

14
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EL AGUA SUBTERRANEA Y SU IMPACTO
EN LAS ZONAS MINADAS DE LA DELEGACION
ALVARO OBREGON

T E S I S
PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A
ALMA SILVIA ROMERO ESTRADA

ASESOR: ING. HECTOR LUIS MACIAS GONZALEZ



MEXICO, D. F.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-058

SRITA. ALMA SILVIA ROMERO ESTRADA
Presente

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

**EL AGUA SUBTERRANEA Y SU IMPACTO EN LAS ZONAS MINADAS DE LA
DELEGACION ALVARO OBREGON**

- I INTRODUCCION
 - II DESCRIPCION DEL AREA
 - III MARCO GEOLOGICO
 - IV HIDROGEOLOGIA
 - V INTERPRETACION DE DATOS
 - VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA
PLANOS E ILUSTRACIONES

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 HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 11 de septiembre de 1995
EL DIRECTOR



ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JMCS:RLR/glg

DEDICO ESTA TESIS:

A LA MEMORIA DE MI MADRE:

GRACIAS POR LA VIDA, POR TU EJEMPLO DE CORAJE Y OPTIMISMO, TU RECUERDO LO LLEVO EN MI CORAZÓN.

PAPÁ:

POR TU COMPRESIÓN Y CARÍO EN LA REALIZACIÓN DE ESTA META.

A MIS HERMANOS:

LOURDES, CARLOS, MARIO Y RUTH:

POR SU APOYO Y COMPRESIÓN EN EL TRAYECTO DE MI VIDA ESTUDIANTIL.

A MI ABUELITA Y TÍA:

MARÍA RIVERA BENÍTEZ Y JUANA RIVERA BENÍTEZ

*POR SU EJEMPLO DE ENTEREZA ANTE LO IRREPARABLE, POR SER MI GUÍA, POR TU AMOR
GRACIAS.*

JUAN MANUEL:

MI RESPETO Y AGRADECIMIENTO POR SU VALIOSO Y DESINTERESADO APOYO.

MI ETERNO AGRADECIMIENTO AL ING. HÉCTOR MACÍAS GONZÁLEZ, POR SU CONSTANTE APOYO Y EXCELENTE DIRECCIÓN QUE HIZO POSIBLE REALIZAR ESTE TRABAJO. TAMBIÉN MI ADMIRACIÓN POR SU AMPLIO CONOCIMIENTO EN LA MATERIA Y SU GRAN E IMPORTANTE INQUIETUD POR LA INVESTIGACIÓN.

AGRADEZCO LOS COMENTARIOS DEL M. EN C. EMILIANO CAMPOS MADRIGAL, DEL M EN C. GILBERTO SILVA ROMO, DEL M EN C. JAVIER ARELLANO GIL Y DEL ING. ENRIQUE GONZÁLEZ TORRES QUIENES CONTRIBUYERON A ENRIQUECER EL CONTENIDO DEL PRESENTE TRABAJO.

POR TODO SU APOYO A MIS AMIGOS:

**EDITH
ESTHER
FABIOLA
GUADALUPE
KATRIN
LILIA
MARÍA EUGENIA
NORMA
ROCÍO
ALBERTO
ANDRÉS
DANIEL
FÉLIX
JOSÉ
HÉCTOR
RENÉ**

INDICE

	pág.
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	1
I.1. Presentación	1
I.2. Antecedentes	2
I.3. Objetivo y Alcances	4
I.3.1. Objetivo	4
I.3.2. Alcances	4
II. DESCRIPCION DEL AREA	5
II.1. Localización	7
II.2. Fisiografía	7
II.3. Vías de comunicación	12
II.4. Clima y Vegetación	12
III. MARCO GEOLOGICO	15
III.1. Estratigrafía	15
III.1.1. Estratigrafía regional	15
III.1.2. Estratigrafía local	18
III.2. Geología histórica	21
III.3. Tectónica y Estructural	26
III.3.1. Tectónica	26
III.3.2. Estructural	29
IV. HIDROGEOLOGIA	30
IV.1. Unidades Hidrogeológicas	33
IV.2. Posición de los niveles del agua subterránea	42
IV.3. Funcionamiento de las unidades hidrogeológicas	44
V. INTERPRETACION DE DATOS	45
V.1. El movimiento del agua en la zona no saturada	45
V.2. Impacto en las zonas minadas	47
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
VI.1. Conclusiones	51
VI.2. Recomendaciones	52
Bibliografía	53

RESUMEN

La Delegación Alvaro Obregón ubicada al surponiente del Distrito Federal, cuenta con un problema específico y es que más del 60% de su extensión territorial se encuentra sobre zonas minadas, esto provoca que en cada época de lluvias ocurran hundimientos de terreno, derrumbes y colapsamiento de antiguas minas, haciendo que las autoridades se vean obligadas a evacuar a familias enteras ante el inminente peligro de otros colapsos o hundimientos de construcciones.

Los resultados obtenidos en este trabajo se fundamentan en la interpretación de los niveles (estático y dinámico) de veintiún pozos construidos por la DGCOH, localizados dentro del perímetro de la Delegación, además de los datos de campo, los cuales se basaron en las características litológicas y físicas de los depósitos que conforman a la Formación Tarango. Estas interpretaciones dan como resultado, que tanto el agua de lluvia como la de desechos domésticos son los principales agentes desestabilizadores de minas, rellenos superficiales, túneles y taludes inestables. Hasta la fecha no se cuenta con los estudios suficientes sobre la infiltración y escurrimiento del agua de lluvia en la zona, y sabiendo que los asentamientos humanos avanzan sin respetar al área de reserva, al establecerse en sitios cercanos a zonas inestables, provocando que la zona de estudio es víctima de una gran alteración antrópica, y donde es imprescindible, tomar medidas de protección, ya que de no ser así implicaría riesgos para la población establecida en la zona.

I. INTRODUCCION.

I.1. Presentación.

En la Ciudad de México a partir de los años treinta, se inicia un fenómeno de expansión periférica donde el crecimiento físico de la misma se torna explosivo y la mancha urbana comienza a extenderse en algunas delegaciones del Distrito Federal como Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Alvaro Obregón, Coyoacán, Iztapalapa, Iztacalco y después en municipios del Estado de México como Naucalpan, Tlalnepantla y Ecatepec. El crecimiento físico y demográfico de la Ciudad de México es el resultado de una serie de interrelaciones económicas, políticas y sociales que en conjunto generaron lo que hoy en día conocemos como Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Al mismo tiempo, la creciente demanda de vivienda, generó un auge en el mercado de la tierra para uso urbano y acentuó el carácter especulativo de dicha actividad, propiciando la aparición de unidades habitacionales de clase media y la proliferación de asentamientos populares e irregulares, tanto en zonas adecuadas, como en sitios no aptos para la urbanización.

Se tiene especial interés en la Delegación Alvaro Obregón ya que durante las cuatro ultimas décadas han proliferado los asentamientos humanos irregulares. Se estima que de 1960 a la fecha se han asentado alrededor de 500 mil familias en terrenos inadecuados para su urbanización, en pendientes muy pronunciadas o en zonas minadas. Esta urbanización se hizo de varias maneras, principalmente por medio de invasiones imprevistas de terreno, donde los colonos construyeron casas provisionales y posteriormente se les dota de servicios urbanos básicos como son el suministro de agua potable, vialidad, drenaje y luz eléctrica; toda esta presión sobre el suelo, aunado al desmonte y tala de árboles que durante décadas se ha hecho en dicha área, han afectado considerablemente la estabilidad de los taludes, así como de rellenos sanitarios mal compactados y minas subterráneas.

Para el primer tercio de este siglo se inicia la explotación de los bancos de arena, gravas y tepetate para la construcción, se inició con minas a cielo abierto, o entrando directamente en los horizontes que asomaban en los taludes de las barrancas, dicha explotación terminó en la década de los setentas; al tiempo que la mancha urbana cubría áreas estables próximas a la planicie y áreas inestables en

taludes y mesetas con subsuelos minados y fue en este mismo tiempo cuando las barrancas eran rellenas con desechos de construcción, basura doméstica e industrial elevando el piso de las barrancas y obstruyendo las salidas naturales de agua. Toda esta intervención del hombre provoca con el paso del tiempo deslaves de laderas en taludes inestables, inundaciones, arrastre de viviendas en cauces ocupados y el más frecuente, es el hundimiento y colapso de construcciones edificadas sobre minas y túneles abandonados.

El fenómeno de los hundimientos y colapsos se repiten en forma cíclica en épocas de lluvias, situación que nos lleva a considerar que la infiltración del agua de lluvia es uno de los principales agentes de estos desastres urbanos; ya que el agua se infiltra en las partes altas y en estratos permeables, siendo probable que alcance en su trayectoria a minas abandonadas en el subsuelo. Cuando esto ocurre, reblandece los pilotes que la sostienen y hace migrar el techo de las minas hacia la superficie con lo cual se producen los colapsos. Al efecto desestabilizador del agua de lluvia infiltrada se suma otro, más nocivo de igual o mayor magnitud: el vertido de aguas residuales provenientes de los asentamientos irregulares carentes de drenaje. Este fenómeno se amplifica conforme crece la mancha urbana, ya que en la misma proporción se tira el agua en superficie, a fosas sépticas o directamente a minas. El agua que en condiciones normales se debería conducir por el drenaje municipal.

1.2. Antecedentes.

En la Cuenca de México se han realizado un sin número de estudios relacionados con el aspecto geohidrológico entre los cuales destacan:

El artículo "Irrigación en México referente a las Obras Hidráulicas en los afluentes del río Consulado y la influencia sobre la hidrología de la Cuenca de México", Waitz en 1930. Cabe observar que estas obras fueron construidas para la regulación y futura utilización de las aguas del río Consulado.

Galvez (1931) elaboró el artículo "Las aguas subterráneas y la perforación (de un pozo) en la Reposadera, en el Bosque de Chapultepec D.F".

Villa-Acosta y Barrera-Bowring en 1933, realizaron un estudio denominado "La Resolución del problema del abastecimiento de agua de la Ciudad de México".

en la que hacen un análisis y una predicción del consumo de agua en la ciudad en 1965.

Bistrain en 1954 publicó en la revista Ingeniería Hidráulica en México el artículo "Cuantificación preliminar de los recursos Hidráulicos del Itzacihuatl", así mismo, Chávez publicó en la misma revista, el artículo denominado "Obras contra inundaciones de la Ciudad de México".

En los años de 1958 y 1959, Bribiesca-Castrejón presentó un artículo "Agua Potable en la República Mexicana", en el que analiza el abastecimiento de agua en la República Mexicana desde la época prehispánica hasta el año de 1960.

Para el año de 1961, Becerril-Colín presentó un artículo en la revista Ingeniería Hidráulica en México, titulado "Proyecto Preliminar de la Planificación de la Cuenca del Valle de México".

Lesser-Jones en 1961 llevó a cabo un estudio titulado "Determinación del Coeficiente Relativo de Infiltración para la Vertiente Sur de la Sierra de Chichinautzin".

Por otra parte Sainz-Ortiz realizó el estudio acerca de la influencia relativa que ejercen en el hundimiento de la Ciudad de México, las extracciones de agua del subsuelo que por medio de pozos profundos, se efectúan en la propia ciudad y en los municipios colindantes del Estado de México; este estudio se llevó a efecto en 1966 para la Comisión; Hidrológica del Valle de México de la S.R.H..

En 1986, Lesser-Ilades, Sánchez-Díaz y González-Posadas presentaron en la revista Hidráulica en México, el artículo denominado "Hidrogeoquímica del acuífero de la Ciudad de México". El agua que forma el acuífero de la Ciudad de México proviene fundamentalmente de la lluvia, parte de la cual se infiltra y circula a través de las rocas.

Ortega en 1989, realizó un estudio denominado "Las condiciones de fronteras hidráulicas naturales en la Cuenca de México, usando un modelo matemático", en el que se hace un análisis computacional del sistema, utilizando un modelo bidimensional por elementos finitos y para flujo estacionario. A partir de las manifestaciones naturales del agua subterránea en la parte centro-sur de la Cuenca de México.

En 1992, Medina y Herrera, presentan un artículo llamado "Simulación tridimensional del sistema acuífero de la Cuenca de México".

El artículo "Modelado sísmico de la Cuenca de la Ciudad de México", elaborado por Pérez-Chávez en 1993. En donde presenta resultados numéricos de un modelado sísmico con diferencias finitas, utilizando una formulación de rejilla alterada. La cual permite obtener soluciones estables, precisas y confiables para modelar la Cuenca de la Ciudad de México.

Birkle, Torres-Rodríguez y González-Partida, elaboraron en 1996 el artículo "Effects of evapotranspiration on the water balance of the Valley of México". Obteniendo datos climáticos en 82 estaciones, y con ellos calcularon los valores de precipitación anual de cada una de las subcuencas que integran, la Cuenca del Valle de México, llegando a la conclusión de que la mayor infiltración ocurre en las zonas altas de las cadenas montañosas, especialmente en los picos de la Sierra de las Cruces, Sierra de Chichinautzin y Sierra Nevada.

