Viga fue uno de los canales que continuó activo, siendo una importante ruta

comercial para los productos agrícolas de Xochimilco; durante el siglo XIX siguieron ampliándose las obras del canal de Huehuetoca.



Figura 1.9. La terrible inundación 1629-1633. Aguirre (2007).



Figura 1.10. Canal de Huehuetoca en 1773 según Felipe y Francisco de Zuñiga. Fuente: Ezcurra (2005).

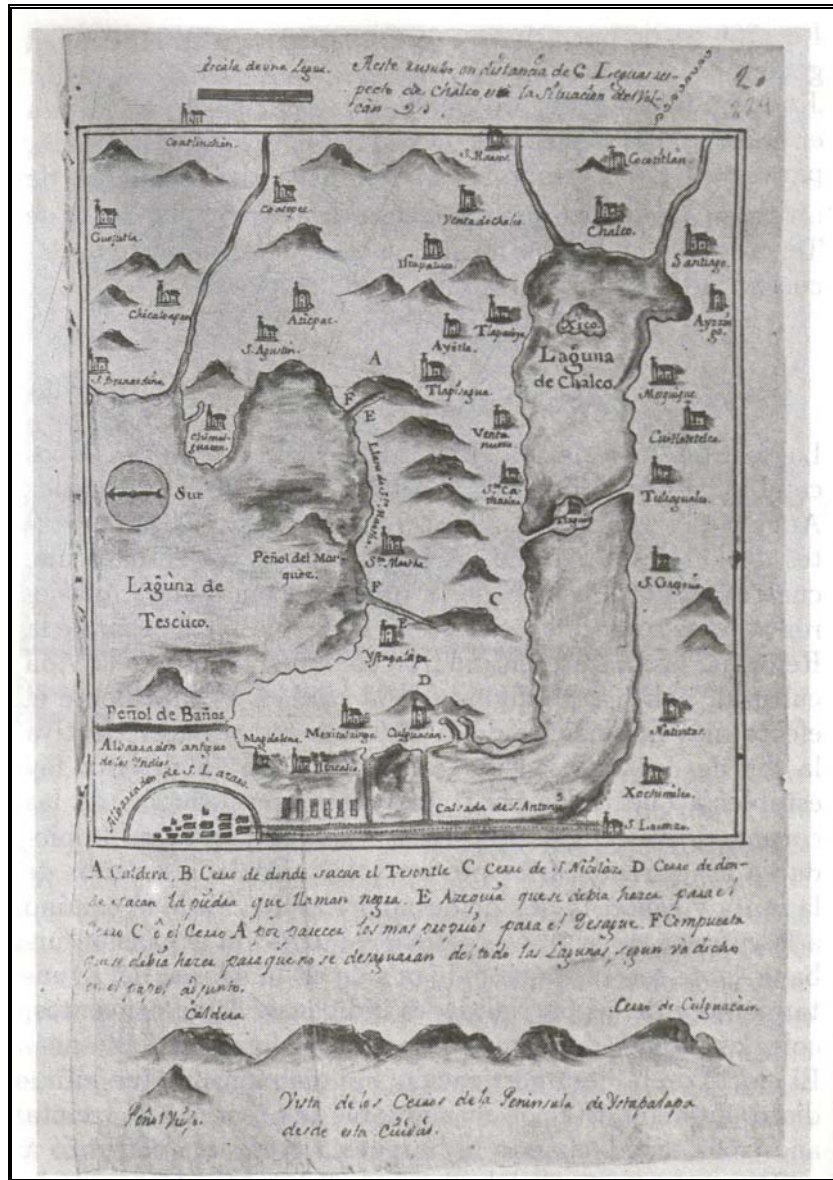


Figura 1.11. Proyecto para el desagüe del lago de Texcoco realizado por José Antonio de Alzate.

Fuente: Ezcurra (2005).

En el año de 1900 se comenzó la obra del Túnel de Tequisquiatic, que resolvió sólo por pocos años el problema de las inundaciones, pues continuaron en 1910 y 1925; En 1946 se inició la construcción del segundo Túnel de Tequisquiatic, que resolvió el problema por menos tiempo que el primero, pues las inundaciones sucedieron de nuevo en los años de 1951 y 1952 (**Fig. 1.12**) (Ezcurra et al., 2006).



Figura 1.12. Inundación del centro de la Ciudad de México, Junio de 1952. Rivera y Godínez (2002).

2. Área de estudio

El área de estudio se eligió por ser vulnerable a hundimientos e inundaciones, por su origen lacustre y también por el aumento en la densidad poblacional.

La extracción masiva de agua potable a través de pozos comenzó en 1890 y como consecuencia del bombeo de pozos hechos en la secuencia lacustre comenzó el hundimiento del suelo en la Ciudad, sumándose al ineficiente drenaje. En el año de 1936 los hundimientos en la Ciudad eran ya del orden de 5 cm al año y para la década de los cincuentas la subsidencia del subsuelo llegó a ser de 30 a 50 cm por año, siendo esto efecto del aumento en la demanda de agua (Ezcurra et al., 2006).

Aunque en la década de 1950 hubo una veda de pozos y el hundimiento de la zona centro disminuyó (**Fig1.13**), el aumento de la población en otras zonas contribuyó a que en éstas el hundimiento continuara en aumento, ocasionando que el Gran Canal, que en 1900 tenía una pendiente de 19 cm por km hacia Zumpango, en 1950 fuera de 12 cm por km, lo que causó su ineficiencia. En 1980 el declive se había invertido y fue necesario iniciar el bombeo para asegurar el desagüe (Ezcurra et al., 2006).

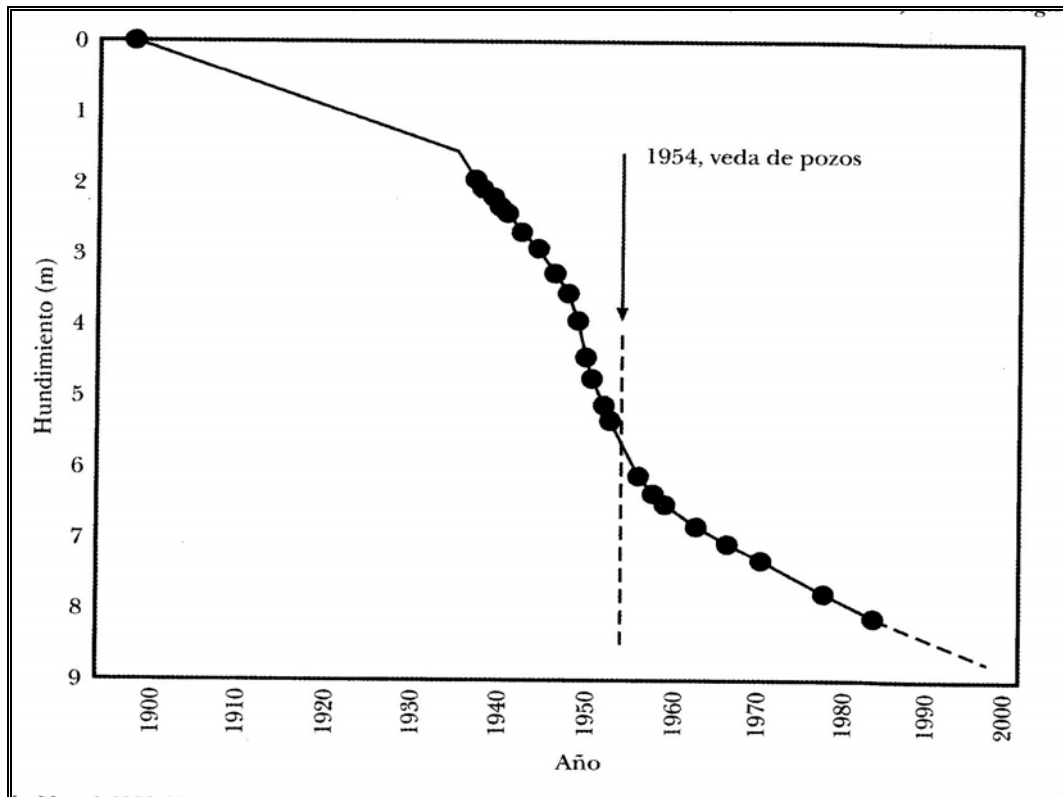


Figura 1.13. Hundimiento contra el tiempo en el centro de la Ciudad de México.Fuente: Ezcurra et al. (2006).

El drenaje profundo (**Fig. 1.14**) que se inauguró en 1975 reforzó el desagüe superficial. Este es una red de 166 km de túneles a profundidades que varían entre los 22 y los 217 m que desaloja a la región del Mezquital $65 \text{ m}^3/\text{s}$ en estiaje y más de $150 \text{ m}^3/\text{s}$ en la estación de lluvias (Ezcurra et al., 2006).

En la actualidad las inundaciones siguen siendo recurrentes a pesar de las obras realizadas, siendo causa de esto, la expansión de la mancha urbana, la sobrepoblación, la deforestación y el incesante hundimiento por bombeo.

La sobrepoblación en la Cuenca de México ha ido en aumento en los últimos 50 años, comenzando en la zona norte, con la creación de Ciudad Nezahualcoyotl inaugurada en 1957, la cual ha aumentado su población de 65,000 habitantes en 1960 a 650,000 habitantes en 1970 y para el año 2000 contó con más de 1,200,000 habitantes. El área

urbana de la cuenca sufrió una drástica expansión de 380 km² en 1960 a 1000 km² en 1980. Entre 1970 y 1975 algunas delegaciones del sur como Tlalpan y Xochimilco duplicaron su superficie urbana (Ezcurra et al., 2006).

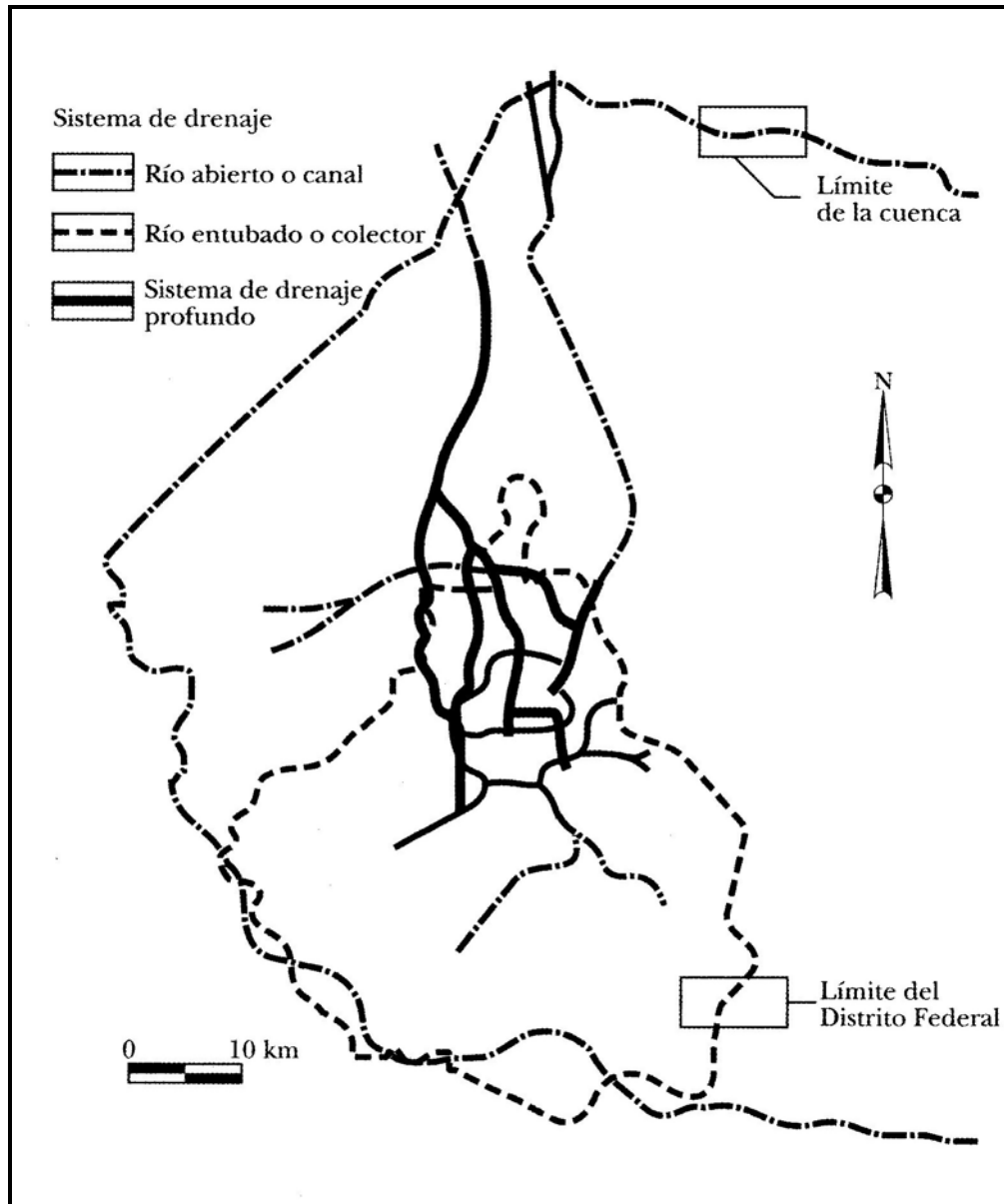


Figura. 1.14. El sistema de drenaje de la Ciudad de México. Fuente: Ezcurra et al. (2006).

Actualmente la expansión urbana esta tomando tres direcciones principales: una al norte que comenzó en 1950; otra al este y una tercera al oeste.

La expansión hacia el este incorporó tierras del antiguo lago de Chalco y consolidó los asentamientos alrededor de la Sierra de Santa Catarina. Además, se destaca la creación del municipio de Chalco Solidaridad con 287,000 habitantes en 1995, que aumentó a más de 323000 en 2000 (**Fig. 1.15**). Al mismo tiempo están surgiendo nuevas zonas urbanas hacia Amecameca, Temamatla y Cocotitlan, siguiendo la carretera a Cuautla, Mor.



Figura 1.15. Volcán Xico y la sobrepoblación en los humedales. Fuente: imágenesaereasdemexico.com (2005).

Actualmente, en la parte suroriente de la Ciudad de México, en las delegaciones Iztacalco, Iztapalapa, Tlahuac y Xochimilco, y en los municipios conurbados Chalco y Chalco Solidaridad del Estado de México, el crecimiento demográfico en las últimas cuatro décadas ha sucedido de forma exponencial (**Tabla 1.1**), siendo Iztapalapa la delegación más poblada.

Delegación o municipio	Población [hab.]	Superficie [km ²]	Densidad poblacional [hab/km ²]
Iztapalapa	1820888	117	15563
Ixtacalco	395025	23.3	16954
Tlahuac	344106	85.35	4032
Valle de Chalco	332279	46.36	7167
Chalco	257403	120.99	1097
Xochimilco	404458	118	3428

Total	3554159	511
-------	---------	-----

Tabla 1.1. Población y superficie de las delegaciones y municipios estudiados.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática. Censo de Población 2005.

En el área de estudio (**Fig. 1.16**) comprendida por las delegaciones Iztacalco, Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco, y los dos municipios del Estado de México Valle de Chalco y Chalco, que abarcan una superficie de 511 km² de suelo lacustre, viven aproximadamente 3,554,159 habitantes, según el Censo de Población 2005, cantidad equivalente a casi el 50% de la población de la Ciudad de México. Entre los efectos negativos de la expansión poblacional, resalta que extensas superficies de ámbito rural hayan sido convertidas en urbanas. Este fenómeno se disparó en los años setentas y a la fecha el suelo de las cuatro delegaciones de la Ciudad de México y el Valle de Chalco ha sido totalmente urbanizado; solo el municipio de Chalco en su porción oriental mantiene áreas rurales. Esta dinámica ha producido un desequilibrio ambiental cuyos máximos exponentes son el drenaje y el abastecimiento de agua potable.

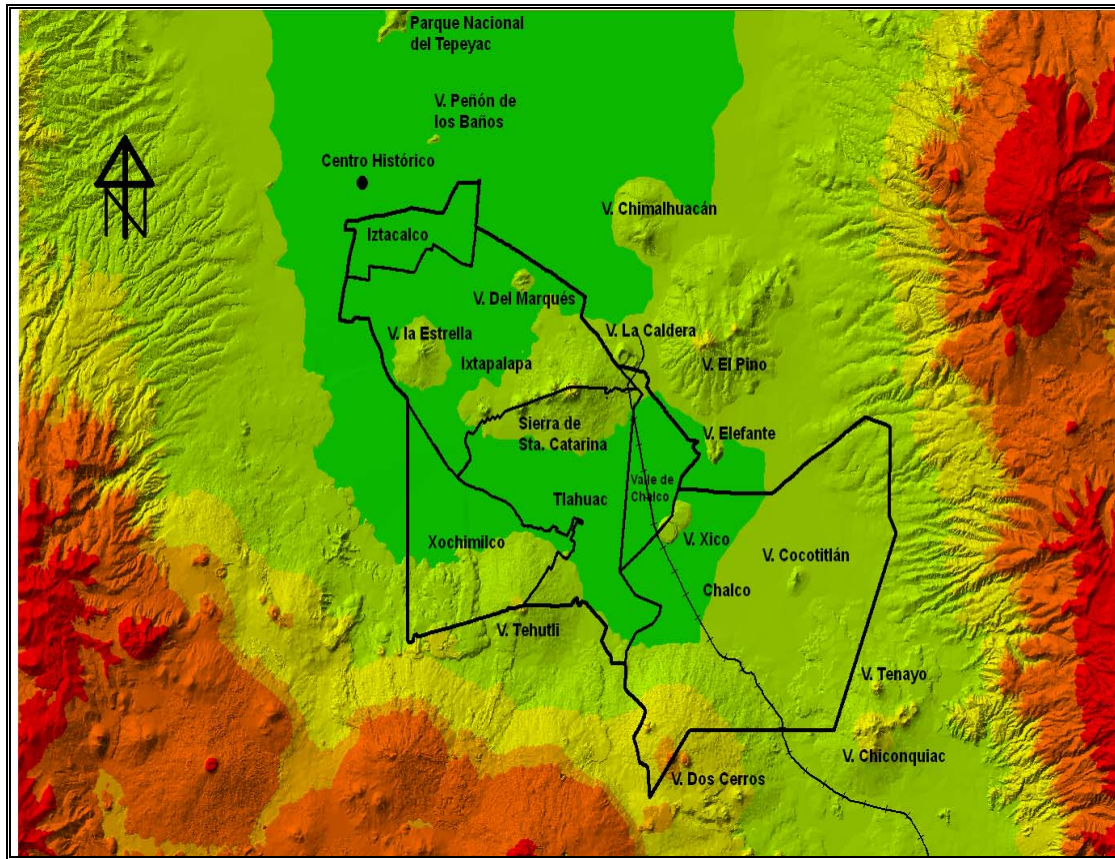


Figura 1.16. Localización del área de estudio.