I.3. Objetivo y Alcances.

I.3.1. Objetivo.

El objetivo de esta tesis es de contribuir al conocimiento de la relación que guarda la infiltración del agua de lluvia en las partes altas, y su tránsito hacia el nivel de saturación con las minas sepultadas y los taludes inestables en las barrancas y lomas que constituyen la superficie comprendida en la Delegación Alvaro Obregón.

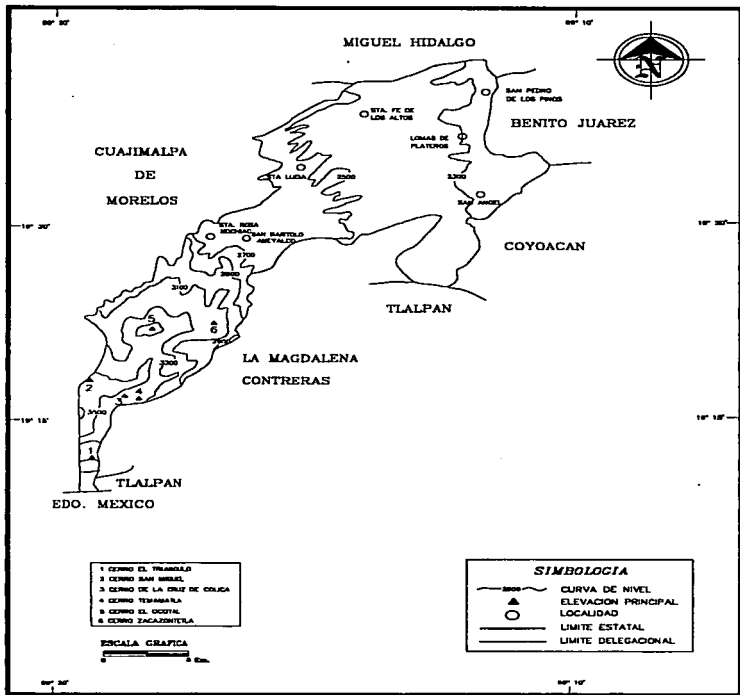
I.3.2. Alcances.

Que las autoridades de la Delegación Alvaro Obregón, dispongan de elementos de juicio para prevenir desastres y detener la eventual contaminación del acuífero de la planicie.

II. DESCRIPCION DEL AREA

El área de estudio tiene una forma alargada de orientación NE-SW y esta ubicada en el surponiente de la Cuenca de México, en la margen inferior de la Sierra de las Cruces, más de la mitad de la superficie de la Delegación presenta una topografía accidentada donde predominan procesos fluviales erosivos intensos, (Figura .1). Esta zona corresponde a la parte sur, noroeste y centro de la Delegación, que se encuentra constituida principalmente por barrancos, que presentan una orientación suroeste-noreste, con una profundidad promedio de 100 m, siendo los más importantes el de Tacubaya, Becerra, Mixcoac, Tarango, Guadalupe y Magdalena. Se presenta la máxima altitud en el cerro el Triángulo, con 3,800 msnm, ubicado al oeste de la Delegación y la altitud mínima hacia el noreste de la misma en los alrededores del Periférico Norte a la altura de Tacubaya con 2,260 msnm.

La parte oriente de la Delegación está constituida por lomeríos que tienen una orientación suroeste-noreste y son surcados por las barrancas Mixcoac, Tarango y Becerra; estos lomeríos presentan una pendiente de 1.5° a 3° y una anchura máxima de 100 m se encuentran en su totalidad urbanizadas. Las colonias que se desarrollaron en estas lomas son Las Aguilas, Lomas de Tarango, Olivar del Conde, Lomas de Plateros, Santa Fe y Lomas Santo Domingo, entre otras. Pasando estos lomeríos al oriente de la Delegación entre los límites con las delegaciones Benito Juárez y Coyoacán, se encuentra la porción más plana que es una pequeña parte de la planicie de la Cuenca de México, la cual presenta una altitud máxima de 2,240 msnm. Las lavas que afloran al sur de la Delegación están asociadas al volcán el Xitle, por su juventud no presentan una red fluvial integrada, son superficies de poca inclinación y de tipo basálticas. Al avanzar la mancha urbana está trasformó también su relieve original urbanizándolas también en su totalidad, la colonia que se encuentran asentada en esta zona es la del Pedregal de San Angel.



FUENTE: INEGI. Carta Topográfica, 1:50,000

FIGURA 1. DESCRIPCION DEL AREA.

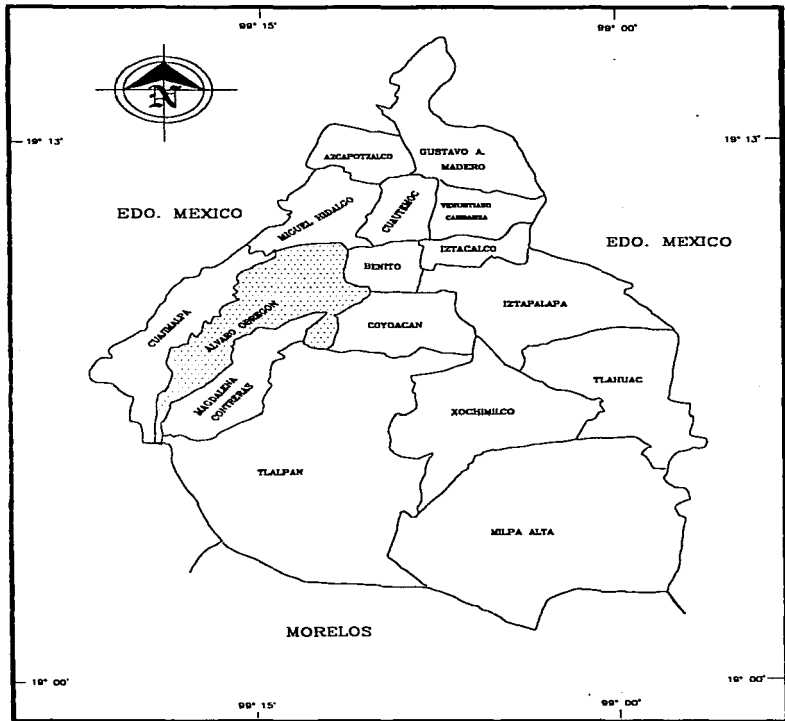
II.1. Localización.

La Delegación Alvaro Obregón se localiza en el poniente del Distrito Federal, (Figura 2). Colinda al norte con las delegación Miguel Hidalgo, en la carretera México-Toluca y Av. Constituyentes; al este limita con las delegaciones Benito Juárez y Coyoacán. Al sur colinda con las delegaciones La Magdalena Contreras, Tlalpan y una pequeña porción del municipio de Jalatlaco del Estado de México y al oeste con Cuajimalpa en los cerros la Palma y San Miguel. El territorio de la Delegación queda enmarcado entre los paralelos 19° 24' y 19°13' norte y entre los meridianos 99° 10' y 99° 19' oeste. Cuenta con una extensión aproximada de 96.17 Km², más de la mitad de la superficie de la delegación es urbana, manteniendo una importante zona rural hacia las partes altas y escarpadas del suroeste (INEGI 1993). Representa el 6.5% de la extensión total del Distrito Federal, lo que la sitúa en el quinto lugar en relación al resto de las delegaciones.

II.2. Fisiografía.

La zona de estudio se localiza dentro de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico, (INEGI, 1981 Quiñones, 1987); dicha provincia ha sido denominada con diferentes nombres como Zona Eruptiva por Ordoñez (1869), Sierra de los Volcanes por Garfías y Chapin (1949), Faja Volcánica Trasmexicana por Mooser y Maldonado (1967), Eje Neovolcánico por Raisz (1969), Eje Neovolcánico por López-Ramos (1976) y Eje Neovolcánico Trasmexicano por Demant (1976); y se denomina en este trabajo como Cinturón Volcánico Mexicano (CVM), (Figura. 3), puesto que como ha sido señalado por varios autores (Mooser 1969, 1972; Venegas-S. Et al., 1985), la forma que presenta esta provincia al cruzar la República Mexicana es bastante irregular, y no se ajusta el término de "eje".

Se describe al CVM como una faja de 20 a 150 Km de ancho, con una orientación general E-W y de aproximadamente 1,000 Km de longitud cortando las principales provincias meso y finiterciarias de México. Se extiende desde el Estado de Nayarit en el occidente de México, hasta el Estado de Veracruz en el oriente, (Mooser 1972; Verma, 1985, 1987). El CVM conforma un conjunto de estructuras y productos volcánicos de edad Oligoceno-Holoceno y ocupa el área continental de la República Mexicana comprendida entre los 19 y 21° de latitud N.



NOTA: Los límites geoestadísticos no necesariamente coinciden con los políticos administrativos.

FUENTE: INEGI, Cartografía Censal, 1990.

FIGURA 2. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.

De esta manera el CVM se encuentra constituido por cerca de 8,000 centros eruptivos Robin (1982), de los cuales los más conocidos son los grandes estratovolcanes (Pico de Orizaba, Popocatepetl, Iztaccihuatl, Nevado de Toluca, Volcán de Colima, etcétera); aunque los más abundantes son los volcanes monogenéticos, siendo el más célebre de todos el volcán Parícutín. En conjunto estos centros volcánicos han dado origen a rocas ígneas de composición que abarca desde basaltos hasta riolitas, siendo los productos volcánicos de composición intermedia (andesitas y andesitas-basálticas) los más abundantes (Robin 1982a).

El relieve comprendido en la zona en estudio está dominado por la elevación montañosa denominada Sierra de las Cruces, que esta ubicada en la parte centro-occidental del CVM. Esta sierra tiene una dirección dominante al noroeste, marca, con sus cimas de más de 3,000 m de altura, la divisoria de la Cuenca de México en su porción occidental. En general, el relieve de la Sierra de las Cruces se puede clasificar en tres niveles altitudinales (Lugo 1990):

El superior, que corresponde a la zona divisoria donde se tiene un amplio desarrollo de volcanes y derrames de lava, del Cuaternario; esta zona está constituida por volcanes compuestos, originados de material cinerítico y lavas intermedias, presentando laderas de pendiente fuerte, de más 12°, altura relativa de 200-400 m con disección moderada, presentan una red radial de barrancos con profundidades de más de 150 m Su composición de lavas intermedias y material cinerítico reflejan una fuerte actividad explosiva y efusiva en su formación. La alineación de los volcanes en dicha sierra es al nororiente, el sistema de fractura más antiguo, corresponde con el que señala Mooser (1975), reiterado por Marín y Aguayo (1989); delimita las principales estructuras fosa y pilar del occidente de la Cuenca de México. Se reconocen otros alineamientos, casi norte-sur al sistema NW (reconocidos por Ortiz y Bocco, 1989). El conjunto de derrames de lava de la Sierra de las Cruces se dispone a manera de un casquete o corona, en forma escalonada. La disección se ha producido por la acción remontante de las cabeceras, aprovechando las porciones más débiles: los contactos entre derrames de lava y las fisuras.

El intermedio, que comprende a las laderas montañosas y el piedemonte, cortado por numerosos valles. Dichas laderas están constituidas de piroclastos, su inclinación es de 12° a 25°, y son cortadas por valles montañosos del orden de 50 m de profundidad, presentando fuertes procesos erosivos en sus laderas y cabeceras, favorecidos por las pendientes, su litología y el clima. Su escasa resistencia a los procesos erosivos provoca un intenso desarrollo de barrancos.

Y el nivel inferior corresponde a la base del piedemonte en su transición a la planicie lacustre. El contacto del piedemonte con la planicie lacustre es marcado por un cambio brusco de pendiente de 12° a 6°, se extiende hacia el oriente, aproximadamente desde los 2,800 msnm hasta cerca del nivel de la planicie lacustre (2,240 msnm). El piedemonte de la Sierra de las Cruces debe haber evolucionado a partir de las acumulaciones de piroclastos que formaron laderas tendidas; la disección de esta superficie y la acumulación de material detrítico en la porción inferior permitía el avance del piedemonte sobre la planicie de nivel de base.

El relieve se ha visto modificado de forma significativa por la interacción de los factores (litología, clima, vegetación y el hombre), siendo el **factor antrópico** de especial importancia debido a la influencia que ha ejercido para acelerar los procesos erosivos. Este factor está caracterizado por la existencia de minas a cielo abierto y por el minado subterráneo que se realizó en la Delegación desde principios de éste siglo hasta los años sesentas, que sirvió para la explotación de materiales de construcción, la cual se vió impulsada por los beneficios económicos que generó en dicha época; éste factor a modificado el relieve creando depresiones de hasta 20 m de profundidad, dejando al descubierto grandes volúmenes de materiales que se erosionan fácilmente. Se crearon también una serie de túneles abandonados que se encuentran en gran parte de la Delegación. La dinámica acelerada, erosión de suelos y rocas de la Delegación se encuentra favorecida por el factor litológico que mantiene condiciones de baja compacidad de los materiales. Otro factor importante es la lluvia la cual tiene precipitaciones cercanas a los 800 mm anuales, las cuales se concentran tan solo en un período de cuatro meses y en el resto del año predominan condiciones de sequedad. Con la llegada de las primeras lluvias, en las minas subterráneas, el material se desprende de forma sumamente fácil, provocando hundimientos y colapsos en zonas habitacionales y en vías de comunicación.

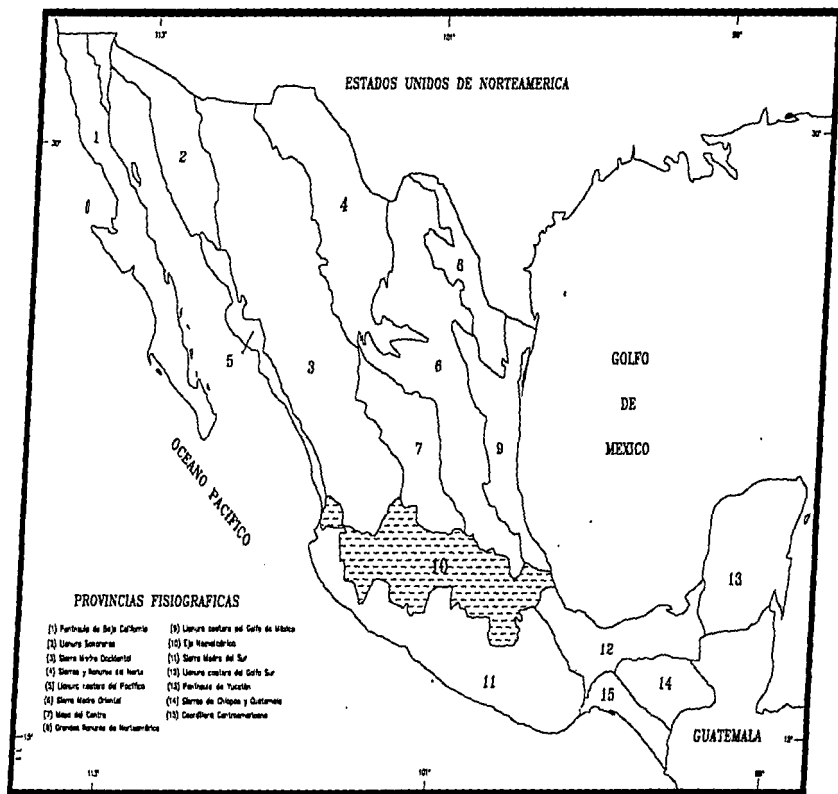


FIGURA 3. PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DE MEXICO (INEGI, 1981; H. QUIÑONES, 1987).

II.3. Vías de comunicación

La zona de estudio se encuentra urbanizada en más de un 90 %, cabe hacer notar la importancia que tiene el relieve en la conformación de los servicios en esta Delegación. En la parte sureste se presenta la mayor intensidad de crecimiento urbano, una alta densidad de población y una extensa red de arterias viales que atraviesan en los cuatro sentidos, vinculándola internamente y con el resto de la ciudad. Al oriente-poniente la cruzan arterias como Miguel Angel de Quevedo, Barranca del Muerto, Vito Alessio Robles, San Jerónimo y Cedros.

La parte sur, noroeste y centro de la Delegación, se caracteriza por ser un área de tierras altas y escarpadas, en esta zona se formaron diversas colonias de niveles medios y bajos como Lomas de Becerra, Alfonso XIII, Molino de Rosas y Olivar del Conde. La presencia de barrancas dispone un crecimiento en dirección casi lineal oriente a poniente, con vialidades estrechas e insuficientes que obstaculizan la integración de las redes viales. Las avenidas que ejercen una mayor importancia para comunicar el área tanto internamente como externamente son El Camino a Santa Fe, Camino a Santa Lucía, Av. Centenario, Calzada de las Águilas, Calzada al Desierto de los Leones, Av. Toluca y Av. de los Constituyentes. La mayoría de estas arterias terminan al entroncar con el periférico. La Av. de los Constituyentes se ubica parcialmente dentro de los límites delegacionales, representa una vía de acceso fundamental para toda la periferia norte de la delegación, (Figura 4). Por último, las tierras altas del sur y occidente de la Delegación, abarcan los poblados de San Bartolo Ameyalco y Santa Rosa Xochiac, estos poblados se comunican por la Calzada al Desierto de los Leones.

II.4. Clima y Vegetación

La zona de estudio queda dentro de la zona de clima templado según E. García (1989), pero presenta variaciones notables debido a los bruscos cambios altitudinales que en ella se presentan.

En la parte baja de la Delegación hasta una elevación de 2,400 msnm se tiene un clima C(w1)(w) (templado, subhúmedo con moderado grado de humedad), con temperatura media anual de 14.9 °C, la máxima media es de 17.5 °C y se presenta en los meses de abril a junio; la temperatura mínima media

corresponde a los meses de diciembre a febrero y alcanza los 10.1 °C. La precipitación media anual es de 816.0 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 7.1 mm.

En la parte media, de 2,400 msnm hasta 3,100 msnm se tiene un clima C(w2)(w) (templado, subhúmedo con alto grado de humedad), con temperatura media anual de 15.5 °C y la media máxima es de 17.0 °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. La precipitación media anual es de 914.0 mm, la media mínima ocurren en los meses de noviembre a febrero y es de 8.2 mm, y la precipitación media máxima de 177.1 mm, se presentan de junio a septiembre.

Finalmente en la parte alta de la Delegación, el clima pasa de templado a semifrío CE(w2)(w) (semifrío, subhúmedo con alto grado de humedad). La temperatura media anual es de 10.7 °C, la media máxima se presenta en los meses de abril a junio y alcanza los 12.0 °C, la temperatura media mínima es de 8.1 °C. La precipitación mínima media anual es de 1,302.0 mm, la precipitación mínima media se presentan en los meses de noviembre a febrero y son en promedio de 1.62 mm, la precipitaciones media máxima ocurren en los meses de junio a septiembre con valores de 246.5 mm.

La vegetación que se encuentra actualmente en la parte baja de la Delegación es escasa, debido al grado de urbanización, consiste en arbustos y árboles que han sido sembrados en las áreas verdes o recreativas. Entre las elevaciones de 2,500 y 3,000 m, se encuentra bosque mesófilo de montaña, cubriendo parte de las laderas y cañadas de la Sierra de las Cruces; en este lugar abundan los musgos, los helechos y trepadoras leñosas de las especies arbóreas, sobresalen el encino, el limoncillo y los pinares bajos. En las elevaciones mayores a los 3,000 m se encuentran los bosques de coníferas, donde predominan encinos y pinares que alcanzan alturas entre los 5 y 12 m.

III. MARCO GEOLOGICO.

III.1. Estratigrafía.

III.1.1. Estratigrafía regional.

El marco estratigráfico que se describe a continuación está enfocado, a las unidades volcánicas y depósitos recientes (aluvión y arcilla lacustre) que conforman a la cuenca de México y regiones circundantes las cuales se observan en la **Figura 5**, en este trabajo no se mencionan las unidades anteriores al Terciario.

Rocas Volcánicas Terciarias: En el Estado de Hidalgo las rocas volcánicas del Terciario Medio se han cartografiado como Grupo Pachuca (Segerstrom, 1962) es un grupo de rocas volcánicas que consiste de sucesiones de derrames lávicos y tobas, sus espesores máximos son del orden de 3,700 m (Gayne et al.). En el Estado de Morelos y áreas circunvecinas de los estados de México y Guerrero, la unidad basal de la secuencia volcánica terciaria media es la Riolita Tizapotala (Fries, 1960) que consiste en derrames piroclásticos de composición riolítica a riódacítica con un espesor máximo de unos 400 m (Cserna et al. 1987).

Al occidente de la cuenca en la Sierra de las Cruces se tienen rocas volcánicas de composición andesítica y dacítica que cubren a la Formación Xochitepec (Mooser, 1956), afloran además en las Sierras de Zempoala, Río Frío y en cerros aislados de la cuenca, sus espesores son del orden de 650 m del Mioceno Superior-Plioceno (Mooser et al., 1974). El Volcán del Ajusco está formado por rocas andesíticas, principalmente derrames de lava. Hacia al sur del Volcán Ajusco se encuentra la Sierra de Zempoala, constituida por la Andesita Zempoala (Fries, 1960), consiste en unos 800 m de derrames de lava interestratificados con material piroclástico y lahares, cuya composición varía desde andesita hasta riódacita.

El límite oriental esta formado por la Sierra de Río Frío, junto con las serranías entre Tepetlaoxtoc y Teotihuacan y la Sierra Nevada estando formada esta última por los macizos volcánicos prominentes del Iztaccihualt y Popocatepetl.

En la serranía que se extiende entre Tepetlaoxtoc y Teotihuacán, así como en la Sierra de Guadalupe que está dentro de la cuenca de México, afloran dacitas en forma de derrames y domos lávicos.

Por lo que respecta a las rocas epiclásticas de esta zona caracterizada por la Formación Tarango (Bryan 1948) consiste en tobas, brecha de toba, grava volcánica que se presenta interestratificadas con lahar y capas de pómez. Estos depósitos constituyen grandes abanicos aluviales antiguos coalescentes alcanzando espesores cercanos a los 500 m, la cual se ubica al occidente.

Al norte dichos depósitos han sido cartografiados como Formación Atotonilco El Grande (Segerstrom, 1962) la cual consiste en toba, brecha de toba y grava volcánica, interestratificada con depósitos de lahar y capas delgadas de pómez.

Al sur esta representa por la Formación Cuernavaca (Fries, 1960) consiste en conglomerado mal clasificado, cuyos clastos están formados por rocas volcánicas primordialmente, embebidos en una matriz tobacéa, forma grandes abanicos aluviales coalescentes.

Rocas volcánicas Cuaternarias: En esta unidad se agrupan las rocas volcánicas de composición andesítica y basáltica del Pleistoceno y Holoceno de la Cuenca de México. El área de mayor extensión está localizada al sur de la Cuenca de México la cual se le conoce como Formación Chichinautzin (Bloomfield 1975 y Martín 1982), es un volcanismo monogenético principalmente estroboliano. Las lavas de esta unidad en general son muy extensas, vesiculares, masivas y su composición es principalmente andesítica-basáltica. El espesor máximo que se le ha asignado es de 1,800 m (Fries 1960) y una edad de 700 000 años (Mooser et al. 1974). Esta unidad cubre discordantemente a casi todas las unidades Cretácicas y del Terciario y se encuentran interdigitadas con depósitos lacustres y aluvión. La segunda área de mayor extensión de rocas volcánicas cuaternarias se localiza al oriente y nororiente de Tizayuca-Atzompa-Texcoco, que se extiende hacia Ciudad Sahagún-Tlaquilpan, y al norte y nororiente de Apan, Hidalgo (Ledezma 1985), las características petrográficas y morfológicas de estas rocas volcánicas son muy semejantes a las de la Formación Chichinautzin, y cubren discordantemente depósitos clásticos y volcánicos del Terciario y Plio-Cuaternario. Además de estas dos áreas, existen conos cineríticos o pequeños derrames de lava, principalmente de composición andesítico-basáltica, como son la Sierra de Santa Catarina.

Depósitos Aluviales: Material clástico fluvial acumulado penecontemporáneamente con sedimentos lacustres y depósitos volcánicos del Cuaternario, Bryan (op cit.) y De Terra (1948). Afloran formando llanuras aluviales al norte y sur de Pachuca, Hidalgo, muestran espesores de 210 m de aluvión (Fries 1962); En la parte norponiente de la Ciudad de México desde Coyotepec hasta San Francisco Chimaipa y al nororiente desde Teotihuacan hasta Tlamanalco, se encuentran extensamente distribuidos, rellenando amplios valles socavados en depósitos piroclásticos y clásticos del Plioceno, así como depresiones tectónicas como el graben de Chalco. Los espesores máximos son de 500 m y se encuentran en el centro de las depresiones y se adelgazan hacia las márgenes de la llanura, el material es poco consolidado compuesto por fragmentos de grava, arena, limos y arcilla, descansan con discordancia encima de los depósitos piroclásticos y clásticos del Plioceno, por su edad cuaternaria se interdigitan con las formaciones volcánicas de su misma edad y con los sedimentos lacustres (Vázquez y Jaimes 1987).