Para sustentar la dotación de agua potable a la población actual, más la que acumulará la migración anual hacia estas zonas, se requerirá perforar más pozos sobre la superficie lacustre lo que acentuará la subsidencia del suelo.

En los últimos años en esta misma porción de la cuenca, las lluvias se han vuelto más intensas y el escurrimiento ha aumentado significativamente por la disminución de suelos y vegetación, lo que ha dado lugar a inundaciones en áreas cada vez más deprimidas por el bombeo y por el vertido de aguas residuales a la red de drenaje de una población que año con año va en aumento (**Tabla 1.2**).

Delegación o Municipio	No. Colonias afectadas	No. Casas afectadas	Población Afectada	Área afectada [km ²]
Iztacalco	7	40468	163911	4.04
Ixtapalapa	36	109876	490335	15.43
Tlahuac	30	22978	103779	12.42
Xochimilco	9	9570	40532	1.97
Valle de Chalco	16	26926	122062	6.17

Total	98	209818	920619	40.05
-------	----	--------	--------	-------

Tabla 1.2. Afectación por inundaciones

Fuente: DGCOH, Planes de Acciones Hidráulicas 2001-2005.

Por su ubicación geográfica, la Cuenca de México está sujeta a los fenómenos meteorológicos que provocan precipitaciones intensas de corta duración de tipo convectivo y a los eventuales ciclones cada vez más frecuentes. La manifestación de estos eventos, aunado a los asentamientos irregulares y a que en cuatro meses se concentra más de dos terceras partes de la precipitación, propicia constantes inundaciones en las zonas con grandes asentamientos humanos en áreas que antiguamente formaban parte de los lagos de Texcoco, Chalco y Xochimilco.

De acuerdo a los registros de los daños ocasionados por las inundaciones, en la Cuenca de México, en los últimos 30 años se han presentado más de 160 eventos, el más reciente que se tiene registrado es el ocurrido en el año 2000 cuando las fuertes precipitaciones provocaron que el Río de La Compañía sufriera un colapso fracturándose 15 metros del bordo de su margen izquierda, afectando una superficie de 80 ha de los municipios de Chalco, Valle de Chalco e Ixtapaluca en el Estado de México. Como consecuencia fundamental se derivaron daños muy significativos al desarrollo de la actividad económica de este sector de la Ciudad.

La infraestructura de drenaje de la Ciudad de México ha estado sujeta, junto con el suelo, a hundimientos generados por la sobreexplotación de los acuíferos lo que redundará en una pérdida de eficiencia en su capacidad de desalajo. A esto se añade, que los cauces como los del Río La Compañía, Río Amecameca y Canal de Chalco son utilizados por los lugareños como basureros que producen taponamientos y pérdida de pendiente que reducen sus capacidades de conducción y hace que aumente el peligro de inundaciones en áreas de asentamientos irregulares.

Otro factor en contra de la red de drenaje profundo, son los sismos frecuentes en la Faja Volcánica Mexicana, que en la zona lacustre de la Ciudad pueden producir rompimiento de tuberías y dislocamientos en los interceptores. A estos escenarios puede agregarse en forma simultánea una emisión de cenizas del Volcán Popocatepetl que obstruiría las redes de desalajo. En estas condiciones, la magnitud de la catástrofe se vería considerablemente aumentada. Como antecedente de estos escenarios se tiene la capa de cenizas que cubrió totalmente esta zona suroriental de la Cuenca en junio de 1998.

El desagüe artificial de la cuenca por el Sur es una prevención hidrológica impostergable, no sólo por la ocurrencia de una lluvia extraordinaria. En pocos años, a las condiciones actuales de la zona suroriental, se sumarán decenas de miles de habitantes y decenas de km² de bosques serán convertidos en zonas habitacionales. Los requerimientos de agua potable obligarán a la perforación de más pozos, la subsidencia del suelo lacustre cubrirá mayores extensiones y el volumen de agua residual por desalojar se verá también incrementado. Al mismo tiempo, los componentes de infraestructura de desagüe del norponiente continuarán deteriorándose y también en pocos años serán insuficientes para desalojar las aguas negras y de lluvia de una metrópoli mayor que la actual. Solamente una nueva salida artificial de la Cuenca por el Sur equilibraría las condiciones hidráulicas, pues la Cuenca de México se niega a olvidar su pasado lacustre.

GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

1. Generalidades.

El área elegida para el estudio hidrológico superficial (fig. 1.15), es el área a desaguar, y la propuesta de este proyecto es dirigir el desagüe a través de un túnel que llegue al Río Cuautla. Por lo tanto la descripción geológica abarca una zona del Distrito Federal, Estado de México y del Estado de Morelos, de la cual se realizó un mapa geológico (**Fig. 2.1**) tomando como base el análisis de trabajos antecedentes, mapas geológicos publicados, trabajo de campo, características morfológicas, petrología de laminas delgadas e interpretación de fotos aéreas.

El mapa geológico es de aproximadamente 50 km de largo por 15 km de ancho, dentro de las coordenadas geográficas 19° 00 a 19° 30' de latitud norte y 98°00 a 99° de longitud oeste (**Fig. 2.1**).

2. Descripción del Mapa Geológico.

2.1. Geología Regional.

La zona de estudio se encuentra en la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) que cruza transversalmente a la República Mexicana de este a oeste, (**Fig. 2.2**) a aproximadamente 19° de latitud norte; contiene una gran variedad de rocas volcánicas, cuyo origen se asocia a la subducción de las placas de Cocos y Rivera bajo la placa Norteamericana, de edad miocena a reciente. Tiene un ancho que varía de 20 a 70 km.

Gómez-Tuena et al. (2005) dividen a la FTV en tres sectores (**Fig. 2.2**) occidental, central y oriental. Los principales aparatos volcánicos son conos cineríticos, volcanes monogenéticos y estratovolcanes de dimensiones y altitudes variables que han originado

lavas y rocas piroclásticas de composición andesítica-basáltica a dacítica de tipo calcialcalino.

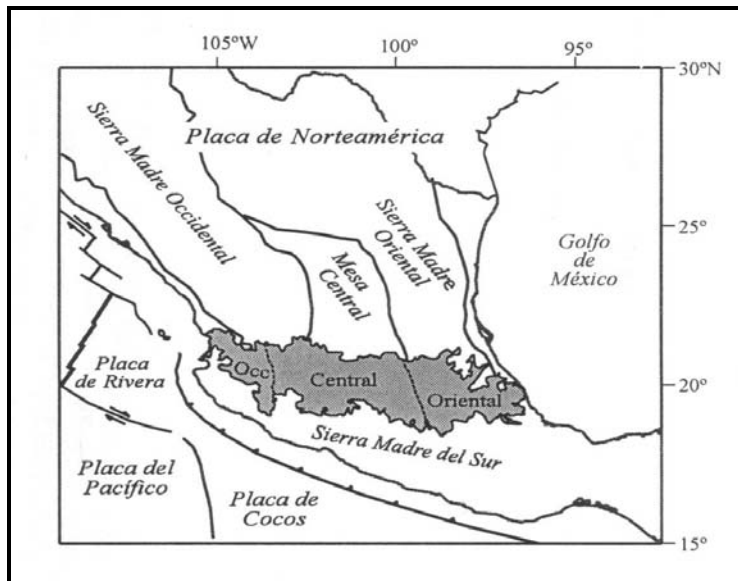


Figura 2.2. Localización de la FVT y Placas. División de la FVT. Fuente: Gómez-Tuena et al. (2005).

Un rasgo distintivo de la FVT es su posición oblicua con respecto a la Trincheras de Acapulco, esta posición se explica por los cambios de inclinación de los segmentos subducidos de las placas Rivera y Cocos; Según Pardo y Suarez (1995) la inclinación es del orden de los 50° en la región de Jalisco y de menos de 10° en la zona de Guerrero y Oaxaca.

La placa Norteamericana ha estado sujeta a periodos de extensión que han causado en la FVT sistemas de fallas normales (**Fig. 2.3**). Se ha establecido que el fallamiento comenzó en el Plioceno temprano y continuo hasta el Cuaternario (Gómez-Tuena et al., 2005).

Existe una relación espacio-temporal entre este fallamiento y el vulcanismo de la FVT. Esto se ha inferido gracias a los alineamientos de grandes estratovolcanes. Alaniz-Álvarez et al. (1998) proponen un modelo general para explicar la orientación preferencial de los volcanes monogeneticos paralelos al arco con respecto a los estratovolcanes transversales al arco; este modelo explica que las fallas paralelas tienen extensión

provocando un rápido ascenso del magma a comparación de las fallas transversales que cuentan con menor extensión favoreciendo el entrapamiento de magmas provocando el origen de los estratovolcanes.

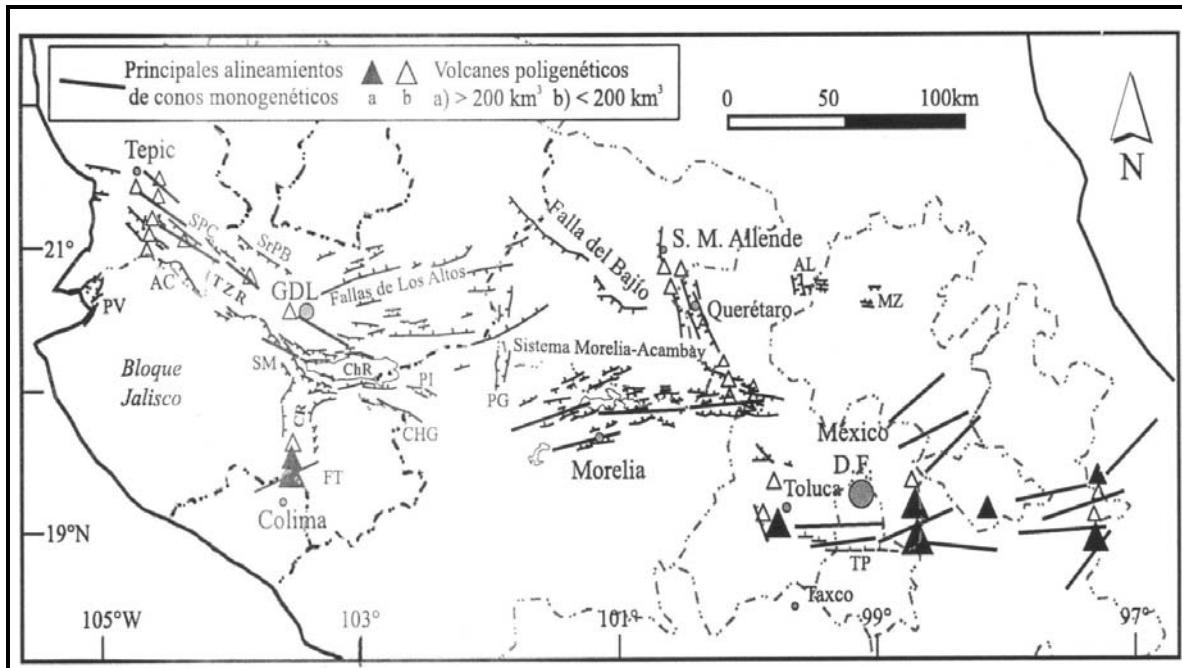


Figura 2.3. Fallas y principales alineamientos en la FTV. Fuente: Gómez-Tuena et al. (2005).

Mooser (1975) llama a este sistema zona de transcurrencias (Desplazamientos horizontales sobre fallas) y fracturamientos simples. En la figura 2.4 se muestra este sistema ubicando a la Cuenca de México en él.

El sector oriental de la FTV, que es donde se encuentra la zona de estudio, se caracteriza por estructuras volcánicas, superpuestas a una corteza sedimentaria de edad mesozoica compuesta de rocas sedimentarias jurásicas y cretácicas de las formaciones Morelos, Cuautla y Mezcala. Las rocas sedimentarias cubren a un basamento metamórfico del Paleozoico sepultado más de 3,000 m del Complejo Metamórfico de Acatlán y a rocas metamórficas del Precámbrico del Complejo Metamórfico Oaxaqueño de tipo cratónico (Gómez-Tuena et al. 2005)

El relieve de la FTV se originó gracias a la tectónica de bloques, actividad volcánica, intemperismo, erosión y depósitos lacustres.

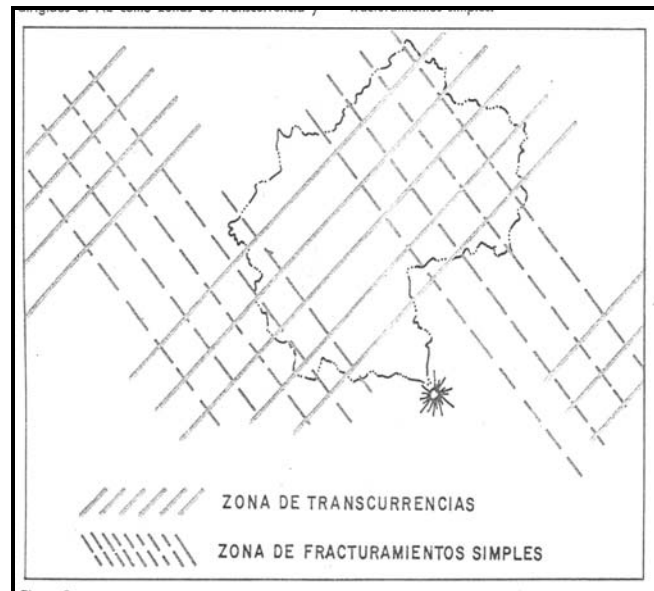


Figura 2.4. Transcurrencias y fracturamientos en la Cuenca de México. Fuente: Mooser (1975).

La actividad volcánica y los procesos geológicos asociados dieron lugar a un gran número de cuencas endorreicas entre ellas la Cuenca de México.

El primer episodio volcánico dentro de la zona de estudio es la llamada Sierra de Santa Catarina la cual está formada por andesita y tobas andesíticas, esta se considera contemporánea a la formación Chichinautzin, la cual limita la cuenca de México de la cuenca del Río Balsas, esta también está formada por andesitas principalmente de grano fino y medio con fenocristales de olivino y piroxenos en matriz vítrea y microcristalina. En la zona noroeste se localiza el volcán El pino el cual le da el nombre a la formación a la que pertenece. Esta formación se considera de origen estromboliano, gracias a las cenizas cristalinas y vítreas y a los lapillis líticos que en ella se encuentran; esta formación principalmente es andesítica (Lugo et al. 1994).

En las visitas de campo realizadas como parte del proyecto se estudiaron afloramientos de la porción sur del área de estudio, en donde se observó que en las

proximidades de Yecapixtla, Morelos, se tienen estructuras muy jóvenes, formadas por cenizas volcánicas, derrames de lava, conglomerados y lahares que constituyen lomeríos cortados por barrancos muy profundos, labrados por las corrientes fluviales que bajan y de la Sierra de Chichinautzin hacia el Río Cuautla en la Cuenca del Río Balsas; en las barrancas las corrientes fluviales son intermitentes, sin embargo en temporada de lluvias llevan un gran caudal y una carga importante de sedimentos. También dentro del Estado de Morelos, se observaron afloramientos de derrames y cenizas de composición de basalto-andesita, lahares y conglomerados; estos últimos, se forman de clastos subredondeados de basalto-andesita de diferentes tamaños, llegando a tener diámetros de 50 cm, presentan mala clasificación y baja compactación.

También dentro de la porción sur se observaron rocas de composición andesítica-basáltica que se caracterizan por derrames de lava y rocas piroclásticas, que frecuentemente se encuentran en secuencias intercaladas donde cada evento acumuló espesores diferentes de cenizas o de lavas. En las zonas donde se encuentran los conos cineríticos, se tienen únicamente cenizas y lapilli que forman capas inclinadas de fuerte pendiente, como ocurre en las proximidades de Juchitepec y Cuijingo, en el Estado de México, donde por ejemplo están los volcanes Amoloc y Placuayol.

Los rasgos morfológicos más prominentes, son grandes estratovolcanes con gran elevación y fuertes pendientes, como el Popocatépetl, Iztaccíhuatl. Las estructuras más pequeñas como el volcán Xico, La Caldera, y Tenayo, son conos cineríticos. Otros rasgos morfológicos comunes que se presentan en este sector, corresponden con derrames de lava de composición basáltica-andesítica que se distinguen por presentar una suave pendiente.

Al nororiente de la zona de estudio se encuentra la Formación El Pino, a la cual pertenecen el volcán Guadalupe, los cerros La Estrella, El Pino, Chimalhuacán, Chiconautla, Gordo y otros aislados dentro de la Cuenca de México.

2.3 Estratigrafía.

El mapa geológico abarca básicamente dos cuencas; en el sector norte esta ubicada la zona suroriente de la cuenca de México y en el sector sur la cuenca del Río Balsas.

Las unidades litoestratigráficas son unidades informales que se pudieron caracterizar mediante interpretación de fotos aéreas, características morfológicas, mapas geológicos publicados y la petrología de láminas delgadas, con lo cual se definieron las relaciones estratigráficas y sus edades relativas.

En la zona de estudio afloran ocho unidades litoestratigráficas, de las cuales una de ellas es una secuencia lacustre-volcánica (Q_{La}) y las siete unidades restantes son volcánicas formadas de derrames de lava, rocas piroclásticas, lahares y conglomerados.