Depósitos Lacustres: Muestra una secuencia piroclástica, basáltica y andesítica de calda con materia orgánica e intercalaciones de arena, turba y suelos, se encuentran en el borde norte de la Sierra Chichinautzin y alrededor de la Sierra de Santa Catarina (Lambert, 1986), estos depósitos se encuentran interdigitados con la Formación Chichinautzin y con los depósitos aluviales, de edad Pleistoceno-Tardío al Holoceno. El origen de los depósitos lacustres está íntimamente relacionado a la obstrucción definitiva del desagüe de la Cuenca de México, causado por la intensa actividad volcánica que edificó la Sierra de Chichinautzin. Estos depósitos forman una gran planicie lacustre, extendida con una altitud promedio de 2,200 m. desde Zumpango hasta Chalco y desde Texcoco hasta el cerro de Chapultepec. Los espesores varían entre 30 y 300 m, los mayores se presentan en los centros de las planicies de la Ciudad de México, Texcoco y Chalco y disminuye hacia las márgenes de las planicies. Los pozos Mixhuca-1, Tulyehualco-1, Roma-1 y P-3 cortaron su base a profundidades correspondientes de 167, 3,078 y 80 m. respectivamente, (Vázquez y Jaimes 1987).

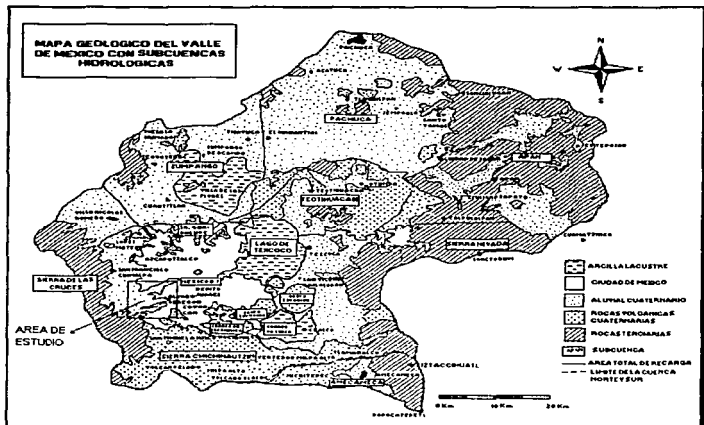


FIGURA 5. MAPA GEOLOGICO SIMPLIFICADO CON INFORMACION HIDROGEOLOGICA DE RECARGA EN EL VALLE DE MEXICO (TOMADO DE Rudolph, 1994)

III.1.2. Estratigrafía local.

Se tienen varios trabajos estratigráficos realizados en la zona de estudio pero ninguno de ellos concuerda de como dividir la secuencia piroclástica. El primer trabajo realizado sobre la estratigrafía del área es el de Bryan (1948), quien estudia paleosuelos en las márgenes de la cuenca y es el primero en establecer unidades estratigráficas empleando un criterio edafológico, basándose en su propia investigación y en los trabajos de Arellano (1953) y De Terra (1948). El denominó como Formación Tarango, a los abanicos de los depósitos pseudoestratificados, conformados por tobas, aglomerados híbridos, grava fluvial de origen volcánico y capas de pómez, depositados en la base de las sierras que limitan la Cuenca de México al oriente y poniente. La Formación Tarango fue definida en la barranca del

mismo nombre al W de la Ciudad de México, donde existían las clásicas minas de "arena Azul" en explotación; aquí fue descrita la localidad tipo definida por Arellano y Bryan (op cit.), ellos dividen la secuencia estudiada en cuatro formaciones, las cuales son: Formación Tarango, y hacia la cima de ésta, las Formaciones Tacubaya, Becerra y Noche Buena.

La Formación Tarango a la que Bryan asignó inicialmente una edad Pleistocénica, actualmente se le considera que comprende desde el Plioceno Superior hasta el Pleistoceno Inferior, ya que infrayace las lavas recientes de la Formación Chichinautzin, (Lozano-García 1989).

Posteriormente, Mooser (1975), dividió la Formación Tarango en dos miembros inferior y superior, la cual se extiende desde San Angel, al sur, hasta la barranca del Río Hondo hacia el norte. Mooser (op cit.), se basó para dividir esta Formación en una discordancia, definida por el abanico volcánico originado por el volcán complejo de San Miguel. La Formación Tarango Inferior representa la acumulación de piroclásticos esencialmente cineríticos y pumíticos, aunque contienen también avalanchas ardientes y lahares con fragmentos andesíticos principalmente. Todo esto forma un abanico pliocénico potente, que sufrió durante un período prolongado tectonismo y erosión, cortándose por consiguiente, barrancas profundas al NE. Según Mooser (op cit.), la característica litológica que más resalta en la Formación Tarango Inferior, es el estado caótico en el cual aparecen depositadas las series piroclásticas, fragmentos angulares de andesita y pómez; se encuentran ligeramente cementados en una matriz de vidrio volcánico color rosa, a menudo alterado, abundan también los horizontes de suelo derivados de la alteración de las cenizas en la parte superior de cada cuerpo durante un lapso sin actividad ígnea.

La Formación Tarango Superior, corresponde a un período final de actividad volcánica, originada en el Pleistoceno, ligada a la formación de una gran caldera. Se produjeron magmas, erupciones de pómez y piroclastos de andesitas, azules y dacitas, las capas de pómez cubrieron una topografía ondulada sobre grandes distancias; los piroclastos acabaron de rellenar las barrancas profundas, sobre todo la de Santa Fé, con potentes espesores de lahares y aglomerados ígneos que hoy constituyen las minas de arena azules; estos depósitos se definieron como Tarango Superior. Mooser et al. (1986), indican que resulta inadecuado el empleo

de las Formaciones Tacubaya y Becerra ya que no se prolongan de las Lomas, al relleno aluvial, además unifica en una sola unidad a la Formación Tarango.

Por otra parte Sánchez (1987), basándose en el conocimiento de los diversos eventos volcánicos, y litológicos, establece una columna estratigráfica donde la divide en quince horizontes e ilustra la superposición de los depósitos piro-sedimentarios que conforman la Formación Tarango; también realiza, la descripción de cada uno de estos horizontes, nombrándolos y simbolizándolos con base en sus diferencias con otros horizontes parecidos, pero que se ubican en diferente posición estratigráfica. Este trabajo comprende una superficie de 1.65 Km encontrándose a 2.5 km al suroeste del metro Observatorio entre las avenidas Vasco de Quiroga y Santa Lucía.

Campos y Silva (1994), trabajando en la zona de estudio, midieron alrededor de veinte columnas estratigráficas, elaboraron además una carta geológica (Figura 6) la cual cubre todo el territorio de la Delegación Alvaro Obregón, y en base a está información construyeron cuatro secciones geológicas, expresando las relaciones de superposición y las características litológicas de las secuencias ahí expuestas.

De acuerdo con los datos obtenidos ellos definen que estas unidades de roca expuestas no guarda estrictamente una superposición a lo largo de toda el área, expresan que los lomeríos y cañadas de la zona de riesgo por minado subterráneo y por la modificación de las condiciones naturales del relieve, están conformadas a partir de cuatro unidades que se describen a continuación, según lo reportado por dichos autores: "La unidad más antigua consiste en una secuencia piroclástica y epiclástica compuesta principalmente por intercalaciones de conglomerados y brechas con fragmentos volcánicos de andesita y pómez de tamaños de 2 mm a 5 cm, embebidos en una matriz areno-arcillosa con poco grado de cohesión, las áreas de exposición de está unidad están restringidas a las partes bajas de las zonas de lomeríos y en la parte central del área Delegación".

"Sobre está unidad se observa un segundo paquete de rocas piroclásticas probablemente como rellenos de canales fluviales que consiste de material volcánico piroclástico y volcanosedimentario, compuesto principalmente de arenas pumíticas de tamaños variados con espesores que no sobrepasan los 2 m, tobas arenosas de grano medio y arcillas, estas últimas tienen espesores que no sobre pasan los 2 m pero que en conjunto llegan a sumar espesores mayores a los 15 m,

todas son de composición silícica y es el material que ha sido explotado en diversas partes de la Delegación y en muchas partes propiciaron la explotación subterránea por su poca consolidación y facilidad de extracción".

La tercera unidad cubre está, compuesta "de lahares, unidad más joven, pero están ampliamente expuestas en las cañadas y en el sector central de la Delegación, también restringida a los canales fluviales, consiste de una acumulación caótica de fragmentos de roca volcánica andesítica principalmente con esporádicos fragmentos de pómez; los fragmentos tienen diámetros entre 3-10 cm; son en su mayor parte subangulosos a subredondeados". "La cuarta unidad presenta una extensión tentativa generalizada a todos los lomeríos y consiste en una intercalación de tobas con horizontes de suelos."

A continuación se muestra las cuatro columnas descritas con el propósito de observar las diferencias y/o concordancias entre ellas, (Figuras. 6 y 7), además se muestra en la Figura 8 el mapa geológico del área de estudio (Tomado de Campos-Silva 1994), con la ubicación de cada una de las columnas.

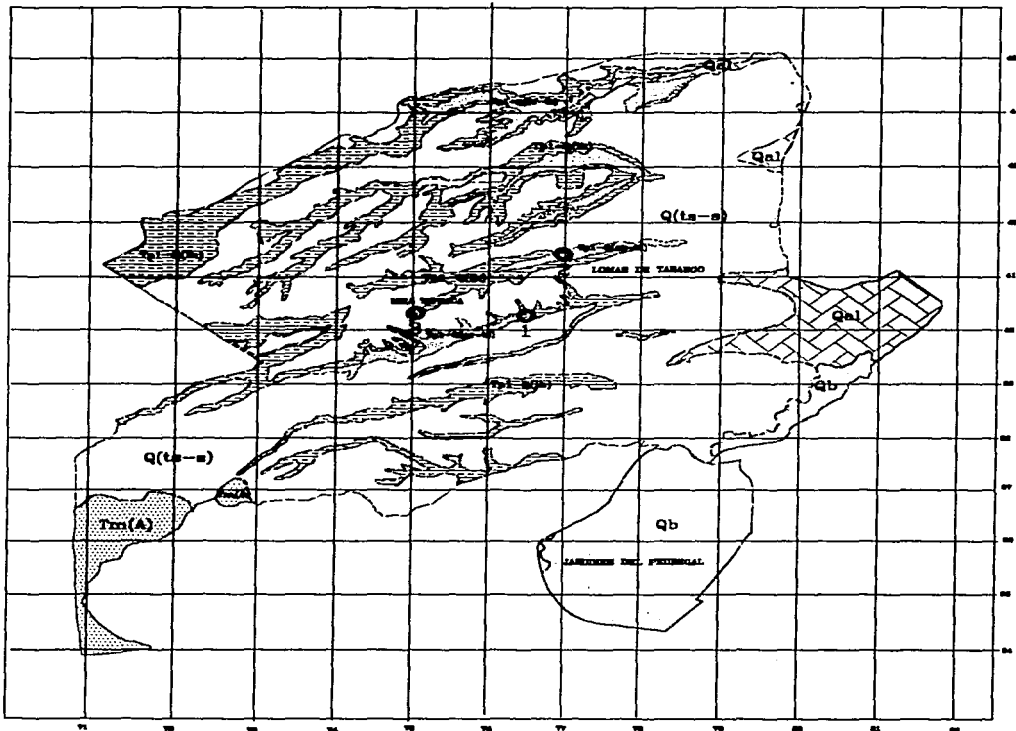
En los trabajos mencionados con anterioridad se observa que todos los autores han empleado criterios litoestratigráficos diferentes para dividir a la secuencia piroclástica y nombrarla. Este es uno de los principales problemas que se tiene en la zona de estudio ya que se cuenta con una gran cantidad de descripciones para definir a una sola unidad. Será necesario que en próximos estudios, se realice una recopilación de toda la información existente en el área y elaborar una nomenclatura, de manera que se unificaran todos los criterios existentes.