Estas unidades descansan discordantemente sobre una secuencia del plioceno (T_{PATA}) que a su vez cubre a rocas de edad Mioceno Medio-Tardío (T_{MTA}).

Las diez unidades fueron agrupadas basándose en sus características litológicas, sus estructuras y en las relaciones estratigráficas de la siguiente manera:

Q_{La}	Cuaternario lacustre
Q_{AB}	Cuaternario Andesita-Basalto
Q_{CgTA}	Cuaternario Conglomerado-Toba Andesítica
Q_{TA}	Cuaternario Toba Andesítica
Q_{ATA}	Cuaternario Andesita-Toba Andesítica
Q_{CgLh}	Cuaternario Conglomerado-Lahar
Q_{TAB}	Cuaternario Toba Andesítica-Basalto
Q_{TAA}	Cuaternario Toba Andesítica -Andesita
T_{PATA}	Plioceno Toba Andesítica-Andesita
T_{MTA}	Mioceno Toba Andesítica -Andesita

La unidad más antigua corresponde a la secuencia volcánica del Mioceno Medio-Tardío (T_{MTA}), con espesores mayores a 500 m, se compone de tobas, brechas volcánicas y derrames de lava de composición andesítica, que en conjunto representan el inicio de la actividad magmática de la Faja Volcánica Transmexicana.

Sobre la unidad del Mioceno Medio-Tardío, se tiene un conjunto de rocas extrusivas de más de 400 m de espesor de edad Plioceno (T_{PATA}) que representan un segundo período de magmatismo de la Faja Volcánica Transmexicana. Su composición varía de andesítica a andesita basáltica y se caracteriza por rocas piroclásticas (cenizas y tobas vítreas), derrames de lava y brechas de flujo.

La Formación Chichinautzin está compuesta por las siguientes siete unidades: Cuaternario Toba Andesítica-Andesita (Q_{TAA}), Cuaternario Toba Andesítica-Basalto (Q_{TAB}), Cuaternario Conglomerado-Lahar (Q_{CgLh}), Cuaternario Andesita-Toba Andesítica (Q_{ATA}), Cuaternario Toba Andesítica (Q_{TA}), Cuaternario Conglomerado-Toba Andesítica (Q_{CgTA}) y Cuaternario Andesita-Basalto (Q_{AB}). Esta unidad estratigráfica comprende derrames de lava y material volcánico asociado de composición andesítica, andesítica-basáltica y basáltica, incluyendo piroclastos y materiales clásticos depositados en agua. Los derrames de esta unidad son en general extensos, vesiculares, masivos o lajeados y junto con las cenizas son los productos más abundantes de esta unidad, originada principalmente por volcanismo monogenético. El espesor de la unidad en el área del túnel es del orden de 300 m, aunque se han reportado espesores máximos de 1800 m. Esta unidad subyace a la secuencia lacustre.

Culminando la secuencia estratigráfica se tiene a la secuencia lacustre (Q_{La}) que aflora en la Cuenca de México, en la parte Norte de la zona de estudio. En esta unidad se agrupan los sedimentos clásticos conformados por estratos de arena, grava, limo y productos piroclásticos relacionados a la actividad volcánica del Estratovolcán Popocatepetl y de la Sierra de Chichinautzin; también se tiene la presencia de algunos horizontes aislados de suelos, evaporitas y tobas consolidadas, que permiten interpretar la

existencia de un clima húmedo con períodos de sequías. Estos depósitos constituyen una gran altiplanicie lacustre, extendida una altitud promedio de 2200 m, desde Zumpango, Texcoco y Xochimilco. Los espesores de esta unidad varían de 30 a 300 m como ocurre al suroeste del Volcán Xico, sin embargo esos espesores disminuyen en las proximidades donde afloran rocas volcánicas por acuñamiento. El origen de los depósitos lacustres está estrechamente ligado a la obstrucción natural del desagüe de la Cuenca de México causado por la intensa actividad ígnea que originó la Sierra de Chichinautzin. La Cuenca de México posee tres sectores de alto riesgo sísmico y uno de ellos llamado Chalco-Xochimilco se encuentra dentro de la zona de estudio y su espesor de sedimentos lacustres es de 500 m aproximadamente los cuales causan los hundimientos referidos en el capítulo uno. También es de importancia mencionar que esta zona lacustre es la más vulnerable a inundaciones.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

1. Generalidades.

Los sistemas de información geográfica son un conjunto de hardware, software, datos espaciales y un usuario capacitado, que tienen como finalidad el almacenar, buscar, transformar y desplegar datos espaciales del mundo real para alcanzar determinados objetivos.

El primer SIG que se desarrolló fue el sistema de información geográfica canadiense (CGIS) en el año de 1966. A partir de este año diversas instituciones de diversos países comenzaron a considerar el SIG como una importante herramienta para el análisis de la información geográfica. En la evolución de los SIG se distinguen los siguientes cuatro periodos (Moreno et al. 1994).

El primer periodo se extiende de principios de la década de los sesenta hasta 1975, en este periodo la principal aportación fue la digitalización de la técnica de superposición manual de mapas propuesta por Mc Harg, lo que después se convirtió en la base actual del modelado espacial en los SIG.

El segundo periodo cronológico, que abarca desde 1975 hasta principios de los ochenta, es una fase de regularización, experimentación y práctica no orientada aún al análisis, sino a la cartografía automatizada con la aplicación de topología.

El tercer periodo abarca la década de los ochenta, este se define como una etapa de comercialización, pues en ella aparecen empresas dedicadas a la generación de SIG tales como ESRI, Intergraph, Siemens o Erdas, así mismo diversas universidades desarrollan sus propios paquetes como Odyssey de Harvard, MAP de la Universidad de Yale e IDRISI de la Universidad de Clark.

La cuarta etapa esta dominada por los usuarios donde estos demandan más capacidades en los SIG y esto genera una mayor competencia y un acelerado desarrollo de esta tecnología.

Las funciones que tiene un SIG pueden clasificarse en cuatro conjuntos fundamentales, entrada de información, gestión de datos, transformación-análisis de datos y salida de datos.

La característica principal de los SIG es su modelado a través de capas temáticas (Fig. 3.1), estas capas son un conjunto de elementos geográficos lógicamente relacionados con sus atributos temáticos, estas capas se pueden superponer unas a otras.

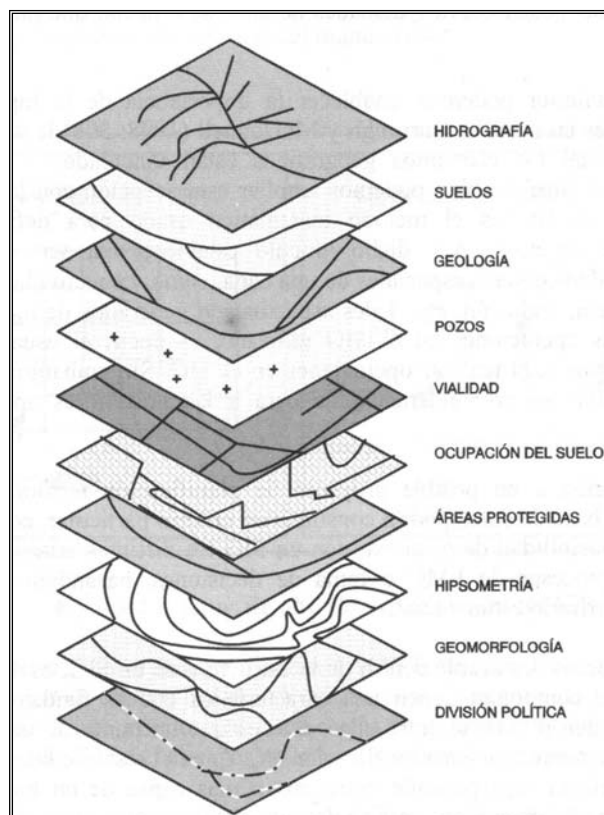


Figura 3.1. Capas Temáticas. Fuente: Moreno et al. (2006).

Las capas deben poseer un modelo de datos espaciales específico para su análisis.

2. Modelos de datos espaciales

Un modelo de datos espaciales es una representación de la realidad que debe poseer necesariamente un sistema de referenciación.

- Modelo Vectorial

En este modelo los datos son representados por puntos, líneas y polígonos (**Fig. 3.2**), estos elementos vectoriales se convierten en objetos cuando su representación se asocia a entidades reales: un punto puede ser la representación de pozo, una línea el cauce de un río y un polígono puede representar un límite municipal. A estas entidades reales llamadas objetos se les puede asociar una serie de atributos como el nombre del pozo, la longitud del caudal, o la cantidad de personas que viven dentro del municipio, en bases de datos que se pueden incluir en el SIG. Este modelo puede existir en tres tipos de formatos: coberturas (coverages), archivo de formas (shapefile), bases de geodatos (geodatabase) y ficheros CAD (Computer Aided Design).

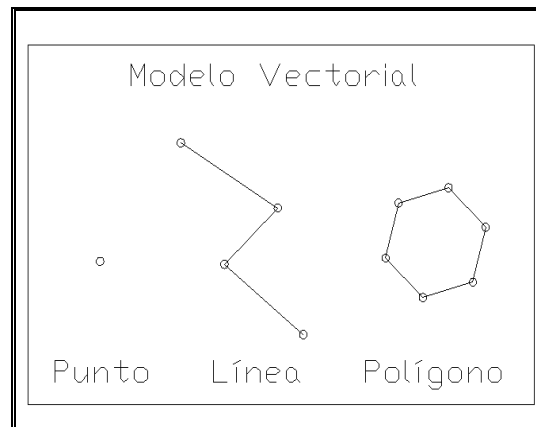


Figura 3.2. Representación del Modelo Vectorial.

- Modelo de red de triángulos irregulares (TIN).

En el modelo TIN (triangulated irregular network) las entidades reales tridimensionales son representadas como una red de triángulos irregulares unidos entre si

por puntos con valores X, Y y Z (**Fig. 3.3**). Este modelo resulta una forma eficiente de almacenar y analizar superficies. Cuando se requiere de una mayor precisión se puede acumular una mayor cantidad de datos (triángulos) en zonas donde la superficie es variada.

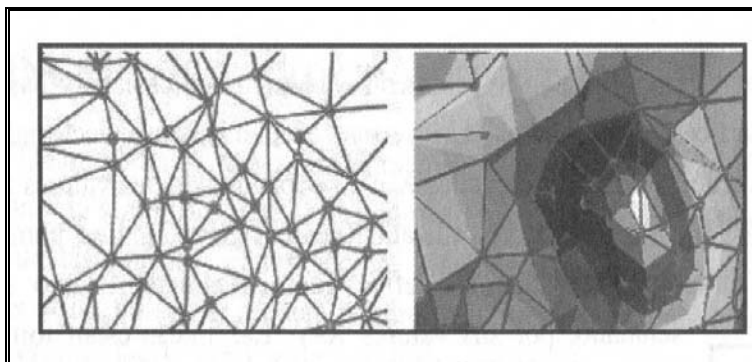


Figura 3.3. Representación del Modelo TIN. Fuente: Moreno et al. (2006).

- Modelo Raster

Este modelo también llamado GRID representa la realidad mediante una red de celdas cuadradas llamadas píxeles de idéntico tamaño que el usuario puede elegir (**Fig. 3.4**).

Los píxeles pueden contener rasgos cuantitativos y cualitativos. Este modelo se ocupa para representar fenómenos o variables continuas como la topografía. La elección del tamaño del pixel es un factor muy importante al querer analizar estos datos, se debe tener en cuenta que de esto dependerá la resolución, la velocidad de proceso de datos y el tamaño del archivo.

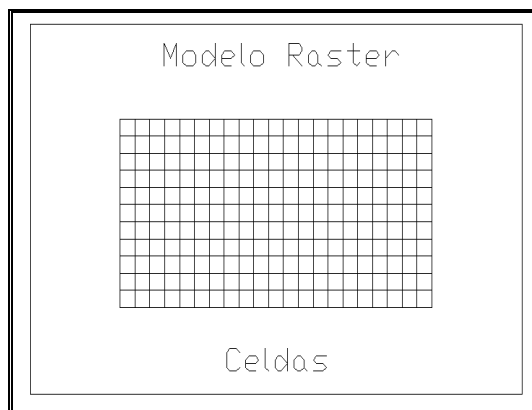


Figura 3.4. Representación del Modelo Vectorial

-
- Ventajas y desventajas del modelo Vectorial y Raster

La decisión del modelo a utilizar debe basarse en los objetivos del proyecto y los recursos que se disponen para lograrlos.

El modelo vectorial tiene una estructura compacta y por lo tanto es más veloz el proceso, la aplicación de la topología es mas eficiente y al imprimir un mapa convencional (lineal) la resolución es mayor. Sus desventajas son que la estructura de los datos es más compleja que la de un raster, los programas de análisis y tratamiento son más complejos y no es un modelo adecuado para el análisis de imágenes digitales.

El modelo raster tiene una estructura de datos simple, la captura resulta mas rápida, los programas de análisis y tratamiento son simples. Sus desventajas son que tienen un gran volumen de datos, la topología resulta ineficiente y la calidad de los mapas depende de la resolución.

3. Entrada de datos gráficos-espaciales y alfanuméricos.

Las altitudes o datos gráfico-espaciales se pueden obtener bajo métodos directos e indirectos.

Los métodos directos son aquellos en los que la información se obtiene directamente en campo: altimetría, levantamiento topográfico y uso de GPS.

Los métodos indirectos son una medida estimada a partir de documentos previos: Imágenes fotográficas convencionales o satelitales (fotogrametría) y digitalización de mapas topográficos de forma automática por medio de escáner y vectorización o de forma manual mediante una tableta digitalizadora. La forma automática nos da como resultado un modelo raster y la forma manual nos da como resultado un modelo vectorial.

Después de tener una base topográfica la información incluida en ella debe ser analizada antes capturarla en una base de datos, para poder así definir las relaciones existentes entre los elementos. Estos elementos se clasifican en: entidades (objetos reales, casas, pozos, etc.), atributos (características de cada entidad) y relaciones (mecanismos que relacionan entidades como la proximidad) (Fig. 3.5).

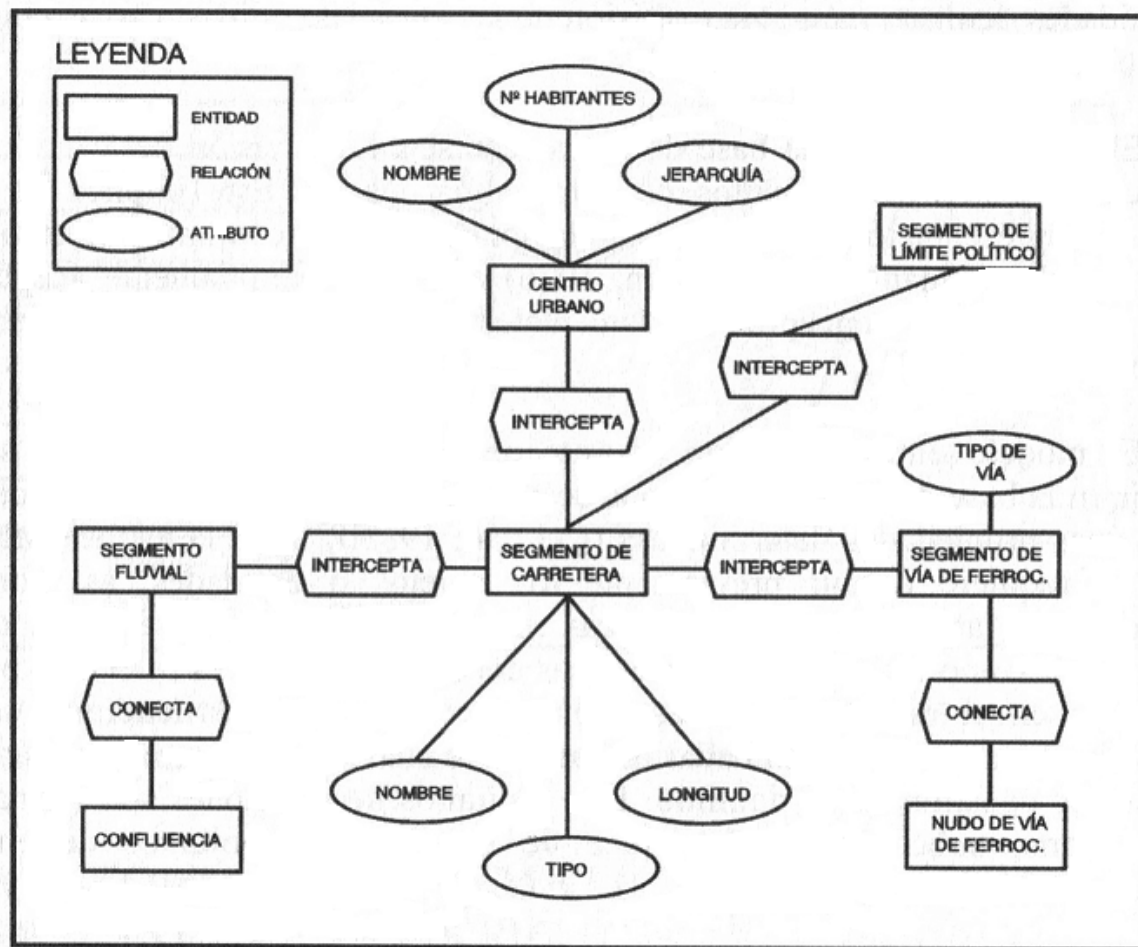


Figura 3.5. Entidad, relación y atributo. Fuente: Gómez, Barredo (2005).

4. Sistemas de proyección y Sistemas de coordenadas geográficas.

La Tierra tiene una forma particular semejante a la de una esfera; se ha creado una forma llamada geoide que está definida como la extensión del nivel medio de los océanos con base en el valor de la gravedad inclusive bajo las masas continentales (Silva et al. 2001). Para poder obtener proyecciones a diferentes escalas con mayor precisión se han

creado elipsoides que tratan de adaptar la curvatura de esta figura con una superficie terrestre específica, a los puntos donde el elipsoide y el geoide coinciden se les llama datum (Fig. 3.6).

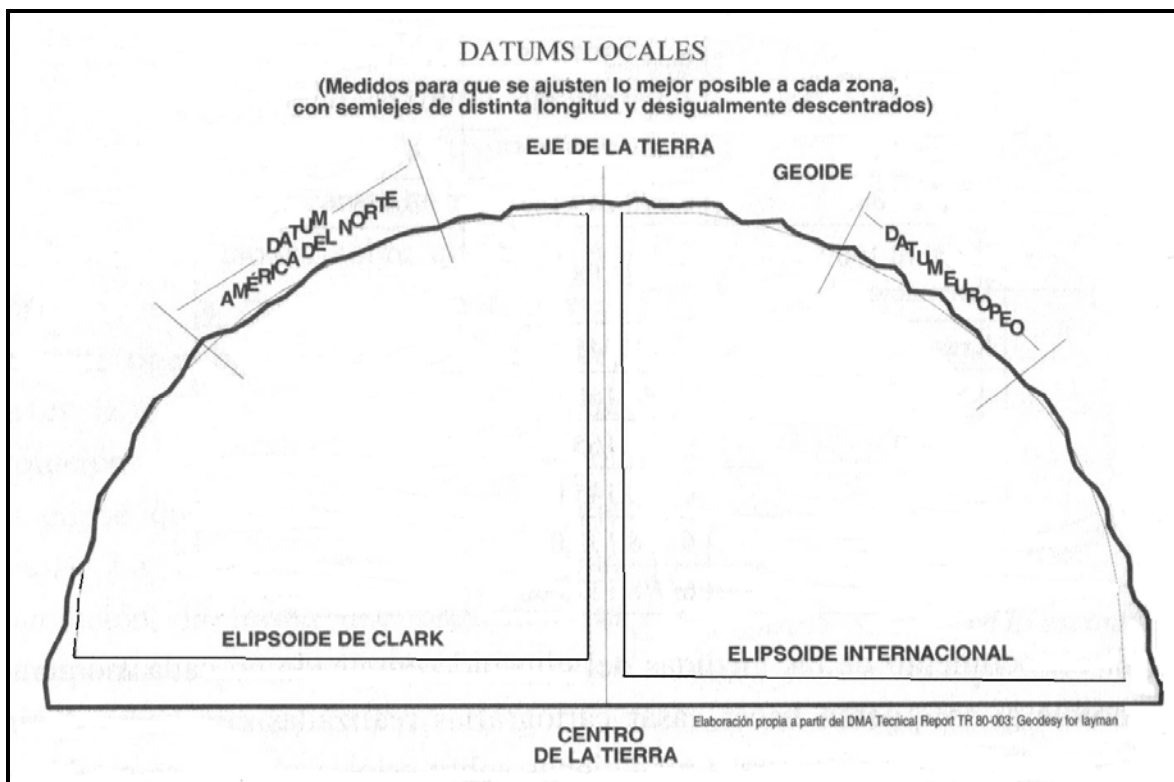


Figura 3.6. Datum. Fuente: Moreno et al. (2006).

Un sistema de proyección es una representación analítica entre los puntos de la superficie de referencia y los homólogos del plano (Silva et al. 2001). Estos sistemas ayudan a tener la menor cantidad de deformaciones en los mapas, más no a evitarlas gracias a la forma de la tierra. Las proyecciones más comunes son la cilíndrica, azimutal y cónica, teniendo cada una de ellas proyecciones secantes o tangentes a la tierra llamadas, normal, transversa y horizontal (Fig. 3.7).

La elección de la proyección depende de la posición y extensión del área a cartografiar. En México se utiliza la Proyección Cónica de Lambert en mapas de escalas iguales o menores a 1:1 000 000 y cuando la cartografía es regional o a detalle se ocupa la Proyección Transversa de Mercator (Silva et al. 2001).

La Proyección Transversa de Mercator es una proyección cilíndrica secante cuyo eje se encuentra contenido en el plano del ecuador. En esta proyección el esferoide varia según la zona a proyectar, su longitud de origen es el meridiano central de cada zona (perpendicular al ecuador) se divide cada 6° a partir del antimeridiano de Greenwich y a estas zonas se les llama husos son numerados en sentido antihorario siendo 60 en totalidad, su latitud de origen es el Ecuador dividiéndose cada 8° reconociéndose con letras del abecedario y su unidad es el metro (Silva et al. 2001).

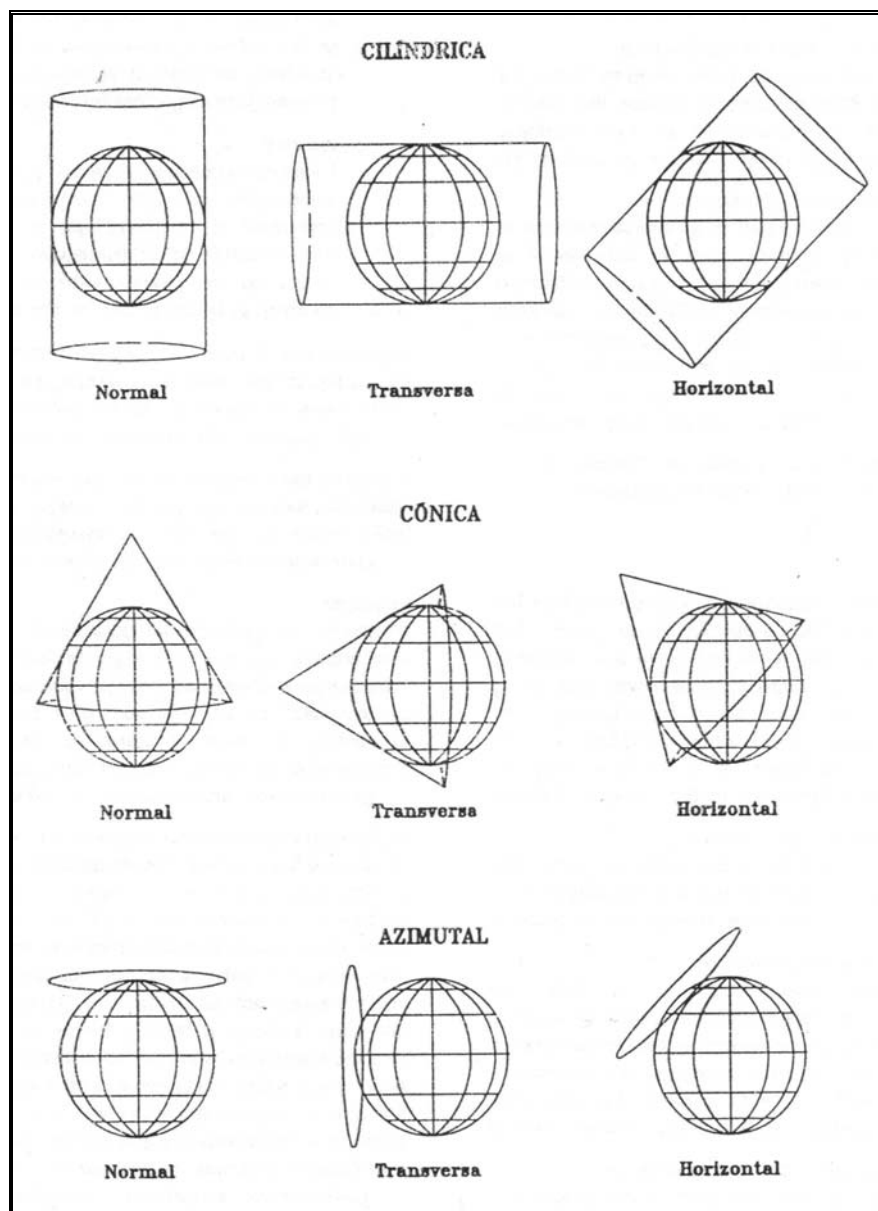


Figura 3.7. Proyecciones Cartográficas Tangentes Fuente: Silva et al. (2001).

Los sistemas de coordenadas geográficas consisten en dos familias de círculos imaginarios los meridianos que pasan por el eje de rotación de la tierra y los paralelos que son normales a dicho eje. Los meridianos son círculos mayores y entre los paralelos solo el ecuador es un círculo mayor. La latitud es el ángulo formado entre la vertical de un punto y el plano ecuatorial, tiene valores de 0° a 90° y se mide del ecuador hacia el norte o sur. La longitud de un punto es el ángulo formado por el plano del meridiano donde se encuentra el punto con el plano del meridiano que se toma como origen, tiene valores de 0° a 180° y se mide hacia el este (positivo) u oeste (negativo) (Silva et al. 2001).

El sistema UTM utiliza la Proyección Transversa de Mercator como base, este sistema de coordenadas es rectangular y para ser utilizada en escalas menores se subdivide la cuadrícula de esta proyección (**Fig. 3.8**).

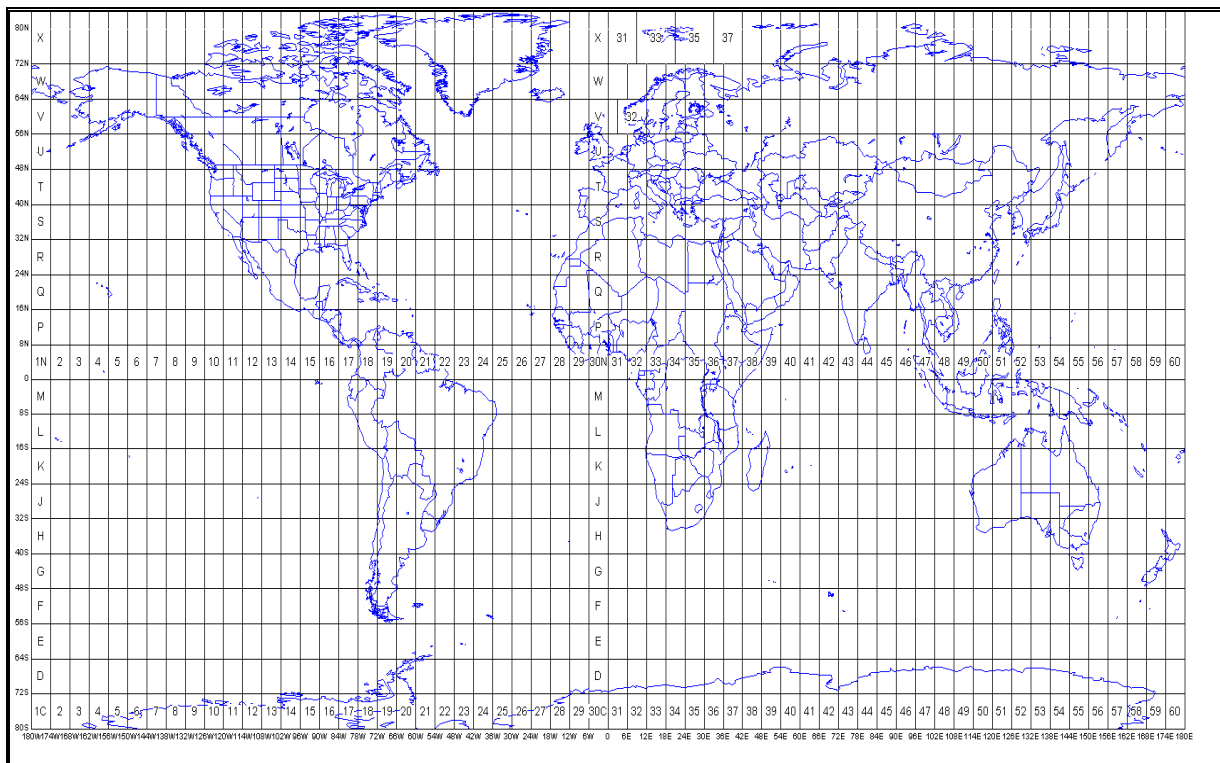


Figura 3.8. Cuadrícula UTM. Fuente: www.carteryx.com

Es importante conocer los problemas que pueden surgir a causa de tener información con diferente georeferenciación, pues, el análisis que puede ser realizado con un SIG depende de la consistencia de los datos incorporados y su referenciación espacial.

5. Interpolación en los SIG

La interpolación es un proceso que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio (punto no muestral con valor estimado), conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio (puntos muestrales con valores reales).

La finalidad de la interpolación en los SIG es obtener superficies de fenómenos continuos en el espacio.

Los métodos de interpolación son numerosos y variados. Existen las técnicas determinísticas y geoestadísticas diferenciándose entre si por el mecanismo matemático de la interpolación.

En las técnicas deterministas se establecen suposiciones generales sobre la superficie a interpolar y con base en esto se genera una función matemática de interpolación (método directo). En la técnica geoestadística se estudian puntos muestrales y con base en ellos se genera la función de interpolación que cuenta con el grado y tipo de autocorrelación existente en los puntos muestrales (métodos analíticos) (Moreno et al. 2006).

Las interpolaciones determinísticas mas usadas son: la medida ponderada por el inverso de la distancia (IDW), en la cual se asume que las cosas que están mas cerca son más parecidas que las que están mas lejos; y las funciones de base radial (FBR) que predice valores por encima de un máximo o por encima de un mínimo, lo cual la hace totalmente diferente del IDW (**Fig. 3.9**).

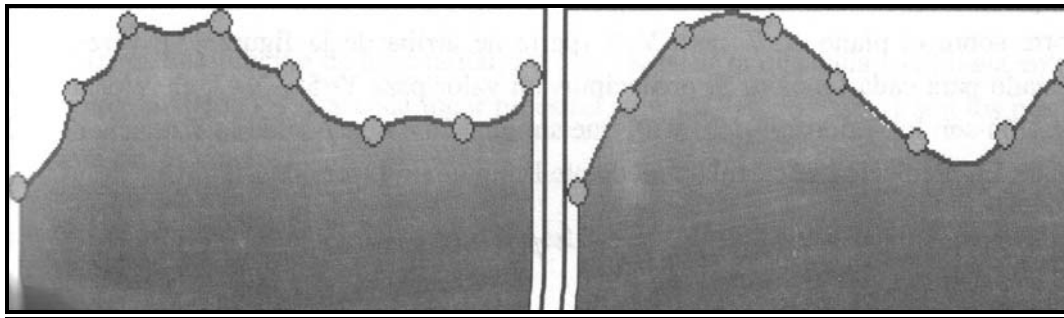


Figura 3.9. Ala izquierda superficie generada por IDW y ala derecha superficie generada por una función de base radial. Fuente: Moreno et al. (2006).

Dentro de este grupo también se encuentran las funciones polinómicas que resultan menos exactas que las antes mencionadas (**Fig. 3.10**) (**Fig. 3.11**).

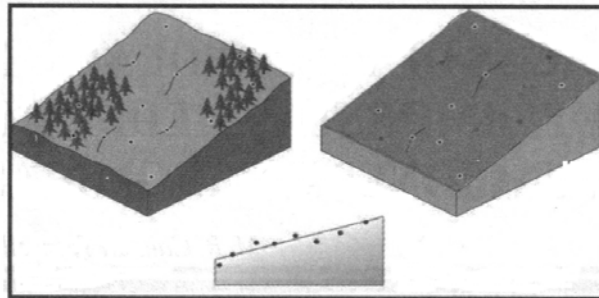


Figura 3.10. Ajuste mediante un polinomio con interpolación global de primer grado. Fuente: Moreno et al. (2006).

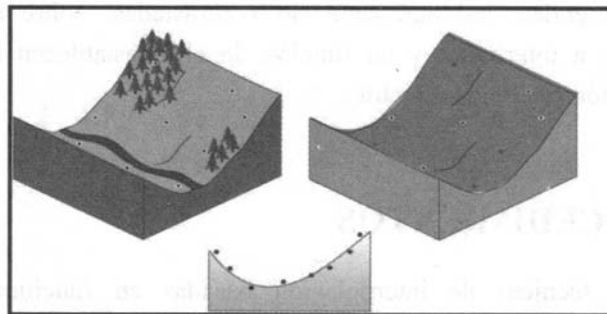


Figura 3.11. Ajuste mediante un polinomio con interpolación global de segundo grado. Fuente: Moreno et al.(2006).

En las técnicas de interpolación geoestadística el objetivo no es solo interpolar para obtener una superficie que contenga los valores muestrales, sino también proporcionar un error de la predicción para poder calificar esta como buena o mala, esto se logra gracias a que se incorporan las propiedades estadísticas de la muestra.

Los métodos geoestadísticos que se incluyen en la familia llamada Kriging mas usados son el Kriging ordinario, el universal y el simple, todos estos asociados a diferentes probabilidades. Cuando se necesita interpolar mas de una variable al proceso se le llama Cokriging (Moreno et al.2006).

Para entender como funciona esta técnica de interpolación es necesario saber que un semivariograma es un modelo que sirve para describir la continuidad espacial de los datos y ver si esta cambia o no. El semivariograma esta relacionado con la elección del tamaño de vecindad, es decir el número de vecino (muestras) a tener en cuenta a la hora de interpolar.

El Kriging ordinario es considerado como el mejor estimador lineal insesgado, asume que la variable es estacionaria que no tiene tendencia y considera como desconocida la media.

El Kriging universal se utiliza cuando existe tendencia en los datos o un cambio lento en los valores medidos.

El Kriging simple es semejante al ordinario solo que considera la media de los datos una constante conocida.

6. ArcGis

ArcGIS es una familia de productos de software que juntos construyen un SIG completo en su organización. Los principales módulos son:

ArcCatalog permite organizar y acceder a toda la información de un SIG, como mapas, datasets, modelos, metadatos y servicios.

ArcMap permite crear mapas. Es la aplicación de cartografía, análisis de mapas y edición. Ofrece dos tipos de vistas de mapa: vista geográfica de los datos capas en el marco de la vista y la vista de layout.

ArcToolbox. Realiza la importación , exportación de geodatos.

Arcscene y Arcglobe. Permiten la visualización de escenas 3D.

También existen extensiones que son módulos opcionales como Spatial Analyst (visualización, análisis y modelado raster), 3D Analyst (visualización y tratamientos tridimensionales), geostatistical analyst (análisis geoestadístico), etc.