MARCO GEOLOGICO

III.2. Geología histórica

La Cuenca de México está situada en el CVM entre los meridianos 98° 15' y 99° 30' y los paralelos 19° 00' y 20° 15'. De contorno irregular, la cuenca está alargada de norte a sur, con una extensión amplia hacia el norte. Su eje mayor mide unos 110 Km; y su eje menor mide 80 Km, cubre un área de unos 9 600 Km². Está limitada por, la Sierra de Guadalupe, Tepetzotlán y Pachuca al norte, la Sierra del Río Frio y Nevada (incluyendo los estratovolcanes Popocatepetl e

COLUMNA GEOLOGICA



MATERIAL ALUVIAL CONSTITUIDO POR ARENAS Y SUELOS



UNIDADES DE ROCAS VOLCANICAS DE COMPOSICION ANDESITICA Y BASALTICA



UNIDAD AMPLIAMENTE EXPUESTA EN LAS CAÑADAS Y EN EL SECTOR CENTRAL DE LA DELEGACION



UNIDAD MAS ANTIGUA CONSISTE EN UNA SECUENCIA PIROCLASTICA Y EPICLASTICA COMPUESTA PRINCIPALMENTE POR INTERCALACIONES DE CONGLOMERADO Y BRECHAS CON FRAGMENTOS VOLCANICOS DE ANDESITA Y POZOS



UNIDAD TIPO LAHAR (MATERIAL VOLCANICO TRANSPORTADO POR AVALANCHAS) RESTRIENDIDO A LOS CANALES FLUVIALES, CONSISTE DE UNA ACUMULACION CAOTICA DE FRAGMENTOS DE ROCAS VOLCANICAS DE COMPOSICION ANDESITICA



PAQUETE DE ROCAS PIROCLASTICAS PROBABLEMENTE COMO RELLenos DE DE CANALES FLUVIALES QUE CONSISTE DE MATERIAL VOLCANICO PIROCLASTICO Y VOLCANOCEDIMENTARIO



UBICACION DE LAS COLUMNAS GEOLOGICAS

ESCALA 1:10,000

UNAM	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
ROMERO ESTRADA ALMA SILVIA	
FIGURA 8	MAYO 1998

CORRELACION LITOESTRATIGRAFICA DE COLUMNAS

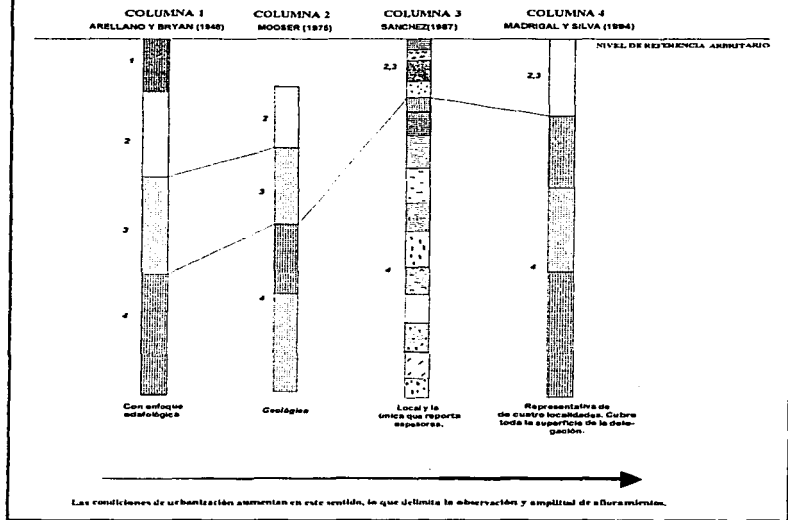


FIGURA 6. CORRELACION LITOESTRATIGRAFICA DE LAS COLUMNAS EXISTENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Iztaccihuatl) al este, Chichinautzin al sur y el Volcán Ajusco y la Sierra de las Cruces al occidente, (Figura 5).

Su historia geológica se caracteriza por estar conformada principalmente por rocas volcánicas y sedimentarias que son el resultado de procesos geológicos, volcánicos, y tectónicos que se inician en el Terciario Medio a mediados del Oligoceno (Mooser 1975). Los estudios geológicos realizados y la

COLUMNA 1	COLUMNA 2	COLUMNA 3	COLUMNA 4
ABRELLANO Y SANAHU (1888)	BOGOTAN (1877)	BANQUEZ (1877)	CAMPES DE BELVA (1894)
LOCALIDAD TIPO (BARANCA TARANDAC)	LOCALIDAD TIPO (BARANCA TENDAC)	LOCALIDAD TIPO (BINA TEPEACA)	
Formación Rochas Puzos. Constituye en su base de granito con mármol de color rojo, Psidracio.	Tuata Botero y. Constituye en su base granítica, arenosa, arenosa y de color rojo y se levanta de un nivel por encima de los estratos de arenosa.	Granito. Constituye en su base granítica, arenosa, arenosa y de color rojo y se levanta de un nivel por encima de los estratos de arenosa.	Unidad de las lavas graníticas, basálticas, andesitas, breccias y de lavas con horizontes de cenizas.
Formación Boleto. Constituye en su base granítica, arenosa, arenosa y de color rojo y se levanta de un nivel por encima de los estratos de arenosa.	Nuevo Tadolero. Constituye en su base granítica, arenosa, arenosa y de color rojo y se levanta de un nivel por encima de los estratos de arenosa.	San José Tadolero. Constituye en su base granítica, arenosa, arenosa y de color rojo y se levanta de un nivel por encima de los estratos de arenosa.	Unidad de las lavas graníticas, basálticas, andesitas, breccias y de lavas con horizontes de cenizas.
Formación Tadolero y. Constituye en su base granítica, arenosa, arenosa y de color rojo y se levanta de un nivel por encima de los estratos de arenosa.	Tadolero y. Constituye en su base granítica, arenosa, arenosa y de color rojo y se levanta de un nivel por encima de los estratos de arenosa.	Unidad de las lavas graníticas, basálticas, andesitas, breccias y de lavas con horizontes de cenizas.	Unidad de las lavas graníticas, basálticas, andesitas, breccias y de lavas con horizontes de cenizas.
Formación Tadolero y. Constituye en su base granítica, arenosa, arenosa y de color rojo y se levanta de un nivel por encima de los estratos de arenosa.	Tadolero y. Constituye en su base granítica, arenosa, arenosa y de color rojo y se levanta de un nivel por encima de los estratos de arenosa.	Unidad de las lavas graníticas, basálticas, andesitas, breccias y de lavas con horizontes de cenizas.	Unidad de las lavas graníticas, basálticas, andesitas, breccias y de lavas con horizontes de cenizas.

FIGURA 7. DESCRIPCION DE CADA UNA DE LAS COLUMNAS DE LA DELEGACION ALVARO OBREGON.

perforación de nueve pozos profundos de exploración, de los cuales ocho fueron efectuados por PEMEX en el D.F., y uno (denominado Texcoco No 1) fue construido en la parte central del ex-lago del mismo nombre, ponen de manifiesto que antes que se formaran las grandes sierras que limitan la cuenca, en la región se encontraban secuencias sedimentarias calcáreas y arcillosas del Cretácico.

Las capas más antiguas pertenecen a la secuencia mesozoica (depósitos marinos del Cretácico), que se correlacionan con las expuestas en el Estado de Morelos, las cuales se extienden por debajo de los depósitos volcánicos para reaparecer en la región de Tula, Hidalgo. Consisten de estratos de calizas, areniscas y lutitas. Las rocas que las cubren se acumularon después del cambio de un régimen tectónico de levantamiento activo desde el Terciario Medio, un régimen tectónico tensional con hundimiento. En el intervalo Eoceno-Oligoceno

ocurrió un intenso fallamiento normal acompañado de sedimentación clástica continental sobre las partes bajas de la nueva topografía.

Entre el Terciario Medio y el Holoceno ocurrieron cuatro diferentes eventos de volcanismo en la región:

El más antiguo, originó a la Formación Xochitepec la cual forma las bases de las Sierras Mayores al este y oeste, así como las elevaciones andesíticas del Cerro del Peñón de los Baños, Cerro del Tigre, Sierra de Tezontlalpan, Cerro de Santa Isabel, los islotes del Cerro de Tlapacoaya, Zacatepec y Chapultepec. La Formación Xochitepec, está afectada por dos sistemas de fracturas y fallas. Uno, el más antiguo, corre de SW a NE; el otro subsecuente, corre de SE a NW. Ambos sistemas han creado hundimientos escalonados, así como fosas y pilares. El segundo lapso desarrollado a fines del Mioceno, formó las sierras de Pachuca, de Tepozotlán, de Guadalupe, del Patlachique y de Tepozán. Consisten en estrato-volcanes menores y medianos de composición andesítica y dacítica así como el emplazamiento de varios domos de lava dacíticos. El conjunto de estas sierras constituyen el Grupo de las Sierras Menores y que obstruyeron parcialmente el drenaje hacia el NE y SW. Estos edificios volcánicos formados hace 12 o 14 m. a. (Mooser 1975), a diferencia de grupo anterior, aún conservan sus formas cónicas originales, aunque parcialmente erosionados; existen además otras estructuras ígneas como los domos dacíticos de los cerros Tenayo y Chiquihuite al sur de la Sierra de Guadalupe, (Figura 9).

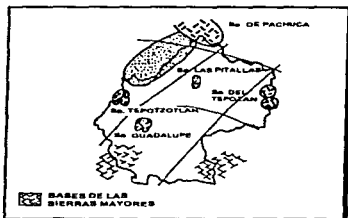


FIGURA 9 LA CUENCA DE MEXICO EN EL MIOCENO SUPERIOR (MOOSER, 1975)

El tercer evento a fines del Mioceno y hasta el Plioceno Inferior, se formaron las Sierras Mayores, que fijan a su vez los límites poniente y oriente de la Cuenca de México. Estas sierras (Sierra de las Cruces, Nevada y Río Frío), (Figura 10); son el producto de efusiones sucesivas de andesitas y dacitas a través de estrato-volcanes, conos cineríticos y derrames, que crearon también extensos abanicos de epiclásticos y volcánicos formados en este mismo tiempo; de manera asociada se formaron las lomeríos al pie de las sierras, las cuales se constituyen de rocas de la Formación Tarango, representada por los depósitos piroclásticos contemporáneos a las erupciones de los distintos eventos de estas sierras. Las lavas de estos volcanes son de textura porfídica, intercalados con grandes volúmenes de piroclastos, tras violentas emisiones de tobas que se depositaron horizontalmente en grandes extensiones; también se formaron

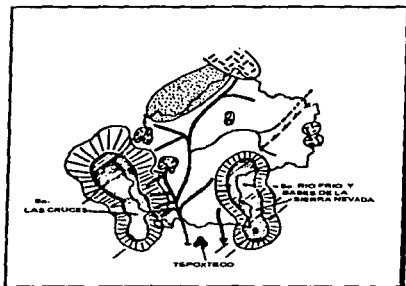


FIGURA 10 LA CUENCA EN EL PLIO-PLIEISTOCENO (MOOSER, 1975)

lahares e ignimbritas, que fluyeron por las barrancas hasta el pie de las Sierras Mayores. Todos estos depósitos formaron abanicos volcánicos y aluviales, que fueron afectados en su primera parte por el tectonismo con dirección hacia el NE. Por esta razón, la mayoría de las barrancas que surcan las lomas mantienen esta dirección. Hacia fines del Plioceno cambió el régimen tectónico, se formaron fracturas dirigidas esencialmente W-E. Uno de los primeros productos de este vulcanismo, fue probablemente el volcán Ajusco, a este período corresponden

también las lavas andesitas basálticas, en las que se incluyen los cerros de la Estrella, Chimalhuacán, Los Pinos, del Marques y Chiconautla.

El último proceso de volcanismo en la región está representado por las primeras lavas del Iztaccíhuatl; así como el Grupo Chichinautzin (volcanismo monogenético desarrollado durante el Pleistoceno Tardío y el Holoceno), de naturaleza estromboliana. Los conos de escoria y de lava que fueron formados en este período constituyen a los diferentes unidades del grupo Chichinautzin con un volumen aproximado de 1000 Km³ (Delgado 1994), de lava, está serie caracterizada en la superficie por más de 120 conos cineríticos obstruyó el antiguo y último drenaje de la cuenca hacia el sur, creando así una cuenca cerrada. De manera superpuesta a la Sierra Nevada, se desarrollaron los glaciares del Iztaccíhuatl y el gran cono del Popocatepetl, (Figura 11).

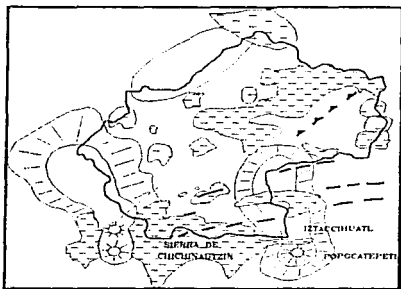


FIGURA 11 VULCANISMO DEL PLEISTOCENO (MOOSER, 1975)

Las partes bajas entre las sierras y particularmente en la región central, predominan las formaciones lacustres constituidas por cenizas volcánicas, intercaladas con pómez, arenas finas, limos y arcillas. A medida que se rellenaba más y más la cuenca fueron apareciendo lagos principalmente en las partes centrales bajas y en el sur (Figuras 12 y 13).

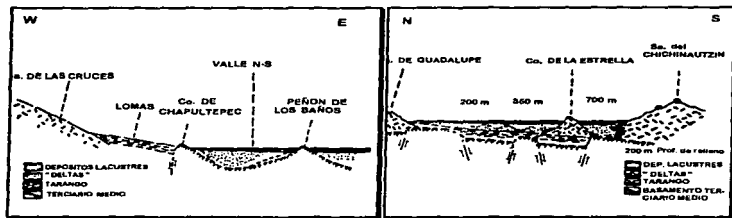


FIGURA 12 SECCION OESTE-ESTE, ATRAVES DE LA CIUDAD DE MEXICO (MOOSER, 1975)

FIGURA 13 SECCION NORTE-SUR EN EL OESTE DE LA CIUDAD DE MEXICO (MOOSER, 1975)

III.3. Tectónica y Estructural.