Este SIG almacena toda la información en un documento llamado proyecto, este contiene cada una de las rutas de donde se encuentran los datos, puede trabajar con documentos tipo vista (views), tablas (tables), gráficos (Charts), y composiciones graficas (layouts).

Capítulo 4

APLICACIÓN AL PROYECTO

1. Software y herramientas utilizadas

Se adquirió una computadora de escritorio DELL Precision 380, con procesador Intel Pentium 4 de 2.92 GHz, memoria RAM de 1 GB y Disco duro de 80 GB; También se adquirió el Software ArcGis 9.1 que incluye los programas ArcGlobe, ArcScene, ArcCatalog y ArcMap con las extensiones Spatial Analyst y 3D Analyst. Se utilizaron los programas Surfer 8, Autocad 2006 y Excel 2003, también se utilizó un GPS modelo Etrex 80 y una tableta digitalizadora proporcionada por el Taller de Cartografía de la Facultad de Ingeniería.

2. Recopilación de información cartográfica analógica y digital.

La información cartográfica digital es aquella que está conformada por un sistema binario que puede ser leído e interpretado por el usuario a través de un software específico y la información cartográfica analógica es aquella que puede ser leída e interpretada por el usuario directamente, es decir esta impresa.

Es necesaria la recopilación de estos dos tipos de información cartográfica pues juntos se completan y el resultado será el más óptimo. La información cartográfica digital como su nombre lo indica es información gráfica que posteriormente se complementará con información alfanumérica (datos hidrológicos).

Durante la primera fase del proyecto se realizó una búsqueda de información cartográfica de la zona de estudio. Se adquirieron mapas digitales e impresos de diferentes autores.

Fueron adquiridos con Sistemas de Información Geográfica, S.A. de C.V. (SIGSA): 12 mapas del Proyecto México, Distrito Federal y Estado de México escala 1:20,000, con coordenadas UTM NAD 83 en Formato ArcInfo y coordenadas UTM WGS 84 impresos,

realizados en 2006, con claves: E14S309, E14S400, E14S401, E14S319, E14S410, E14S411, E14S420, E14S421, E14S422, E14S431, E14S432 y E14S441.

Los mapas en formato ArcInfo (vectoriales), cuentan con curvas de nivel equidistantes cada 20 metros. Contienen las siguientes capas: hidrología, infraestructura, población, uso de suelo, vías de comunicación, límites y topografía, con toponimia.

Con el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) se adquirieron los mapas vectoriales con las claves: E14A39, E14A49, E14B31, E14B41 y E14B51, con escala 1:50,000.

Estos mapas vectoriales cuentan con curvas de nivel cada 10 y 20 metros, las capas que contienen son las siguientes: altimetría, hidrografía e infraestructura hidráulica, localidades y rasgos urbanos, límites, instalaciones diversas e industriales, tanques de almacenamiento, conductos y líneas de transmisión, comunicación y transporte, otros elementos de referencia topográfica, áreas protegidas y sitios de interés histórico. Es importante mencionar que estos mapas no cuentan con toponimia, contienen un listado que hace referencia a cada objeto en el mapa, sea línea, punto o área, sin especificar nombres propios.

También se consultaron los mapas impresos topográficos y geológicos con claves: E14A49, E14B41, E14B31, E14 A39 y E14B51 escala 1:50,000, y el condensado estatal México, escala 1:400,000 todos ellos con coordenadas UTM NAD 27 elaborados por INEGI, 1998-2003.

La búsqueda realizada en la gerencia regional de aguas del Valle de México y sistema Cutzamala tuvo como resultado la adquisición de fotocopias del Esquema hidrológico del Valle de México, año 2006, y los mapas: Localización de estaciones hidrométricas, año 2005, escala 1:200,000.

En la Mapoteca de Sistemas de Aguas de la Ciudad de México se consultaron los mapas de las delegaciones Xochimilco, Tláhuac, Iztapalapa e Iztacalco, escala 1:20,000 con curvas equidistantes cada 2 metros, del año 1986.

También se adquirió la fotocopia de los mapas México 14Qh5, Puebla 14Qh6 y Cuernavaca 14Qh8 de la Secretaria de la Defensa Nacional, departamento cartográfico militar, escala 1:100,000, con coordenadas UTM Con curvas de nivel equidistantes cada 50 metros, año 1968.

De las memorias del Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Operación y Construcción Hidráulica, El Sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México, se consulto el Mapa Geológico de la Cuenca de México y Zonas Colindantes, escala 1:217,390, junto con la sección geológica del drenaje profundo de la Ciudad de México elaborados por Federico Mooser en el año 1974.

También se consultaron los mapas Vientos dominantes y otros fenómenos climáticos de la republica Mexicana con claves IV.4.2 y IV.4.7 respectivamente, año 1990.

3. Recopilación de información hidrológica.

Como resultado del estudio hidrológico se obtuvieron datos de diferentes parámetros, los cuales se integran al SIG como información alfanumérica.

Los parámetros obtenidos fueron:

- a) La lluvia acumulada, en milímetros para diferentes períodos de retorno y diferentes duraciones para 29 estaciones pluviográficas.
- b) Intensidades de lluvia, en milímetros por hora para diferentes períodos de retorno y diferentes duraciones para estaciones pluviográficas

Como consecuencia se genero una base de datos con los años de registros de lluvia para las estaciones utilizadas.

4. Entrada de datos gráficos y datos alfanuméricos.

Los datos vectoriales de topografía se introdujeron al programa ArcGis mediante ArcMap (**Fig. 4.1**).

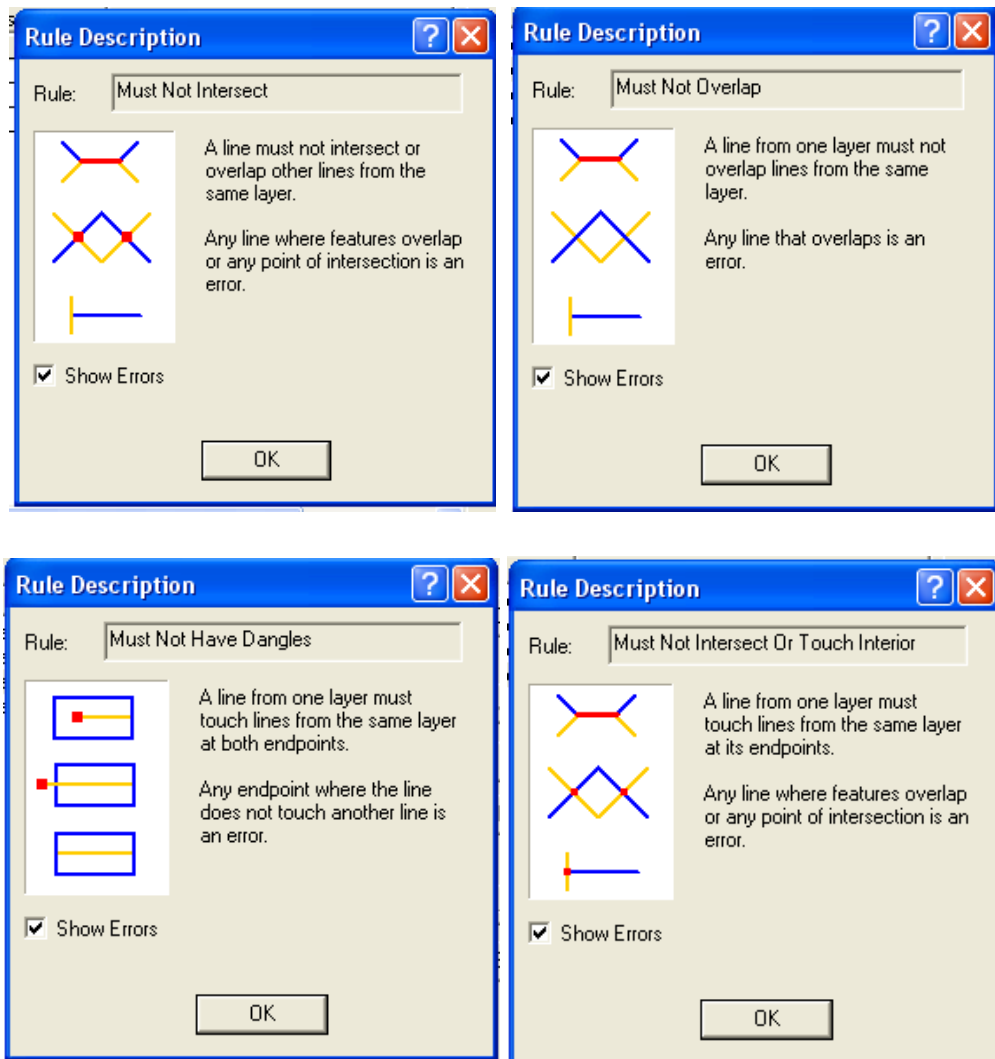


Figura 4.2. Programa ArcCatalog, reglas de topología.

La base de datos alfanumérica que contiene los parámetros: lluvia acumulada e intensidad de lluvia para 120 minutos, quedó conformada de la siguiente manera en tablas elaboradas en Excel:

Entidad: Nombre de la estación

Atributo: La lluvia acumulada o intensidad de lluvia en 120 minutos para 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20 ,30 ,50 y 100 años.

Relación: ME y MN como coordenadas (x, y) para cada estación pluviométrica.

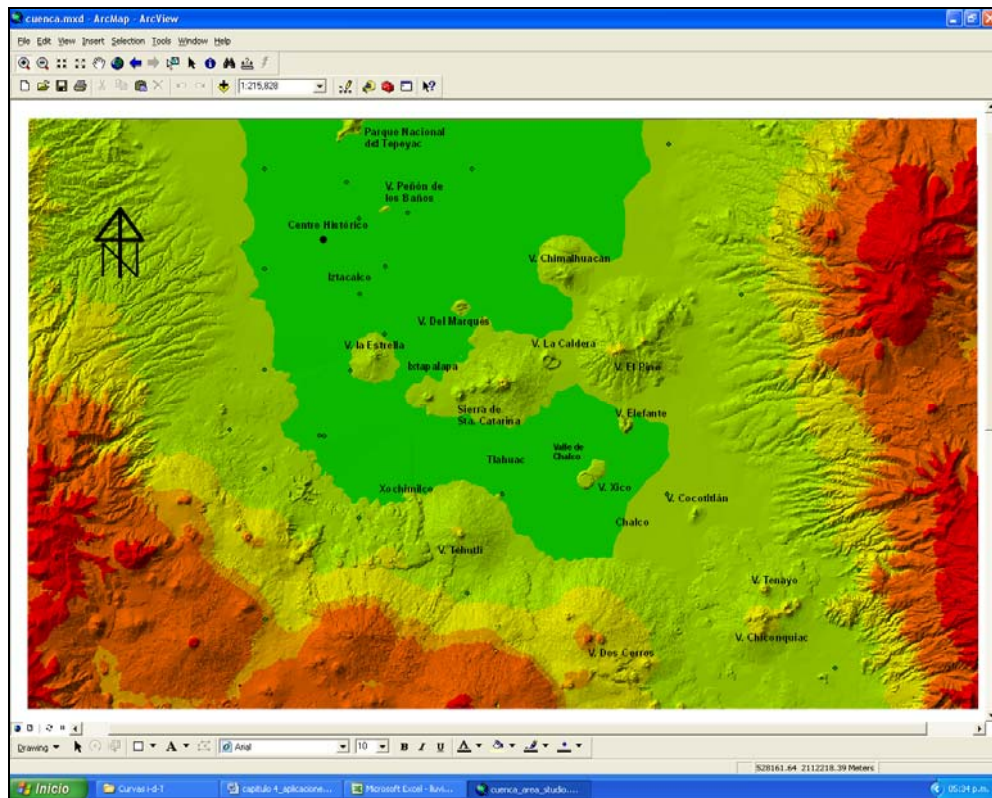


Figura 4.4. Programa ArcMap, modelo TIN.

Para la selección de los trazos de las alternativas propuestas en el proyecto se analizó la información cartográfica con el programa ArcMap en planta (**Fig. 4.5**) y se eligieron diversos trazos.

Estos trazos (**Fig.4.6**) fueron analizados construyendo el perfil topográfico de cada uno de ellos, para conocer y analizar la viabilidad que estos presentarían al momento de la construcción.

Los trazos fueron analizados construyendo para cada uno su perfil topográfico.

Ya que cada uno de estos perfiles contaría con una longitud mayor a 50 Km aproximadamente fue necesario el uso de los programas Surfer 8 y Autocad 2006 para su realización.

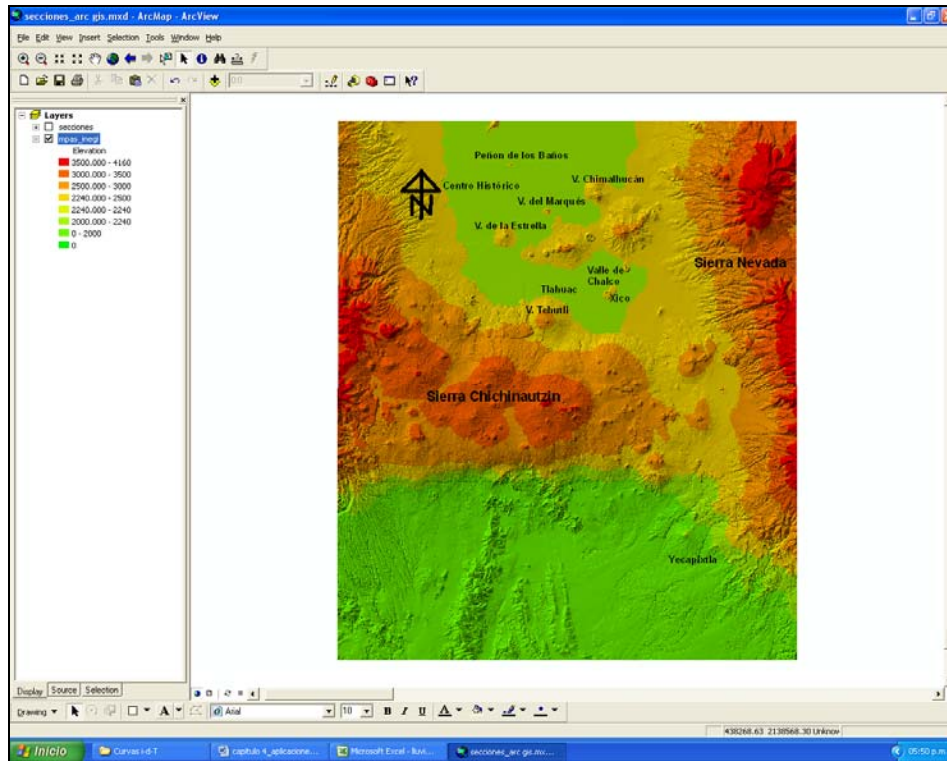


Figura 4.5. Programa ArcMap, modelo TIN, área donde se prepusieron los trazos del túnel.

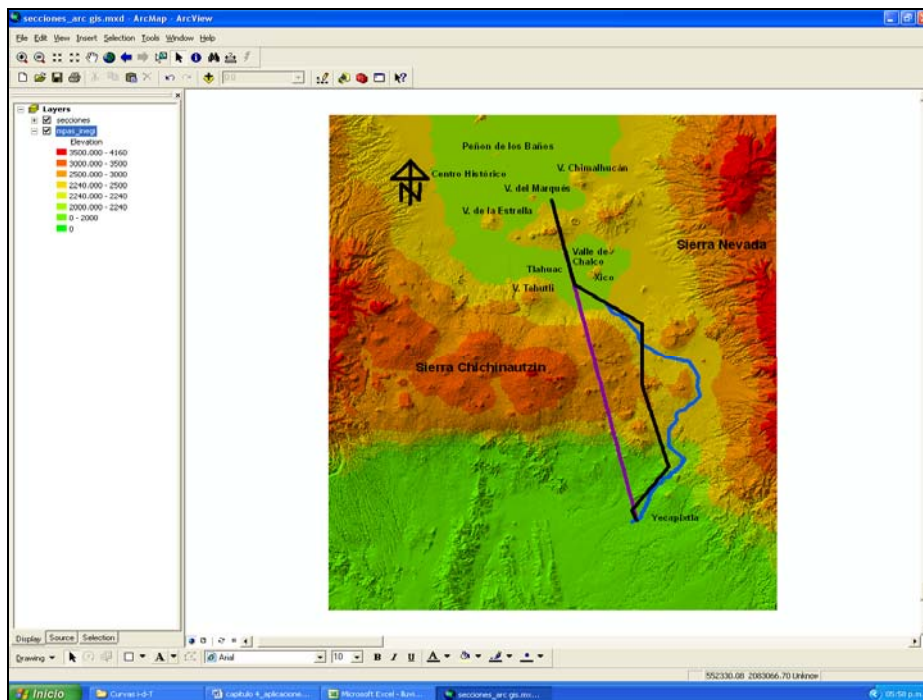


Figura 4.6. Programa ArcMap, modelo TIN, área con los trazos del túnel.

La construcción de estos perfiles se divide en dos etapas la primera con el programa Surfer y la segunda con Autocad.

En la primera etapa se convirtió el modelo vectorial a un modelo grid, el cual es un tipo de modelo raster (**Fig.4.7**) que utiliza el programa Surfer.