III.3.1. Tectónica.

El hablar de la tectónica de la Cuenca de México (CVM) lleva a establecer diferentes hipótesis para tratar de explicar la geodinámica que la afecta. El CVM se considera como parte de la cadena volcánica Circum-Pacífica, cinturón que no es paralelo a la zona de subducción (Fosa Meso-Americana, FMA), como lo son las demás provincias volcánicas que pertenecen a dicha cadena, sino que forma un ángulo de alrededor de 15° con respecto a la FMA (Molnar y Sykes, 1969). Por consecuencia, la distancia entre las estructuras volcánicas del CVM y la FMA varía de 150-220 Km en el oeste a 350-500 Km en el este (Robin, 1982b, 1986; López-Ramos y Sánchez-Mejorada, 1976). Debido a esta oblicuidad tan singular del CVM, se han propuesto una gran cantidad de modelos tectónicos para explicar su origen y evolución, sin haberse desarrollado hasta el momento un modelo de evolución que sea aceptado por la mayoría. Estos modelos se pueden separar en tres grupos:

1) Modelos relacionados con grandes fallas

"Dentro de este grupo, se encuentra la primera hipótesis desarrollada para explicar la alineación de los grandes volcanes del CVM, la cual fue propuesta por Alexander von Humboldt (Humboldt, 1808, citado en Verma, 1985; Humboldt, 1867, citado en Mooser, 1972), quien propuso la existencia de una fractura cortical que disectaba a la República Mexicana a lo largo del paralelo 19° N desde el Golfo

de México hasta el Océano Pacífico. Con el descubrimiento de la gran falla de transformación de la Dorsal del Pacífico Oriental (DPOr), denominada Fractura Clarión (Menard, 1955), se revivió la idea planteada por Humboldt proponiéndose que el vulcanismo del CVM representaba la extensión continental de esta falla de transformación. Además, Mooser y Maldonado-Koerdell (1961) propusieron otro alineamiento (Línea Chapala-Acambay), el cual fue considerado como la extensión continental de una falla perteneciente al sistema de fallas de transformación del Golfo de California, y que junto con la extensión continental de la Fractura Clarión, producía el fracturamiento y vulcanismo del CVM. Posteriormente Mooser (1969) propone un mecanismo de "calentamiento diferencial de la corteza". Asimismo, para Gastil y Jensky (1973), el CVM representa la prolongación continental del sistema de falla de transformación del Golfo de California.

2) Modelos relacionados con la subducción de placas oceánicas

"Con el desarrollo de la teoría de la tectónica de placas, se han propuesto varios modelos que consideran al magmatismo del CVM estrechamente relacionado a los procesos de subducción que se llevan a efecto frente a las costas mexicanas en el Océano Pacífico a lo largo de la FMA. De esta manera, Mooser (1972) considera al CVM como una antigua zona de debilidad o "geosutura", la cual ha sufrido una reapertura desde el Terciario Medio. Por otra parte, Urrutia y del Castillo (1977), tratan de explicar la falta de paralelismo del CVM con la FMA por medio de un modelo que involucra una disminución constante en el ángulo de subducción unido a un incremento en la velocidad de hundimiento, de oeste a este, de la placa de Cocos debajo de la placa de Norteamérica. Dematt (1978, 1981), (Figura 14), trata de explicar la oblicuidad del CVM haciendo una distinción entre el marco estructural y los procesos de subducción que, en su opinión dan origen a dicho magmatismo. En general, existen otros autores que vinculan directamente al magmatismo del CVM con los mecanismos de subducción que se efectúan entre la Placa Norteamericana y las de Rivera y Cocos (Molnar y Sykes, 1969; Dematt y Robin, 1975; Pichler y Weyl, 1976; Pal y Urrutia Fucugauchi, 1977; Hanus y Vanek, 1978; Negendank et al., 1981; Robin, 1982a)".

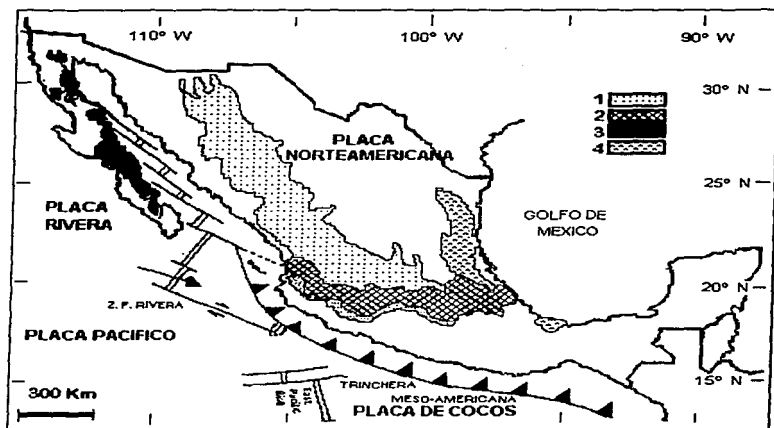


FIGURA 14. MARCO TECTÓNICO GENERAL (subducción de placas) y provincias volcánicas. 1) Sierra Madre Occidental. 2) Cinturón Volcánico Mexicano. 3) Provincia Volcánica de Baja California. 4) Provincia Alcalina del Este. (Delgado, 1994)

3) Modelos relacionados con un rompimiento (rifting) continental

"Existen varios autores que involucran un proceso de rompimiento continental, ya sea junto con un proceso de subducción o independiente de éste, para explicar el magmatismo del CVM. De esta manera, basados sobre estudios sísmicos, Shurbet y Cebull (1984) postulan que el CVM es en gran parte independiente de los procesos de subducción, y que en realidad representa el límite septentrional no completamente desarrollado (posible abortado) de una microplaca en desarrollo. De esta forma, Robin (1976b, 1982a, 1982b) propone un modelo que involucra un rompimiento continental a lo largo de la planicie costera del Golfo de México junto con los procesos de subducción. Por otra parte, Allan (1984) y Luhr et al. (1985) postulan la existencia de un proceso de rompimiento continental actualmente activo en la parte occidental del CVM, al cual le atribuyen la formación de los grábenes de Tepic, Chápala y Colima".

III.3.2. Estructural.

Mooser (1975), considera que las rocas volcánicas del Terciario Medio de la Cuenca de México, están afectadas por dos sistemas de fallas. Uno, el más antiguo, corre de SW a NE; el otro y subsecuente, corre de SE a NW. Ambos sistemas han creado hundimientos con desarrollo fosas.

De acuerdo con Vázquez-Sanches y Jaimes-Palomera (1989), en la Sierra de las Cruces existe una serie de fallas normales que cortan las formaciones volcánicas del Mioceno, Plioceno y Cuaternario, y que en consecuencia, su edad es plio-cuaternaria, presentan un rumbo preferencial de este-oeste, pero se observan fallas dirigidas tanto al noroeste como al noreste

De Cserna (1988), considera la existencia de ocho fallas mayores en el tramo central de la vertiente oriental de la Sierra de las Cruces, las cuales fueron interpretadas en función de un conjunto de epicentros de sismos locales, ocurridos durante el periodo comprendido entre 1952 y 1985 de baja magnitud y de profundidad somera, con rumbo general N 55° E y con longitud promedio de 11 Km, estas fallas son: Falla Río Hondo, Falla Hipódromo, Falla Santa Fe, Falla Contadero, Falla Atzoyapán, Falla Puente Colorado, Falla Texcalatlaco y Falla Conteras, de las cuales las últimas siete se encuentran dentro del perímetro de la Delegación Alvaro Obregón, (Figura 15).

IV. HIDROGEOLOGÍA

En el documento elaborado por el D.D.F. através de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), (1986). Manual técnico de diseño, construcción, operación y mantenimiento de pozos en las cuencas de México y del Alto Lerma", muestra un mapa de zonificación geohidrológica de la Cuenca de México. En dicho mapa, la superficie de la Delegación Alvaro Obregón queda comprendida en la región geohidrológica IV, que ocupa solamente la elevación 2 300 m.s.n.m., hacia la planicie y en esa pequeña franja descrita en este trabajo se menciona que a las rocas de la Formación Tarango se les confirió una permeabilidad baja y como acuíferos se les clasificó en la categoría de bajo rendimiento. Reportan además una elevada porosidad de los estratos de la formación y su importancia como zona receptiva de recarga del agua de lluvia del occidente al acuífero de la cuenca. Esta es la única información hidrogeológica

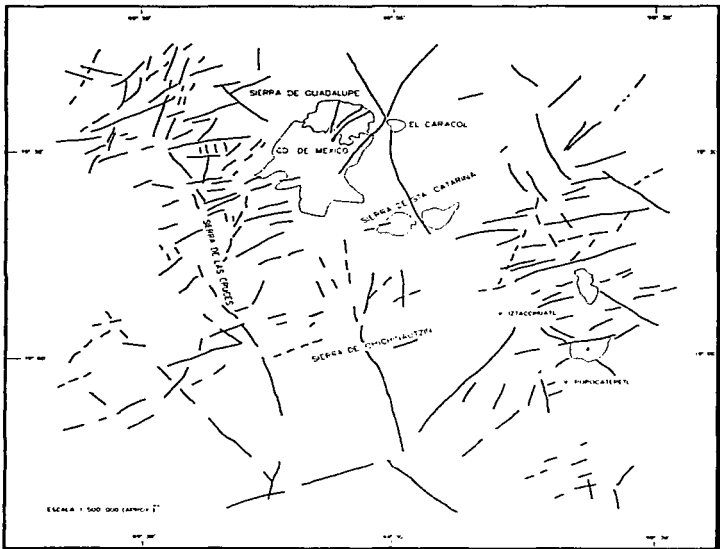


FIGURA 15. PRINCIPALES ALINEAMIENTOS EN LA REGION CIRCUNDANTE A LA CUENCA DE MEXICO, A PARTIR DE UNA IMAGEN LANDSAT. (CSERNA, 1988).

existente en la literatura, a continuación se muestra dicho mapa (Figura 16). En el presente trabajo, se amplía el estudio referido a la zona IV dentro de los terrenos de la delegación y se hace el análisis de todo el territorio de la Delegación.

IV.1.Unidades Hidrogeológicas

Tomando como base los estudios estratigráficos de Sanchez (op cit.), Campos y Silva (op cit.), se tomaron datos geológicos e hidrogeológicos en campo, para definir las unidades hidrogeológicas. Debe hacerse la aclaración de que las conclusiones obtenidas al respecto, son consecuencia fundamental de observaciones de campo.

Unidad A (escombros y basura)

Esta unidad que no mencionan ni Sanchez (op cit.) ni Campos y Silva (op cit.), está formada por basura doméstica e industrial así como desechos de construcción, es de color pardo oscuro, con fragmentos de roca variable que van desde pedazos de concreto hasta grava, plásticos, botellas, vidrios, basura orgánica, madera y todo lo que se pueda utilizar para rellenar o nivelar el terreno donde viven, presentando un grado de compactación bajo, sus espesores son variables.

Unidad B (Suelos)

Esta unidad incluye a los horizontes de suelos (Tacubaya, Becerra y Totolsingo) para Sanchez (op cit.) y a la unidad de Tobas y Suelos para Campos y Silva (op cit.). Consiste en horizontes tobáceos con suelo, que fueron erosionados, redepositados y sometidos a distintos grados de meteorización, su color varía de pardo claro a pardo oscuro conteniendo capas de caliche hacia la superficie, se observan algunos clastos, dacíticos y andesíticos subangulosos e intemperizados hacia su base. El espesor de esta unidad es particularmente variable, debido a la exposición de los agentes atmosféricos. Los afloramientos de esta unidad litológica se localizan en las partes altas de las lomas, disminuyendo notablemente su potencia hacia las barrancas.

Unidad C (Tobas limo-arenosas)

Esta unidad queda comprendida en lo que Campos y Silva (op cit.), llaman unidad de material Piroclástico y Vulcanosedimentario. La toba limo-arenosas es de color pardo oscuro bien compacta, sus tamaños varían de arena gruesa a arena fina, bien clasificados, de subangulosos a subredondeados, embebidos en

una matriz arcillosa, con presencia de escasos clastos de roca dacítica distribuidos caóticamente y con poco grado de redondeamiento, en esta unidad se han encontrado impresiones de fósiles, troncos algunas veces carbonizados, el espesor promedio es de 1.5 m.

Unidad D (Toba pumítica)

Esta unidad se encuentra al igual que la anterior en la unidad de material Piroclástico y Vulcanosedimentario de Campos y Silva (op cit.). Es una toba pumítica de grano grueso a medio, bien clasificada, el tamaño de los fragmentos varía de grava gruesa a arena fina, subredondeados de color blanco, es disgregable debido a la ausencia de matriz; el espesor promedio de esta unidad es constante en toda el área, 2.5 a 2 m., esta característica permitió que la unidad fuera la más explotada en el área.