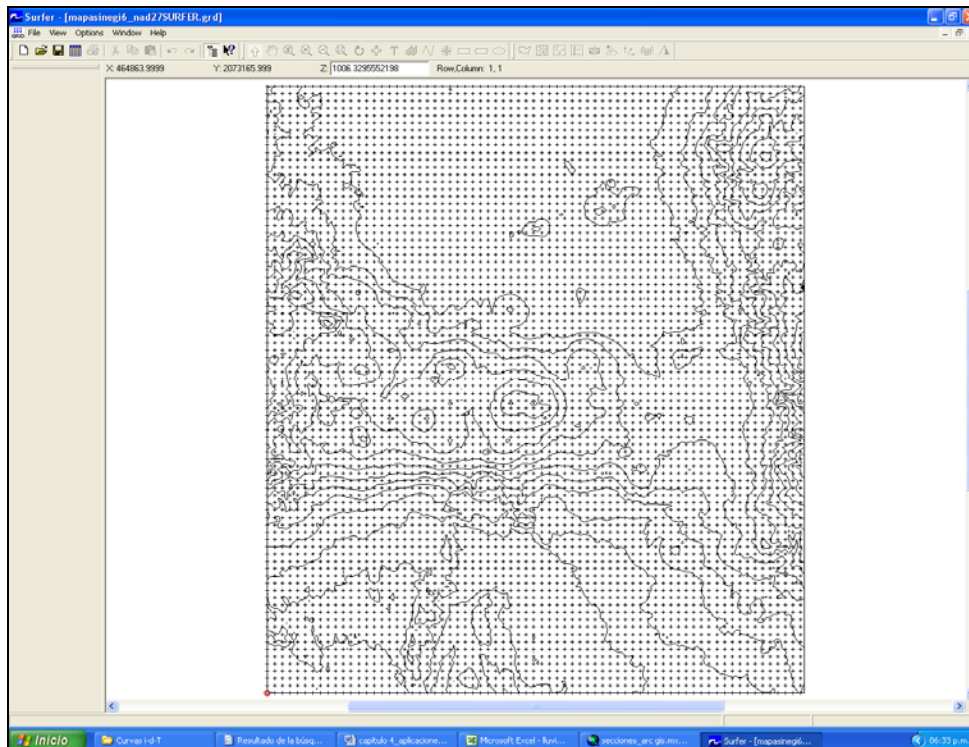


Figura 4.7. Programa Surfer 8, modelo grid.

Este modelo grid se obtuvo con Kriging como método de interpolación. Con el comando Slice, utilizando la interpolación natural neighbor se obtuvo un archivo .dat, el cual contiene una serie de coordenadas (x,y,z) y la distancia acumulada entre puntos a lo largo del trazo.

Con estos datos se graficó en Autocad los perfiles topográficos, utilizando diferentes escalas para su visualización.

Es de importancia mencionar que para este momento se contaba ya con la pendiente máxima y mínima necesaria para el túnel; Así que la topografía debía contar con los rasgos necesarios para que esta condición se cumpliera.

El resultado fueron tres perfiles topográficos que se nombraron: Túnel Salado Poniente, Túnel Salado-Xico-Ahichipico y Túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya, los cuales se describen y analizan a continuación.

6. Resultados

Se elaboró un mapa hipsométrico del área de estudio (**mapa 1**) donde se muestran los límites delegacionales y como referencia el centro histórico. Se usaron solamente 6 colores con la finalidad de mostrar claramente la zona mas baja de la cuenca que esta marcada por la curva 2240.

El siguiente mapa hipsométrico (**mapa 2**) elaborado muestra los trazos de las tres alternativas propuestas en el proyecto.

Se creó una base de datos de los parámetros (**Fig. 4.7**): lluvia acumulada en 120 minutos e intensidad de lluvia en 120 min. y fotografías del portal de entrada y salida, incluyéndose la imagen del corte litológico en la lumbrera 4.

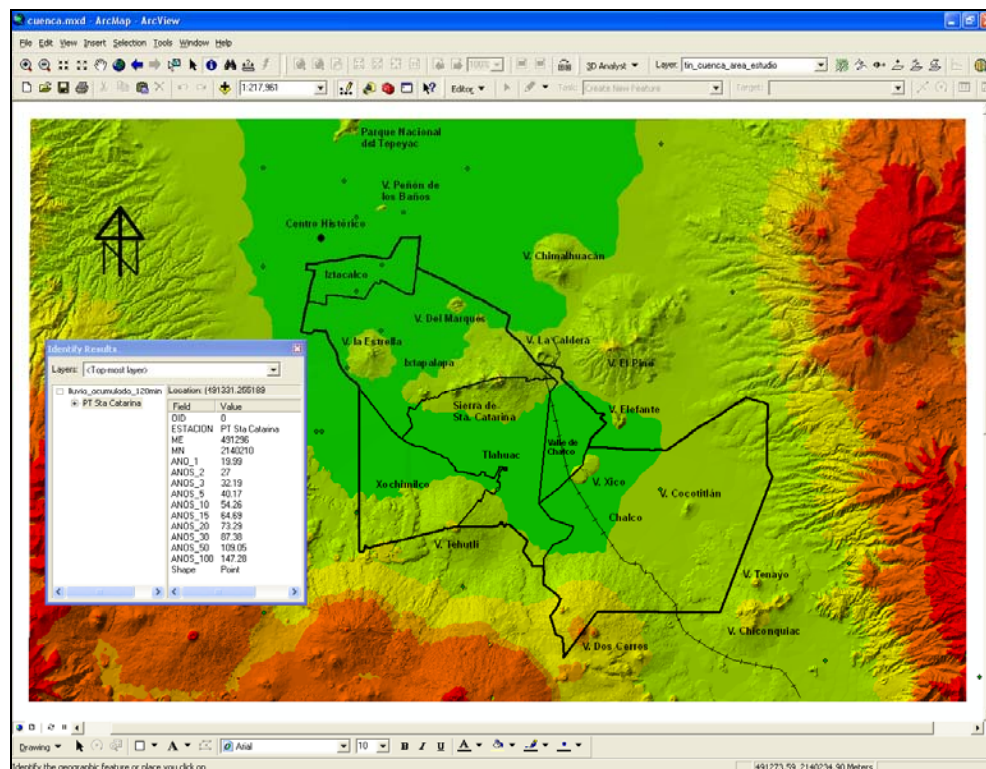


Figura 4.7. Base de datos parámetros hidrológicos, programa ArcMap.

Se creó también un archivo (.avi) con movimiento que muestra el área de estudio desde diferentes perspectivas con el programa Arcscene, con la finalidad de usarlo en la presentación del proyecto al público.

6.1. Alternativas Propuestas.

La primera alternativa, Túnel Salado-Poniente (**mapa 3**), conecta en línea recta el Tanque de sedimentación el Salado con el Arroyo Chalpa, afluente del Río Cuautla. La longitud del túnel con una dirección S-SE es la más corta, 55+000 km, sin embargo, presenta grandes desventajas en la profundidad de las lumbreras sobre todo en la parte central donde la lumbrera 4 alcanza 940 m. Si se optara por no construir esta lumbrera, se tendrían 26 + 600 km de túnel sin lumbreras, situación que no es recomendable por severas restricciones de seguridad y ventilación. Las lumbreras 1, 2 ,3 y 5 tendrían longitudes de 50, 130, 220, y 265 m respectivamente y la pendiente del túnel sería de 1.21%. Debido a la desventaja de tener un tramo tan grande de túnel sin lumbreras esta alternativa fue desechada.

La segunda alternativa, Túnel Salado-Xico-Achichipico (**mapa 4 y 5**) se delineó con una traza que comprende cuatro quiebres de dirección con el fin de evitar las prominencias topográficas, por lo que la longitud aumenta a 60+500 km. Sin embargo, los desarrollos de las lumbreras son todavía muy grandes, 30 m la mínima y 738 m la máxima y se tendría la misma desventaja de la alternativa anterior, esto es, excavar 27 km. de túnel sin lumbreras, por lo que también esta alternativa fue desechada.

El Túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya fue elegido como el más viable para su construcción. Su objetivo sería drenar el Suroriente de la ciudad y los municipios Valle de Chalco y Chalco en contingencias de lluvias extraordinarias. Iniciaría con la captación en el Tanque de Sedimentación El Salado y terminación en la cuenca del Río Balsas, tiene una visión a futuro, cuando la expansión urbana Tlahuac-Mixquic-Ayotzingo-Amecameca, descargue volúmenes residuales mucho mayores a los actuales al Río Amecameca. Este Túnel tendría una pendiente de 0.19% y una longitud de 57+850 km.

Las características topográficas de este túnel son las siguientes:

Lumbrera o vértice	Longitud (m)	Dirección del tramo	Coordenadas Inicio		Coordenadas Fin	
			mE	mN	mE	mN
L0-V1	14+390	S 66°30' E	499800	2141700	503350	2127750
V1-V2	5+500	S 33°30' E	503350	2127750	508061	2124831
V2-V3	31+500	Vía ferrocarril	508061	2124831	518071	2102248
V3-PS	5+800	S 73°00'	518071	2102248	518100	2100650
V3-PS	5+800	S 73°00'	518100	2100650	520614	2098463

La ubicación y características constructivas de las lumbreras del túnel se muestran a continuación:

Lumbrera	Coordenadas		Cadenamiento (Km)	Profundidad (m)	Diámetro (m)
	mE	mN			
L0	499800	2141700	0+000	32	8
L1	500217	2140057	1+695	50	8
L2	501898	2135455	8+507	50	8
L3	502934	2129382	12+705	56	8
L4	506408	2125855	19+983	69	8
L5	511318	2122074	24+473	150	8
L6	514884	2117220	30+764	241	8
L7	521750	2114036	38+600	315	8
L8	520998	2107186	46+737	285	8
L9	518097	2100780	54+455	185	8

El diagrama de operación propuesto (**Fig.4.8**) para la evacuación de agua, iniciaría con la captación en el centro del tanque de sedimentación El Salado, conectándose con el

interceptor Ermita y en la lumbrera 4 con el Canal de Chalco. También se propone la construcción de otro túnel secundario, llamado Túnel Chalco. Este túnel tendría 8 +067 km de longitud, un diámetro de 5 m y con una pendiente de 0.0043 que desfogaría en la lumbrera 4 del túnel mayor a una profundidad de 40 m.

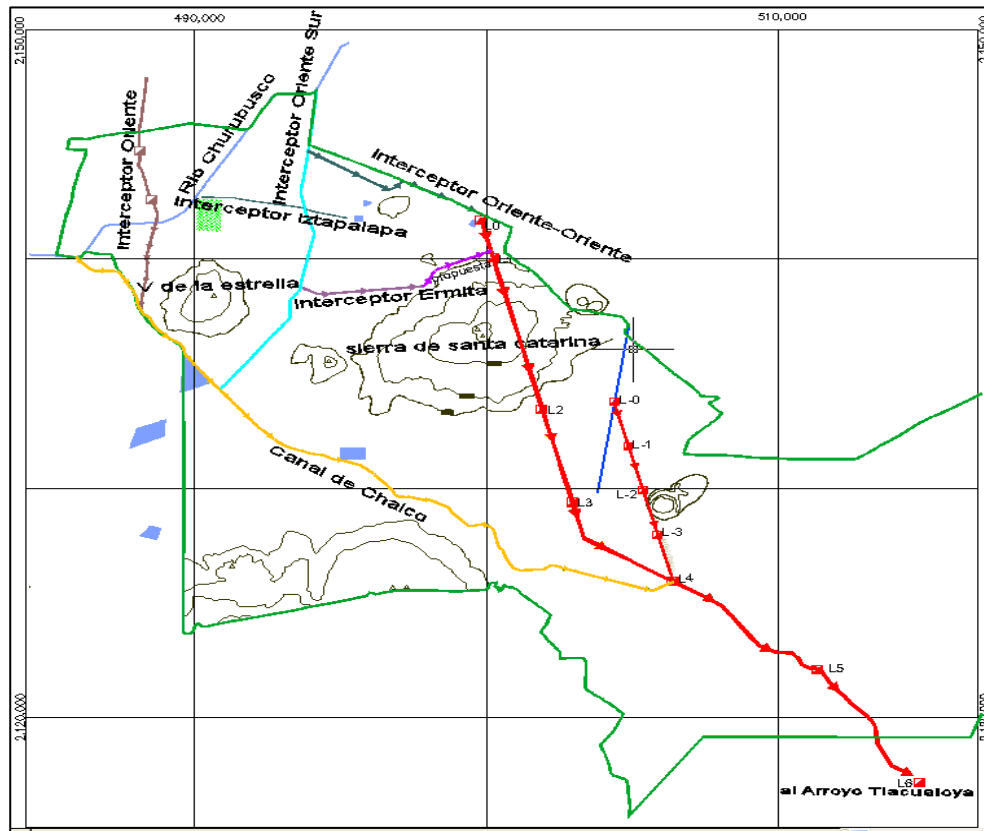


Figura 4.8. Diagrama de operación propuesto.

Se realizó el mapa geológico (**mapa 6**) siguiendo el rumbo de este trazo y posteriormente se creó su sección geológica (**mapa 7**).

6.1.1. Sección Geológica.

La sección geológica (**mapa 7**) se construyó con la finalidad de interpretar las características geológicas del subsuelo en donde se propone la construcción del túnel “Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya”, el cual inicia en el centro del Tanque de Sedimentación El Salado y su portal de salida se ubicaría en la margen derecha del Arroyo Tlacualoya en el Valle de Cuautla.

La sección geológica está trazada en el mapa geológico (**mapa 6**), el cual fue descrito en el capítulo 2, en el que se definió la siguiente columna estratigráfica para la zona de estudio:

Q _{La}	Cuaternario lacustre
Q _{AB}	Cuaternario Andesita-Basalto
Q _{CgTA}	Cuaternario Conglomerado-Toba Andesítica
Q _{TA}	Cuaternario Toba Andesítica
Q _{ATA}	Cuaternario Andesita-Toba Andesítica
Q _{CgLh}	Cuaternario Conglomerado-Lahar
Q _{TAB}	Cuaternario Toba Andesítica-Basalto
Q _{TAA}	Cuaternario Toba Andesítica -Andesita
T _{PATA}	Plioceno Toba Andesítica-Andesita
T _{MTA}	Mioceno Toba Andesítica -Andesita

La unidad más antigua, que es una secuencia volcánica del Mioceno Medio-Tardío (T_{MTA}), que no sería cortada por el túnel.

Sobre la unidad del Mioceno Medio-Tardío, se encuentran las rocas de edad Plioceno (T_{PATA}), que serían cortadas por el túnel en aproximadamente un 57% de su longitud.

Las unidades: Cuaternario Toba Andesítica-Andesita (Q_{TAA}), Cuaternario Toba Andesítica-Basalto (Q_{TAB}), Cuaternario Conglomerado-Lahar (Q_{CgLh}), Cuaternario Andesita-Toba Andesítica (Q_{ATA}), Cuaternario Toba Andesítica (Q_{TA}), Cuaternario Conglomerado-Toba Andesítica (Q_{CgTA}) y Cuaternario Andesita-Basalto (Q_{AB}), forman parte de la formación Chichinautzin y el espesor de estas unidades en el área del túnel es del orden de 300 m y lo cortaría en 27% de su longitud.

Sin que sea cortada por el túnel se encuentra la formación El Pino que tiene espesores máximos de 750 m, y esta compuesta de derrames de lava, cenizas, lapilli y brechas volcánicas de composición andesítica (Q_{ATA} y Q_{TA}). Esta unidad es contemporánea a las unidades de la base de la Formación Chichinautzin y subyace a la secuencia lacustre.

Por último esta la secuencia lacustre (Q_{La}) en donde se agrupan sedimentos clásticos conformados por estratos de arena, grava, limo y productos piroclásticos relacionados a la actividad volcánica del Estratovolcán Popocatepetl y de la Sierra de Chichinautzin. Esta secuencia sería cortada por el túnel en 22% de su longitud.

De la longitud total del túnel, sólo en el 22% sería construida en materiales lacustres y el complemento, sería en piroclastos y basaltos fracturados de la Formación Chichinautzin, Por lo tanto durante su construcción se trabajaría por arriba del nivel freático y desde el kilometro 23 se trabajaría por debajo del nivel freático.

Capítulo 5

CONCLUSIONES

1. El uso de un SIG requiere no sólo la adquisición del software y sus extensiones, requiere también de un usuario capacitado, una computadora o sistema de computadoras con suficiente memoria y también requiere del conjunto de datos espaciales para ser analizados.
2. La aplicación de un SIG en geología, básicamente comprende el análisis geoestadístico de la información, la cartografía y la creación de bases de datos.
3. La aplicación del SIG está limitada a la capacitación del usuario.
4. Los modelos de elevación del terreno que se generan con un SIG, sufren todavía de limitaciones al editarse y al visualizarse en 3D.
5. ArcGis es el SIG más desarrollado en cuanto a geoestadística se refiere.
6. Ningún SIG desarrollado hasta la fecha puede realizar ni editar por si mismo secciones geológicas en 2D ni en 3D. Para realizar este tipo de operaciones existe software como Geomodeller, Vulcan, GoCad y GSI3D.
7. Los SIG no funcionan como programas de simulación.
8. La edición de mapas en un SIG debe ser acompañada de un programa tipo CAD para facilitar y agilizar la misma.
9. El uso de SIG en el proyecto “Nuevas alternativas de drenaje geológico-artificial para el desagüe del Valle de México” estuvo compuesto de dos etapas: el apoyo al análisis de la información hidrológica mediante la base de datos y la elección de las alternativas propuestas mediante la visualización del terreno en el modelo TIN (triangulated irregular network).
10. La base de datos creada está limitada a los datos que se obtuvieron, visitas a campo realizadas y la capacidad del hardware usado en el proyecto.