Unidad E (Lahar)

Esta unidad está intregada por lo que Sanchez (op cit.), llamó (Aglomerados y Lahar). Está constituida por clastos de roca ígnea extrusiva (andesitas, riocacitas y dacitas), mal clasificado, sus fragmentos varían entre bloques y arena gruesa, son subangulosos a subredondeados, emplazados en una matriz areno-limosa de grano fino, su color es gris oscuro. Estos depósitos hacia su base son más compactos y se observa una disminución notable de matriz, aflora en toda el área de estudio con un espesor promedio de 3 m, tendiendo a disminuir al alejarse de la sierras donde fue originado. Esta unidad está siendo explotada en minas a cielo abierto (Mina Coyote, Av. Centenario s/n), actualmente para la obtención de grava y arena.

Las características granulométricas de un suelo pueden expresarse por un término numérico indicativo de algún tamaño de grano característico y del grado de uniformidad. Hazen (1892), encontró que la permeabilidad en arenas uniformes con diámetro efectivo comprendido entre 0.1 y 3 mm, en estado suelto, depende de dos cantidades que denominó diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad. El diámetro efectivo D_{10} es el tamaño de partícula que corresponde al 10% en la curva granulométrica, de modo que el 10% de las partículas son más finas que D_{10} y el 90% más gruesas. El coeficiente de uniformidad U es igual a D_{60}/D_{10} en que D_{60} es el tamaño de partículas que corresponde a 60%.

A partir de los trabajos de Hazen (op cit.), se admite que la permeabilidad de un suelo depende en primera aproximación del coeficiente de uniformidad y del diámetro D_{10} .

Prácticamente todos los métodos del tipo de estudio siguen la fórmula de Hanzen (op. cit):

$$K = C \times D_{10}^2 \quad (1)$$

en donde:

K es el coeficiente de permeabilidad buscado (en cm/seg).

C = a una constante igual a 116 y es un promedio de las experiencias efectuadas por Hanzen.

Hazen (op cit.), modifica la fórmula anterior quedando de la siguiente manera :

$$K = \left[\frac{0.7 + 0.03(t)}{86400} \right] C D_{10}^2 \quad (2)$$

siendo t la temperatura en °C.

Otros investigadores han propuesto otras fórmulas de correlación. Schlichter, por ejemplo tomó en cuenta, además de la temperatura, la compacidad en la siguiente expresión:

$$K = 771 \frac{D_{10}^2}{C} (0.7 + 0.03)(cm / seg) \quad (3)$$

c es una función de n que corresponde a los valores mostrados en la tabla 1.

TABLA 1

$n = 0.26$	0.38	0.46
$c = 83.4$	24.1	12.8

Terzaghi da para suelos arenosos una expresión:

$$K = C_1 D_{10}^2 (0.7 + 0.03t)(cm / seg) \quad (4)$$

donde: $C_1 = C_0 \left(\frac{n - 0.13}{\sqrt{1 - n}} \right)^2$

en donde n es la porosidad y C_0 un coeficiente con los valores indicados en la **Tabla 1 y Tabla 2**.

TABLA 2

Arenas de granos redondeados	$C_0 = 800$
Arenas de granos	$C_0 = 460$
Arenas con limos	$C_0 = < 400$

Las fórmulas anteriores suponen que el coeficiente de permeabilidad es directamente proporcional al cuadrado del diámetro efectivo, sin embargo, esta afirmación se ha revelado como discutible, sobre todo en cierto tipos de suelo. Otros autores han propuesto exponentes diferentes (Knappen, 1.28; Dore, 2.26; Turnbull, 1.5, etc.). Es necesario decir que todas estas fórmulas son o han sido desarrolladas para suelos, y que en nuestro caso son depósitos piroclásticos, a los que se les aplicó dicho estudio.

Para la Unidad C (Tobas limo-arenosas) y la Unidad D (Toba pumítica), se tomaron muestras de campo, con la finalidad de observar el intervalo de tamaños de partículas de dichas muestras y así obtener datos cualitativos acerca de su permeabilidad intrínseca elaborando en ambos casos sus curvas granulométricas correspondientes (**Figuras 18 y 19, Tablas 3 y 4 respectivamente**). De estas curvas se obtuvieron los parámetros D_{10} , D_{30} y D_{60} . El parámetro de D_{10} se sustituyó en la fórmula (2), los datos obtenidos fueron:

La curva granulométrica para la toba limo-arenosa representa un material bien graduado, conteniendo un intervalo amplio de tamaño de partículas, que van desde arena gruesa hasta limo fino, esta muestra se clasificó como una arena limosa bien graduada.

Los valores de permeabilidad obtenidos con la fórmula (2) son:

$C =$ puede tomar los valores de 1200 y 1000.

$$K = \left[\frac{0.7 + 0.03(10)}{86400} \right] (1200 \cdot r(0.02)^2) = 0.2 \cdot r 10^{-4} \frac{cm}{seg}$$

$$K = \left[\frac{0.7 + 0.03(10)}{86400} \right] (1000 \cdot r(0.02)^2) = 0.17 \cdot r 10^{-4} \frac{cm}{seg}$$

De los resultados obtenidos se observa que que el material es poco permeable.

Para la toba pumítica su curva granulométrica representa un material bien graduado, con un intervalo de tamaños de partículas que van desde grava media hasta arena fina y se le clasificó como arena-gravosa.

Los valores de permeabilidad obtenidos con la fórmula (2) son:

$$K = \left[\frac{0.7 + 0.03(10)}{86400} \right] (1200 \times (0.28)^2) = 3.35 \times 10^{-3} \frac{cm}{seg}$$
$$K = \left[\frac{0.7 + 0.03(10)}{86400} \right] (1000 \times (0.28)^2) = 4.03 \times 10^{-3} \frac{cm}{seg}$$

De los resultados obtenidos se observa que que el material es moderadamente permeable.

Como se ha descrito anteriormente, la mayor parte de las rocas que se presenta en la región, están constituidas por piroclásticos y vulcanosedimentarios, aproximadamente el 80%, así como en grado mínimo de suelos, escombros y basura. Las características físicas de estas rocas han sido determinadas megascópicamente (Tabla 5). Con base en los conceptos anteriores, se determinan las características hidrogeológicas de las unidades definidas.

TABLA 5

Unidad hidrogeológica	Permeabilidad	Infiltración
A) Escombros y basura	permeable	alta capacidad de infiltración
B) Suelo	permeable	baja capacidad de infiltración
C) Toba limo-arenosa	permeable	alta capacidad de infiltración
D) Toba pumítica	permeable	alta capacidad de infiltración
E) Lahar	impermeable	poca capacidad de infiltración

TABLA 3

ANALISIS GRANULOMETRICOS

MUESTRA No. 1

TOBA LIMO-ARENOSA

LOCALIDAD

PESO TOTAL DE LA MUESTRA:

PESO ANALIZADO EN TAMICES:

Mina Coyotes

3Kg.

375 g.

No.	Malla en mm.	Malla en Phi	Peso	%	%	
Tamiz			Individual en gr.	Individual	acumulativo	
10	2	-1	4.82	1.28	1.28	
18	1	0	28.04	7.48	8.76	
25	0.71	0.5	26.42	7.04	15.80	
35	0.5	1	24.75	6.60	22.40	
45	0.35	1.5	27.32	7.28	29.68	
50	0.3	1.75	18.40	4.91	34.59	
60	0.25	2	17.38	4.63	39.22	
80	0.177	2.25	31.57	8.42	47.64	
100	0.15	2.75	14.94	3.98	51.62	
120	0.125	3	13.13	3.50	55.12	
230	0.0625	4	66.00	17.62	72.74	72.74% arenas
Inferior al Tamiz 230			102.23	27.26	100	27.26% limos
				100		

TABLA 3A

ANALISIS CON PIPETA

PESO F. GRUESA= 210.93		PESO PEPTIZADOR=				CALCULOS			
Diametro en: 0 m.m.	Cápsula No.	Peso Cáp+ muc.	Peso Cápsula	Peso Muestra	Menos Peptizado	% Cum.			
4.00	0.0625	10	55.53	55.33	0.2	0.19	87.92	b=	$d = \frac{10 \times 20}{1000} + \frac{72.74 \times 2}{100} = 1.45$ $d + b = 1.635$
5.00	0.032	70	53.16	52.98	0.18	0.17	89.12	b ₁ =	$(0.2) \left(\frac{100}{1.64} \right) = 12.20$ $100 - 12.20 = 87.80$
6.00	0.016	71	51.13	51.00	0.13	0.12	92.14	b ₂ =	$100 - \left(\frac{100}{1.64} \right) \times 100 = 92.14$
7.00	0.008	74	46.36	46.29	0.07	0.06	95.77	b ₃ =	$100 - \left(\frac{100}{1.64} \right) \times 100 = 95.77$
8.00	0.004	75	52.38	52.34	0.04	0.03	97.58	b ₄ =	$100 - \left(\frac{100}{1.64} \right) \times 100 = 97.58$
9.00	0.002	77	57.34	57.32	0.02	0.02	98.79	b ₅ =	$100 - \left(\frac{100}{1.64} \right) \times 100 = 98.79$

Arena = 87.92 %

Limo = 10.87 %

Arcilla = 1.21 %

TABLA 4

ANALISIS GRANULOMETRICOS

MUESTRA No. 2

TOBA PUMITICA

LOCALIDAD

PESO TOTAL DE LA MUESTRA:

PESO ANALIZADO EN TAMICES:

Mina Coyotes

3.5Kg.

390 g.

No. Tamiz	Malla en mm.	Malla en Phi	Peso individual en gr.	% individual	% acumulativo	
5/8 in	16	-4	4.95	1.27	1.27	
5/16 in	8	-3	18.63	4.78	6.05	
5	4	-2	26.28	6.74	12.79	
10	2	-1	35.43	9.08	21.87	21.87% gravas
18	1	0	65.36	16.76	38.63	
25	0.71	0.5	52.38	13.43	52.06	
35	0.5	1	49.43	12.67	64.73	
45	0.35	1.5	51.77	13.27	78	
50	0.3	1.75	23.05	5.91	83.91	
60	0.25	2	21.14	5.22	89.13	
80	0.177	2.25	5.88	5.42	94.55	
100	0.15	2.75	3.47	1.5	96.06	
120	0.125	3	5.08	0.89	96.95	
230	0.0625	4	6.78	1.3	98.25	76.38% arenas
Inferior al Tamiz 230				1.75	100	1.75% Finos
				100		