-
11. La información cartográfica digital se usó para la creación de la base de datos, para la visualización del área de estudio y por ultimo para la creación de los perfiles topográficos, así como del mapa y sección geológica.
 12. La información Cartográfica digital no puede reemplazar la información de campo, por lo que en cualquier proyecto que incluya geología, la información de campo es necesaria.
 13. El Uso de GIS en la Geología es eficiente mientras se tome en cuenta sus requerimientos y limitaciones.
 14. La propuesta más viable del proyecto es el Túnel Salado-Xico-Canal-Arroyo-Tlacualoya. Esta es una obra que integra un túnel con 0.19% dependiente, 6.5 m de diámetro y 57+850 Km de longitud con diez lumbreras y un escurrimiento sobre el Arroyo Tlacualoya de 16 +700 Km. La obra iniciaría en el centro del Tanque de sedimentación El Salado y el portal de salida del túnel se ubicaría en la margen derecha del Arroyo Tlacualoya.
 15. Las inundaciones en la Ciudad de México son un problema en crecimiento gracias a diversos factores como el hundimiento del suelo, la sobrepoblación y la extensión de la mancha urbana; esto lleva al proyecto “Nuevas alternativas de drenaje geológico-artificial para el desagüe del Valle de México” a ser una propuesta con importancia económico-social irrefutable, por lo que no se debe postergar su planeación y construcción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguayo C., Marín C., 1989, Evolución Geológica de la Cuenca de México. Simposio sobre tópicos geológicos de la Cuenca del Valle de México: Sociedad Mexicana de Suelos, A.C.
2. Aguirre B., 2003, Tenochtitlan y la Ciudad de México. Evolución 1325-2006: Mexicomexico.org
3. Alaniz-Alvarez, S., Nieto-Samaniego, Á., Morán-Zenteno, D. y Alba-Aldave, L., 2002, Rhyolitic volcanism in extensión zone associated with strike-slip tectonics in the Taxco region, southern Mexico: Journal of Volcanology and Geothermal Research.
4. Bosque S., 1994, Sistemas de información geográfica, practicas con ArcInfo e IDRISI: Editorial Ra-Ma.
5. Buzai, G. 2000. La exploración geodigital: Buenos Aires.
6. De los Santos H., 2006, Introducción al manejo del sistema de información geográfica: ARC VIEW, Manual de curso: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
7. Demant, A., 1982, Interpretación geodinámica del volcanismo del Eje Neovolcánico Transmexicano: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Geología.
8. Departamento del Distrito Federal, 1975, Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del distrito federal, tomos i, ii, iii y iv, México.
9. Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Operación y Construcción Hidráulica, 1988, El Sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México, Cuarta edición, México.
10. Diaz, L., 1992, Sistemas de información geográfica: Universidad Autónoma del Estado de México.

-
11. Dirección General de Operación y Construcción Hidráulica, 2001-2005, Planes de acciones hidráulicas.
 12. Duran M., 2005, Modelación hidrológica y de erosión hídrica utilizando sistemas de información geográfica y hec-hms: Tesis Maestría en Ingeniería (Hidráulica).Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
 13. Ezcurra E., 2005. De las chinampas a la megalópolis: El medio ambiente en la cuenca de México: La ciencia para todos 91, Fondo de Cultura Económica, Tercera edición.
 14. Ezcurra E., Mazari M., Pisanty I., Aguilar A., 2006, La Cuenca de México; Aspectos ambientales críticos y sustentabilidad: Sección de obras de ciencia y tecnología, Fondo de Cultura Económica.
 15. Ferrari, L. 2000, Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década: Boletín Sociedad Geológica Mexicana, LIII.
 16. Gómez M., Barredo J., 2005, Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Segunda Edición. Alfaomega Ra-Ma.
 17. Gómez- Tuena, A., Orozco-Esquivel M. T. y Ferrari L., 2005, Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana: Boletín Sociedad Geológica Mexicana, LVII.
 18. Gutiérrez M., González S., Zamorano O., 2000, La cuenca de México y sus cambios Demográfico-espaciales: Temas selectos de Geografía, Textos monográficos, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
 19. Korte, G., 1997, The GIS book, Understanding the value and implementation of GIS: Onword Press, Cuarta edición.
 20. León P., 1983, Los antiguos mexicanos: Colección popular 88, Fondo de Cultura Económica, Quinta edición.
 21. López R., 1993, Geología general y de México: Trillas.
-

-
22. Lugo H., Mooser F., Pérez V., Zamorano O., 1994, Geomorfología de la Sierra de Santa Caterina D.F., México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, V. 11 núm. 1.
 23. Morain, Stan, 1196, Raster imagery in geographic information systems: Onword Press.
 24. Moreno J., Cañada T., Cervera C., Fernández G., Gómez G. Martínez S., Moreno J., Prieto F., Rodriguez E., Vidal D., 2006, Sistemas de y análisis de la información geográfica; Manual de autoaprendizaje con ArcGIS: Universidad Autónoma de Madrid, Alfaomega Ra-Ma.
 25. Mooser F., 1957, Los ciclos de vulcanismo que formaron la Cuenca de México: Congreso Geológico internacional., XX sesión, Sección I, Segundo tomo.
 26. Orozco B., 1980, Historia de la Ciudad de México desde su fundación hasta 1854: SEP diana México.
 27. Pardo, M., Suare G. 1995, Shape of subducted Rivera and Cocos plates of southern Mexico-sismic and tectonic implications: Journal of Geophysical Research, 100.
 28. Pat Hold, Ed. 1996, GIS data conversion: Onword Press.
 29. Pesquer M., Masó P., Pons F., 2003, Integración en un SIG de métodos estadísticos, interpolación e imágenes de teledetección para la obtención mensual de datos meteorológicos validados: IX Conferencia Iberoamericana de SIG, Centre de Recerca Ecologica i Aplicacions Forestals.
 30. Rigaux, P., Scholl, M., 2002, Spatial databases with application to GIS: Morgan Kauffman.
 31. Rivera, V., Godinez, R., 2002, México a través de los Mayo. Paco y Faustino Mayo, Biografía: Archivo General de la Nación, Conaculta FONCA.
 32. Salinas C., 2003, México, Vestigios prehispánicos en el lago de Texcoco: La Jornada, México D.F. 20 de Junio.

-
33. Siebe, C., Rodríguez, L. V., SCAF, P. y Abrams, M. 2004., Radiocarbon ages of Holocene Pelado, Guespalapa and Chichinautzin scoria cones, south of Mexico City: implications for archaeology and future hazards: Bulletin of Volcanology, 66.
 34. Silva R., Mendoza R., Campos M., 2001, Elementos de cartografía geológica: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de ingeniería.
 35. Tapia V., López B., 2002 , Mapeo Morfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: Unidades morfogénicas a escala 1:100,000: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 19, num.1.
 36. Thorstoon, J., 1956, Integrated geospatial technologies: Onword Press.
 37. Vázquez S., Jaimes P., 1989, Geología de la Cuenca de México: Simposio sobre tópicos geológicos de la Cuenca del Valle de México, Sociedad Mexicana de Suelos, A.C.
 38. Yue-Hong chou, 1996, Exploring spatial analysis in geographic information systems: Onword Press.

Referencias de Internet.

<http://www.df.gob.mx>

<http://www.edomexico.gob.mx>

<http://www.gabrielortiz.com/>

<http://www.jornada.unam.mx>

<http://www.cna.gob.mx>

<http://www.latinoamerica-online.it/>

<http://www.mexicomaxico.org>

<http://www.imagenesareasdemexico.com>

<http://www.carteryx.com>

Mapa 1. Área de estudio.

Mapa 2. Alternativas propuestas.

Mapa 3. Planta y perfil topográfico Túnel Saldo-poniente.

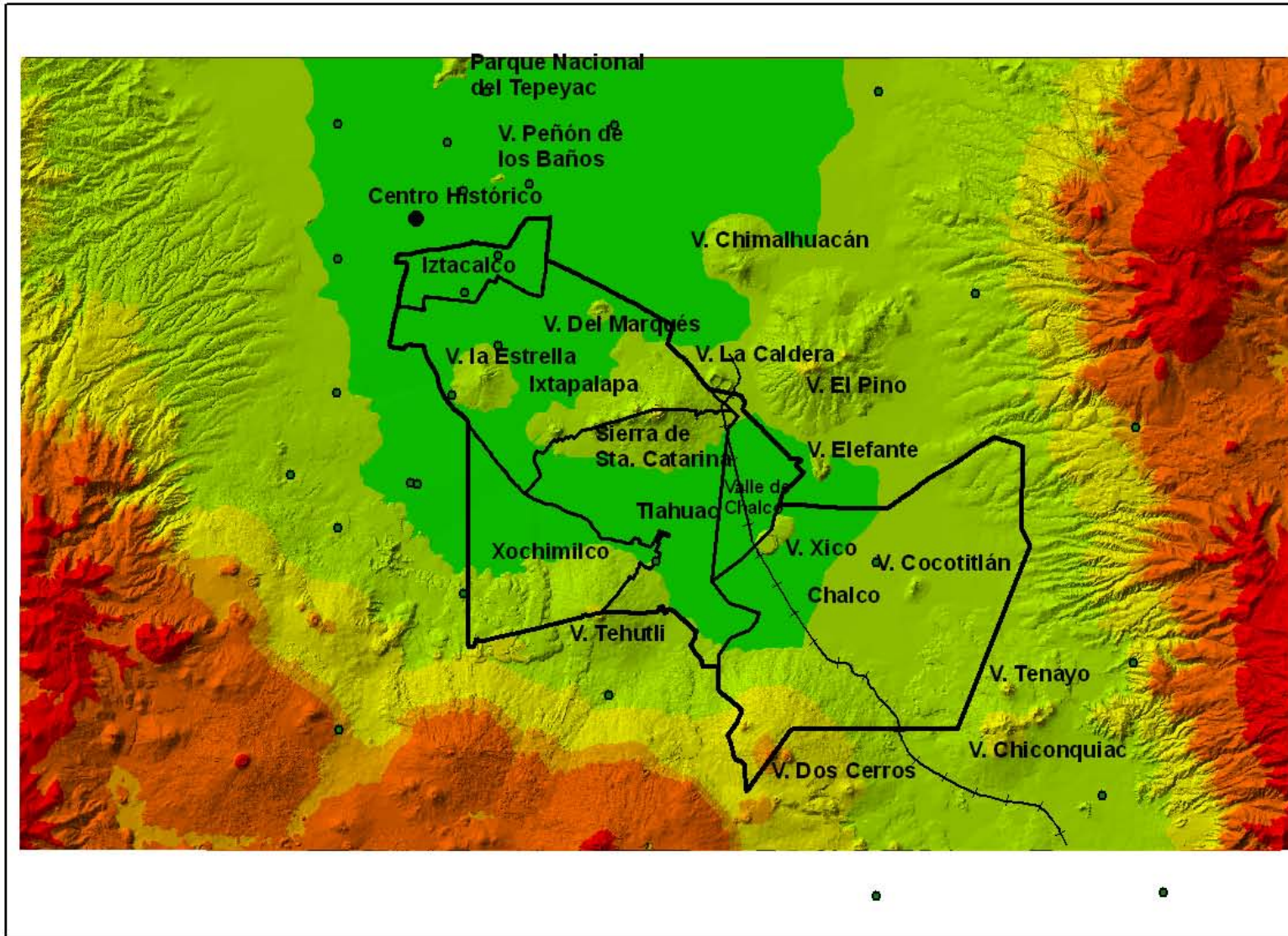
Mapa 4. Planta del Túnel Salado-Xico-Achichipico.

Mapa 5. Perfil topográfico del Túnel Salado-Xico-Achichipico.

Mapa 6. Mapa geológico Túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya

Mapa 7. Sección Geológica del Túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya.

Área de estudio

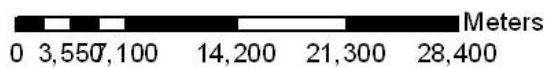
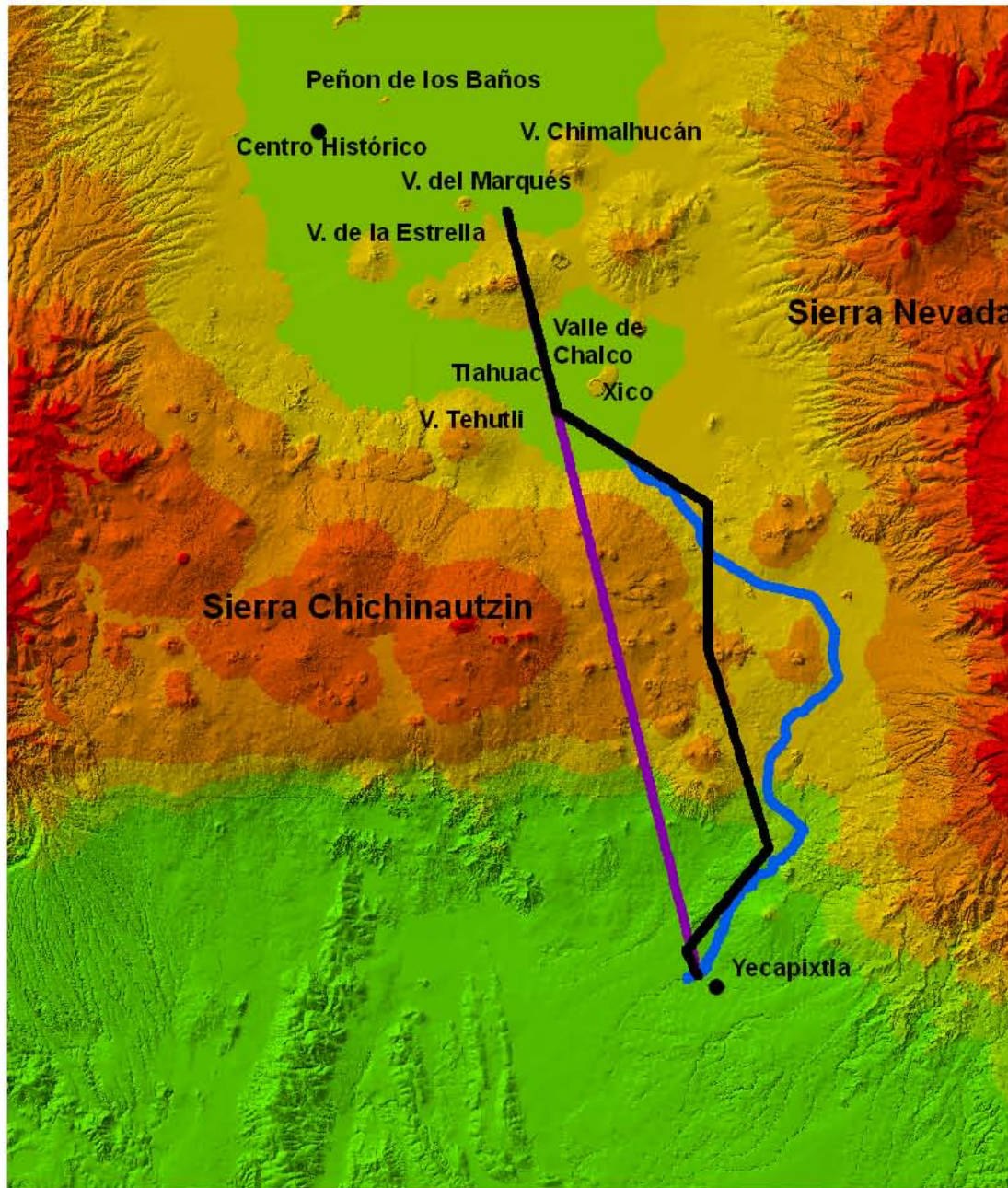


- estaciones Pluviográficas
- Limites delegacionales
- +— Via del tren Mexico- Cuautla
- Área de estudio

Elevación

Red	3500.000 - 4160
Orange	3000.000 - 3500
Yellow-Orange	2900.000 - 3000
Yellow	2600.000 - 2900
Light Green	2240.000 - 2600
Green	2240.000 - 2240
Dark Green	0 - 2240

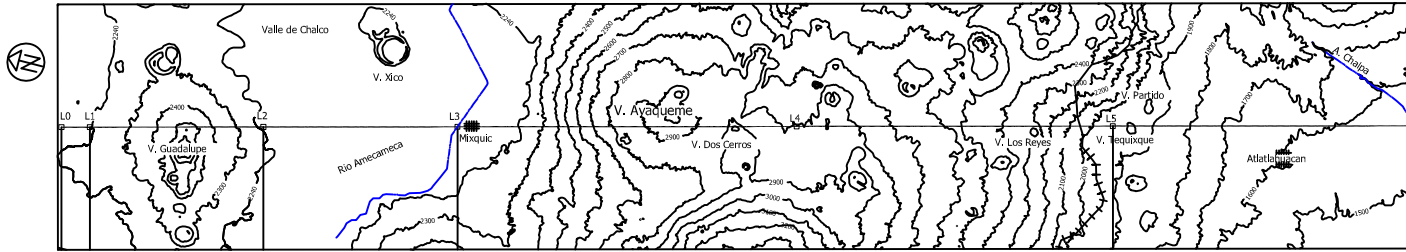
Alternativas propuestas



proyecto Nuevas Alternativas para el drenaje geológico-artificial para el desagüe del valle de México.

Facultad de Ingeniería, UNAM. 2007
Elaboró: Amaya Jimena Esquivel Olmos

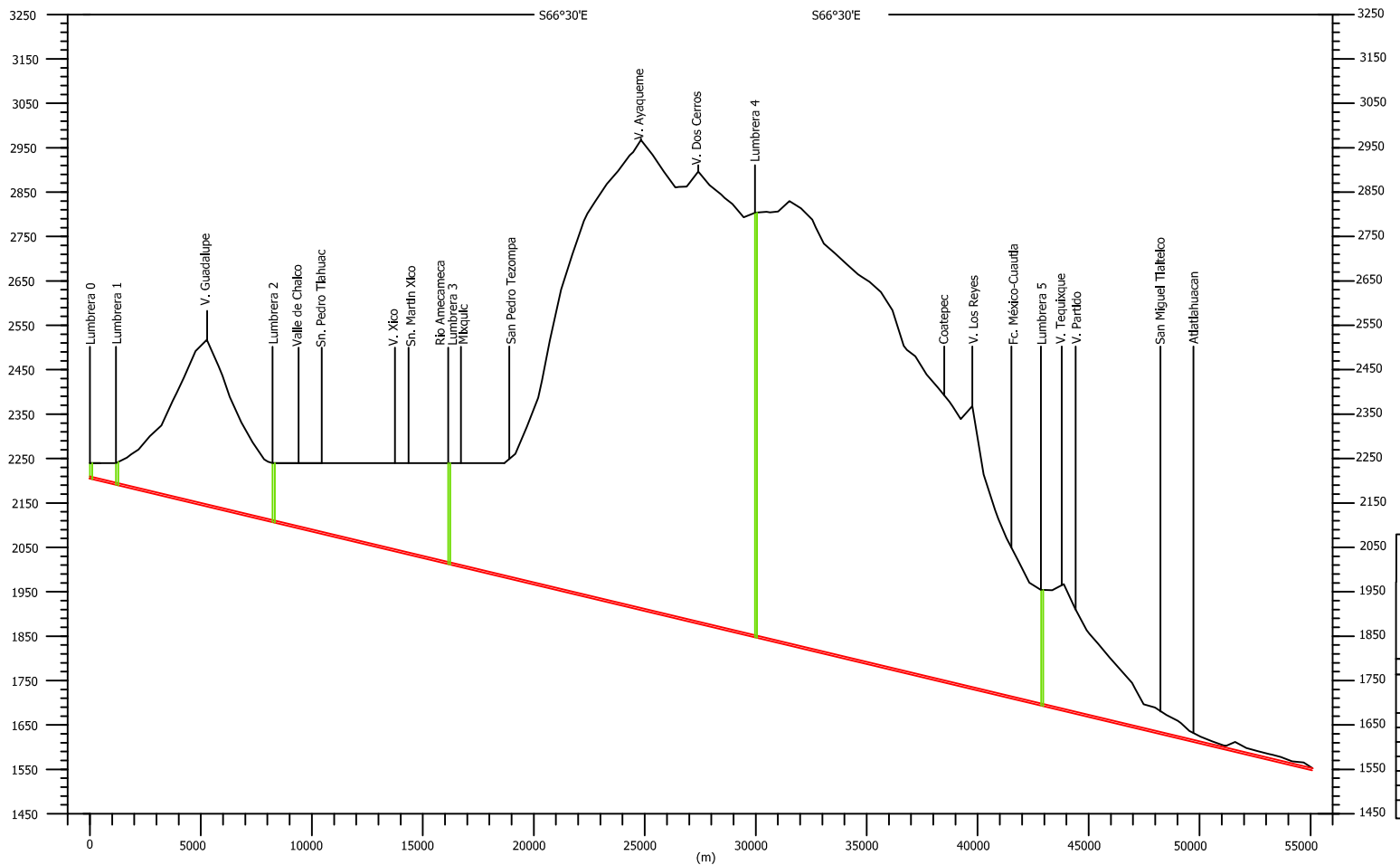




Esc. Vertical 1:10,000 METROS

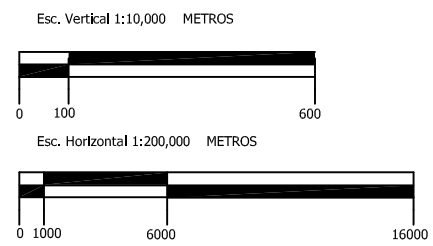
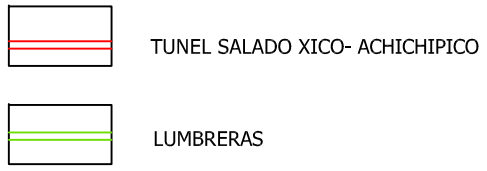
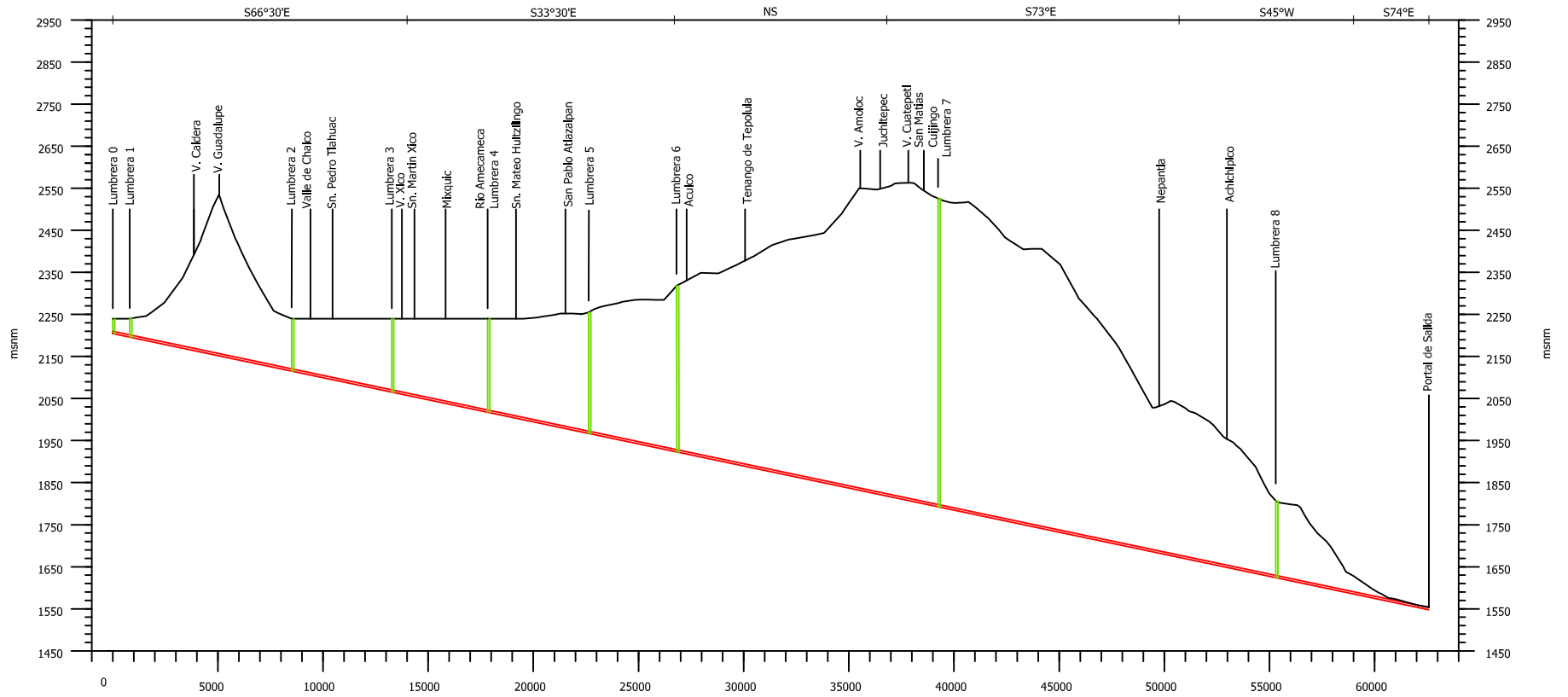


Esc. Horizontal 1:200,000 METROS



- FERROCARRIL MEXICO-CUAUTLA
- RIO AMECAMECA Y ARROYO CHALPA
- TÚNEL SALADO XICO-ACHICHIPICO
- LUMBRERAS

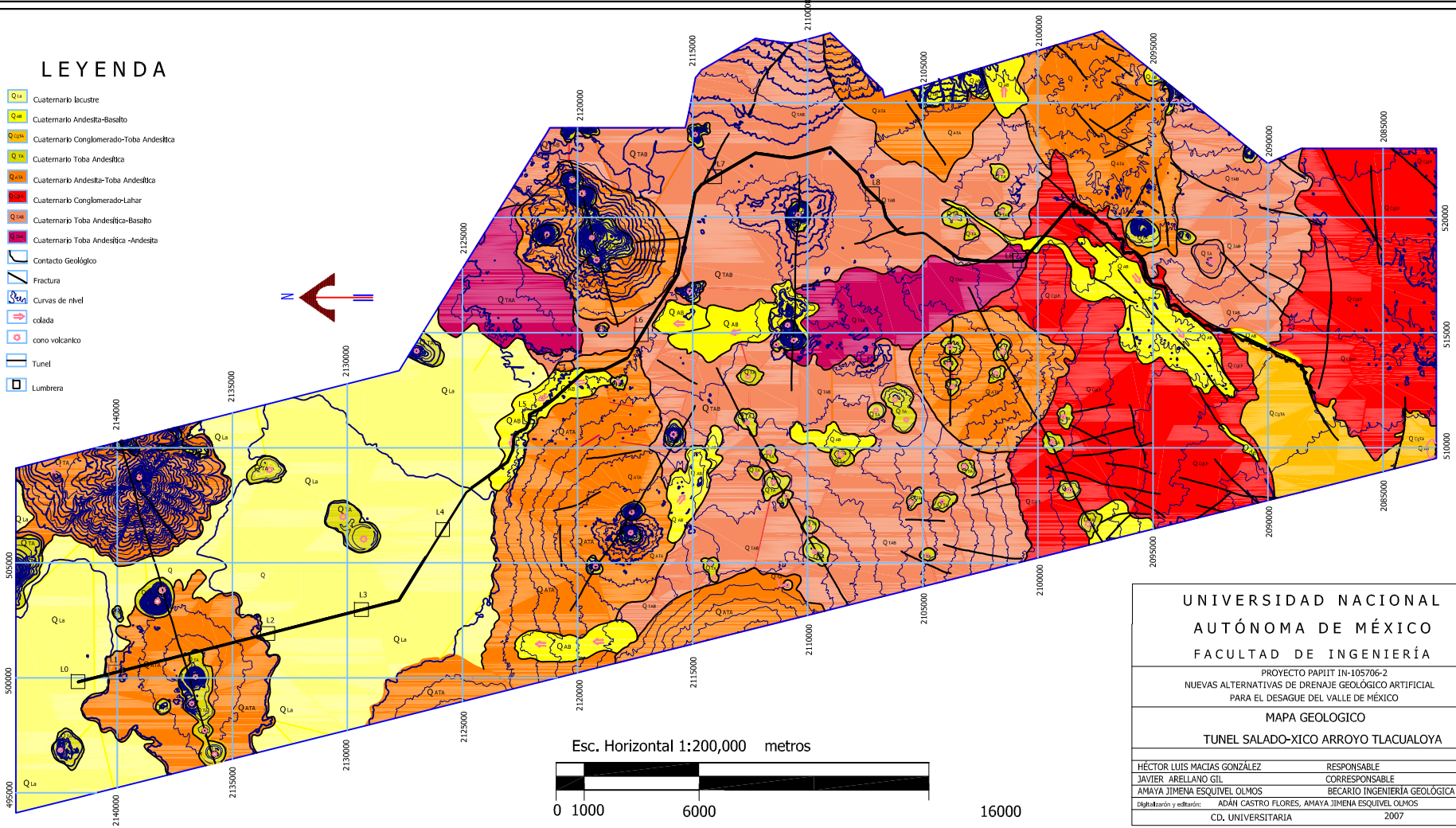
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA	
PROYECTO PAPIIT IN-105706-2	
NUEVAS ALTERNATIVAS DE DRENAJE GEOLÓGICO ARTIFICIAL PARA EL DESAGUE DEL VALLE DE MÉXICO	
Planta y perfil topográfico del Tunel Salado Poniente	
HECTOR LUIS MACIAS GONZÁLEZ	RESPONSABLE
JAVIER ARELLANO GIL	CORRESPONSABLE
AMAYA JIMENA ESQUIVEL OLMO	BECARIO INGENIERIA GEOLÓGICA
ELABORÓ: AMAYA JIMENA ESQUIVEL OLMO	
CD. UNIVERSITARIA	2007



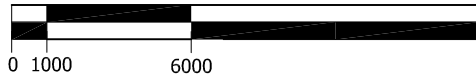
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
PROYECTO PAPIIT IN-105706-2	
NUEVAS ALTERNATIVAS DE DRENAJE GEOLÓGICO ARTIFICIAL PARA EL DESAGUE DEL VALLE DE MÉXICO	
Perfil geológico-topográfico del Túnel Xico-Achichipico	
HECTOR LUIS MACIAS GONZALEZ	RESPONSABLE
JAVIER ARELLANO GIL	CORRESPONSABLE
AMAYA JIMENA ESQUIVEL OLMOS	BECARIO INGENIERIA GEOLÓGICA
ELABORÓ: AMAYA JIMENA ESQUIVEL OLMOS	
CD. UNIVERSITARIA	2007

LEYENDA

- Cuaternario lacustre
- Cuaternario Andesita-Basalto
- Cuaternario Conglomerado-Toba Andesítica
- Cuaternario Toba Andesítica
- Cuaternario Andesita-Toba Andesítica
- Cuaternario Conglomerado-Lahar
- Cuaternario Toba Andesítica-Basalto
- Cuaternario Toba Andesítica -Andesita
- Contacto Geológico
- Fractura
- Curvas de nivel
- Carretera
- cono volcánico
- Tunnel
- Lumbera



Esc. Horizontal 1:200,000 metros



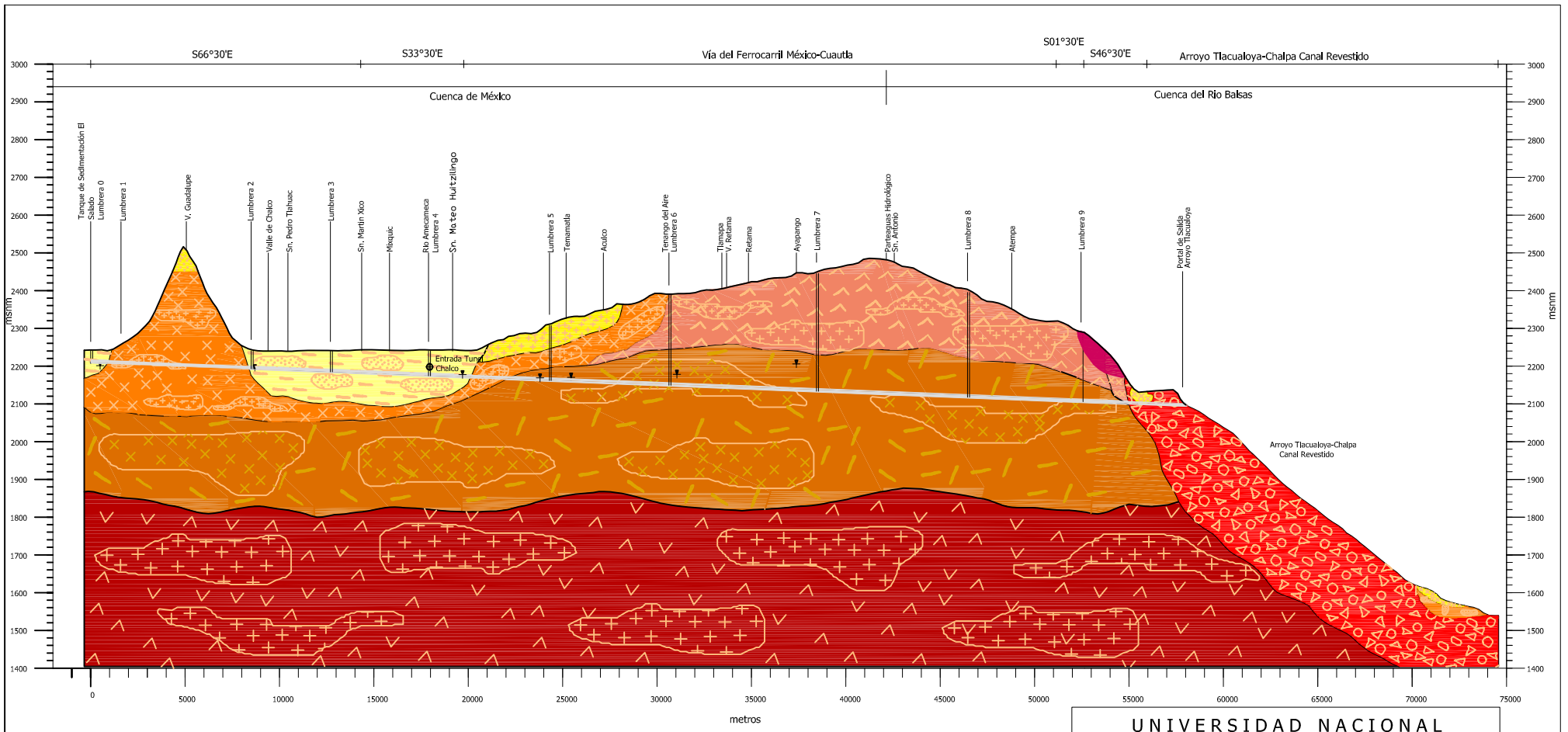
16000

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO PAPIIT IN-105706-2
NUEVAS ALTERNATIVAS DE DRENAJE GEOLÓGICO ARTIFICIAL
PARA EL DESAGUE DEL VALLE DE MÉXICO

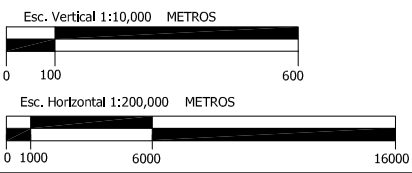
MAPA GEOLÓGICO
TUNEL SALADO-XICO ARROYO TLACUALOYA

HÉCTOR LUIS MACÍAS GONZÁLEZ	RESPONSABLE
JAVIER ARELLANO GIL	CORRESPONSABLE
AMAYA JIMENA ESQUIVEL OLMOS	BECARIO INGENIERÍA GEOLÓGICA
Digitación y edición: ADÁN CASTRO FLORES, AMAYA JIMENA ESQUIVEL OLMOS	
CD. UNIVERSITARIA	2007



- Q_{La} Cuaternario lacustre
- Q_{AB} Cuaternario Andesita-Basalto
- Q_{CgTA} Cuaternario Conglomerado-Toba Andesítica
- Q_{TA} Cuaternario Toba Andesítica
- Q_{ATA} Cuaternario Andesita-Toba Andesítica
- Q_{CgH} Cuaternario Conglomerado-Lahar
- Q_{TAB} Cuaternario Toba Andesítica-Basalto
- Q_{TAA} Cuaternario Toba Andesítica -Andesita

- TPATA Plioceno Toba Andesítica-Andesita
- T_{ATA} Mioceno Toba Andesítica -Andesita
- Nivel freático
- Túnel



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

PROYECTO PAPIIT IN-105706-2
NUEVAS ALTERNATIVAS DE DRENAJE GEOLÓGICO ARTIFICIAL
PARA EL DESAGUE DEL VALLE DE MÉXICO

**PERFIL GEOLÓGICO-TOPOGRÁFICO DEL TÚNEL
SALADO-XICO-ARROYO TLACALOYA-CHALPA**

HÉCTOR LUIS MACÍAS GONZÁLEZ	RESPONSABLE
JAVIER ARELLANO GIL	CORRESPONSABLE
AMAYA JIMENA ESQUIVEL OLMO	BECARIO INGENIERÍA GEOLÓGICA
Digitalización y edición:	ADÁN CASTRO FLORES, AMAYA JIMENA ESQUIVEL OLMO
CD. UNIVERSITARIA	2007