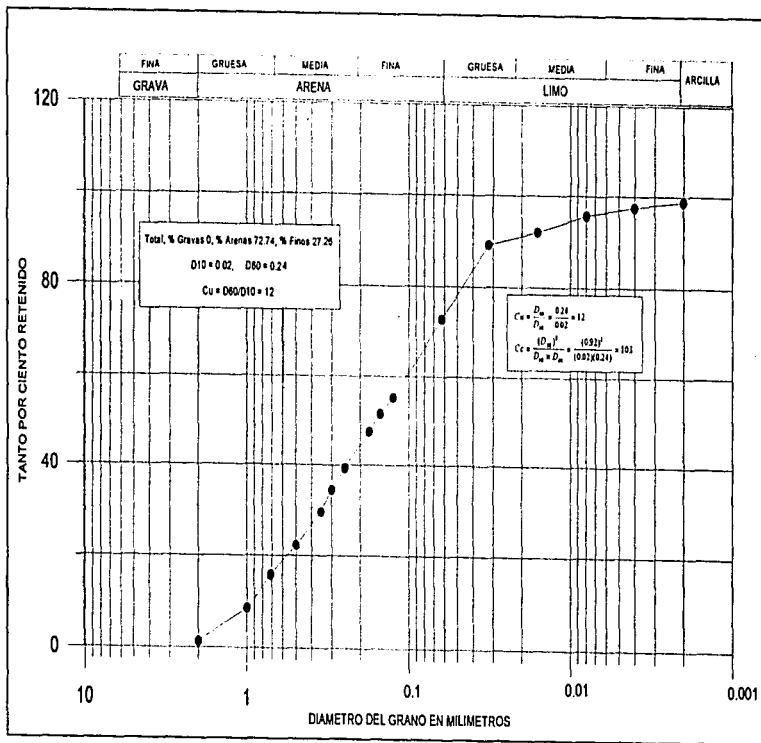


FIGURA 18. GRAFICA ACUMULATIVA DE LA TOBA LIMO-ARENOSA

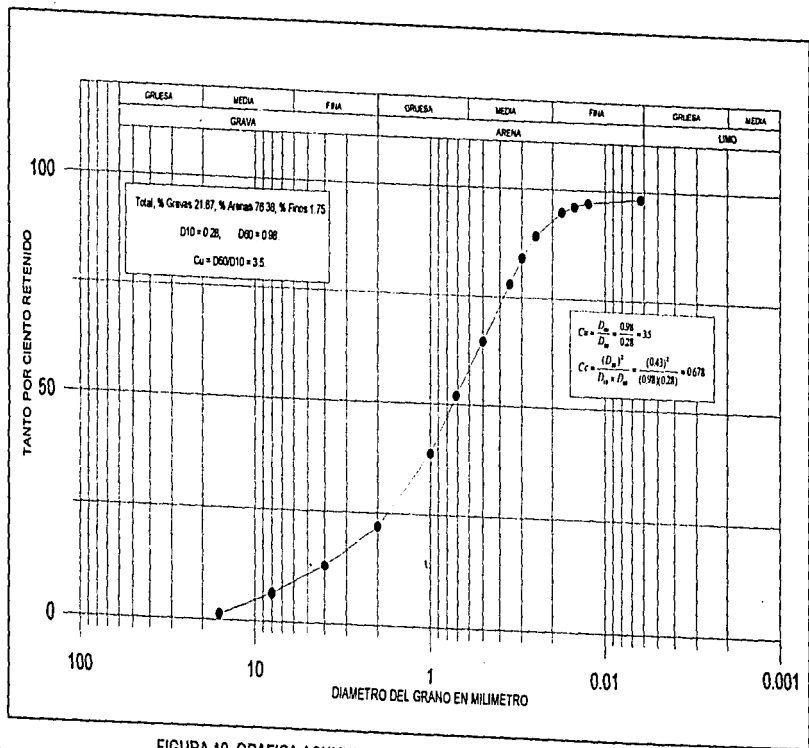


FIGURA 19. GRAFICA ACUMULATIVA DE LA TOBA-PUMITICA

IV.2. Posición de los niveles del agua subterránea

Con el fin de identificar y comparar la profundidad al nivel del agua subterránea bajo la superficie de las zonas minadas de la Delegación, se formó la Figura 15. En éste se transfirieron las localizaciones de los veintidós pozos de agua potable que quedan enmarcados en el perímetro delegacional. De éstos, dieciséis se encuentran en las áreas de riesgo de zonas minadas y los cinco restantes en áreas del sur, donde el subsuelo está formado por roca basáltica.

La operación de estos pozos, así como la historia de sus respectivas perforaciones y evolución en el tiempo del nivel estático son del control de la DGCCH del DDF (Tabla 6). Los pozos perforados en las lomas o en el fondo de las barrancas están concentrados en una franja de 2.5 Kilómetros de ancho por 6.5 Kilómetros de largo y entre las elevaciones de 2290 a 2350 metros.

AÑO 1988

No.	POZO	NIVEL ESTÁTICO	NIVEL DINÁMICO	PROFUNDIDAD
1	Alfonso XIII	77 m	82.15 m	180 m
2	Barranca del Muerto	28 m	32 m	130 m
3	Casco	88 m	89 m	276 m
4	castañeda No. 5	68 m	120 m	138 m
5	Castañeda No. 6	120 m		300 m
6	Cristo Rey	mala calidad	y cerrado	300m
7	Merced Gomez I	93.40 m	98.00 m	240 m
8	Merced Gomez II	121.00 m	133 m	240 m
9	Olivar del Conde	fuera de servicio		
10	Santa Lucía	110 m		300 m
11	Santa Lucía Mixcoac	32 m	36 m	108 m
12	Pozo Tacubaya 1	68 m	71 m	145 m
13	Pozo Tacubaya 2	82.28 m	90.38 m	127 m
14	Tacubaya 3	95 m	97 m	250 m
15	Pozo Central	73 m	87 m	120 m
17	Olivar de los Padres	130 m		
18	San Angel Inn	110 m	118 m	175 m
19	Tetelpan	140 m	155 m	325 m

TABLA 6. NIVELES ESTÁTICO, DINÁMICO Y PROFUNDIDAD DE LOS POZOS UBICADOS EN LA DELEGACIÓN ALVARO OBREGÓN.

Las profundidades totales de los pozos van de los 130 a más de 380 metros; las captaciones emplazadas en la parte poniente de las lomas, cortan en su mayor desarrollo a los depósitos de la Formación Tarango y en menor proporción roca andesítica dependiendo de su profundidad. Los pozos perforados en las barrancas, como es el caso de la reposición del pozo Santa Lucía, casi en el cauce del Río Mixcoac (Col. Hogar y Redención) cortó la roca andesítica a los 190 metros; su profundidad total alcanzó los 385 metros (dato obtenido en abril de 1991). La profundidad al nivel del agua es de 90 metros bajo la superficie del terreno en las inmediaciones del anillo periférico y en la porción norte del área de la Delegación,

En la zona poniente, la profundidad al nivel del agua bajo la superficie del terreno es de 120 metros. La representación gráfica de las profundidades al nivel del agua, del mapa No.1 anexo 1 es un esquema bastante aproximado de las condiciones reales; un mayor detalle solo puede obtenerse con una mayor densidad de pozos y de información. Como puede observarse en el mapa No.1, las arenas totalmente saturadas con agua, están a profundidades muy grandes con relación al piso de las minas de las lomas. Lo anterior, no conjura sin embargo, una riesgosa relación entre el agua subterránea y las minas sepultadas y taludes inestables.

Dentro del perímetro de la Delegación Alvaro Obregón el agua subterránea se desplaza con una dirección de W-E, entre profundidades que van del orden de 130 m., en la zona de Loma Bonita, Olivar del Padre, Herradura y 90 m. en las proximidades del Periférico, Torres de Mixcoac, Caróia, Toltéca y Las Palmas. En la parte media de la Delegación entre las elevaciones 2 350 y 2 310 m.s.n.m. el agua se desplaza con un gradiente hidráulico de 11×10^{-3} , para las elevaciones 2 350 y 2 300 entre las colonias Hogar y Redención y Lomas de Plateros el agua subterránea se desplaza con un gradiente hidráulico de 33×10^{-3} y de 66×10^{-3} . Entre Lomas de Santo Domingo y Santo Domingo, ya en la parte baja del piedemonte cercano a la planicie el gradiente disminuye considerablemente del orden de 16×10^{-3} . Los gradientes obtenidos muestran que la zona con más capacidad transmisora es precisamente donde se encuentra la mayor cantidad de minas, además que las laderas montañosas constituyen una zona importante de recarga para los acuíferos en explotación que abastecen de agua a la Ciudad de México.

IV.3. Funcionamiento de las unidades hidrogeológicas

El funcionamiento del sistema hidrogeológico es el siguiente: El contenedor impermeable lo constituyen los depósitos de lahar, en esta unidad se produce la mayor cantidad de escurrimientos y el agua solo se infiltra en las fracturas que contiene ésta, tanto que el paquete de basura y escombros dan origen a una zona permeable y muy porosa, la zona se caracteriza por ser la de más alta capacidad de infiltración, ya que sus componentes son de muy poca consolidación, posteriormente se tiene la unidad de suelos caracterizada por ser una unidad muy permeable y de baja capacidad de infiltración, se tienen además una unidad formada por varios horizontes de toba limo-arenosa de alta porosidad, media permeabilidad y gran heterogeneidad en su constitución; es una zona más receptora que de escurrimiento, bajo este paquete se encuentra la toba pumítica de alta porosidad, media permeabilidad formado de material más grueso que el anterior, esta zona es muy receptora, pero transmite el agua muy lentamente.

Como se mencionó en algunas páginas precedentes, el agua al introducirse en el subsuelo, se desplaza a través de estratos u horizontes permeables con componentes mas o menos verticales hacia el nivel de saturación, (Figura 20). De esta manera, en su tránsito por la zona parcialmente saturada, inunda o reblandece minas sepultadas o se descarga en las laderas de las barrancas desestabilizando taludes. Fenómenos como el anterior son difícilmente observables en la actualidad, debido al relleno de barrancas o a las cubiertas artificiales de malla y concreto lanzado. Testimonios muy documentados del área, mencionan que todavía a mediados de los años sesentas de este siglo, escurrían numerosos manantiales en las laderas del Río Becerra. Lo anterior confirma la ocurrencia de un importante flujo de agua subterránea, compuesto en parte de la infiltración del agua de lluvia y parte de la proveniente de la infiltración de efluentes domésticos. De esta manera caudales de agua no conocidos se mueven en estratos arenosos situados a poca profundidad (1 a 40 m.).

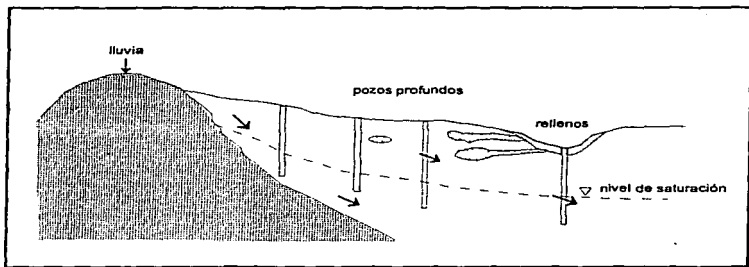


FIGURA 20. TRANSITO DEL AGUA DE LLUVIA HACIA EL NIVEL DE SATURACION.

V. INTERPRETACION DE DATOS

V.1. El movimiento del agua en la zona no saturada

Los mayores volúmenes de agua que reciben los sedimentos de la Formation Tarango, provienen de la lluvia que precipita en la ladera montañosa y en menor proporción los que se captan directamente sobre las superficies de los piedemonte, ya que el inferior se encuentra cubierto casi en su totalidad por asfalto y concreto y el superior en un 60% aproximadamente, en la ladera montañosa, donde se ubican las cabeceras de las cuencas de los ríos Mixcoac, Guadalupe y Tacubaya la altura de precipitación de la lluvia es de 1 300 milímetros promedio al año, en tanto que sobre los piedemonte es de unos 700 milímetros en promedio.

Como puede constatarse en cada época de lluvias, los volúmenes que escurren por las barrancas que nacen en la ladera montañosa y los que descienden de las lomas por los arroyos transversales a los principales, no solo tienen mayores caudales a causa de las lluvias torrenciales, sino que escurren además con gran velocidad a causa de las pendientes de la ladera y de las superficies cubierta por la mancha urbana. Es bien conocido, que en épocas de lluvias se acentúan los hundimientos del terreno en las zonas minadas, el deslave de taludes inestables y las inundaciones de asentamientos humanos en las riberas de los cauces y aún sobre éstos.

El movimiento del agua sobre el terreno de la Delegación tiene dos componentes principales: el agua que escurre en superficie por las barrancas principales y de las lomas a éstas por los arroyos secundarios y la que se infiltra en donde quedan en contacto el macizo rocoso de la sierra de las Cruces y el extenso cuerpo de materiales volcánicos de la Formación Tarango. En ese contacto, la diferencia de permeabilidades entre la roca masiva y la formada por un agregado de partículas propicia la infiltración al subsuelo de volúmenes significativos de agua de lluvia. Las vistas esquemáticas de planta y de perfil de las (Figuras 21 y 22), tratan de ilustrar lo anterior:

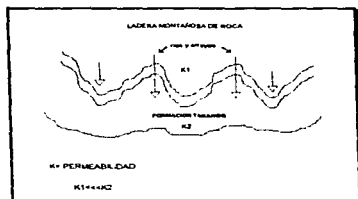


FIGURA 21 PLANTA ESQUEMATICA DE INFILTRACIÓN DE AGUA DE ESCURIMIENTOS SUPERFICIALES EN EL CONTACTO GEOLÓGICO ENTRE LAS ROCAS MASIVAS DE LA LADERA MONTAÑOSA Y LA FORMACIÓN TARANGO.

Cabe aquí mencionar, que la roca que se ha calificado como masiva, presenta sin embargo en numerosas localidades discontinuidades en el macizo rocoso llamadas fracturas. Estas fracturas expuestas en la superficie se continúan en el subsuelo por decenas de metros y funcionan como "tuberías" que conducen el agua caída sobre ellas en el subsuelo por una intrincada y densa red de tubificaciones. Así con este mecanismo, tanto el agua infiltrada en el contacto, mas la que entra por fracturas a la Formación Tarango, se desplaza en esta última siguiendo los estratos de arena y tobas limo-arenosas que funcionan a su vez como canales de mayor permeabilidad. Se menciona, que otra parte del flujo se desplaza por fracturas muy profundas hasta por debajo del fondo de las barrancas. En las barrancas, el agua que antiguamente tenía salida natural a la planicie, actualmente encuentra taponadas muchas de éstas por rellenos artificiales (escombros, basura, diques de asentamientos, etc.); cuando algunas de las corrientes no encuentran salida hacia aguas abajo, al cortar y excavar,

se infiltra en los rellenos artificiales, los que evidentemente tienen mayor permeabilidad al tener una consolidación mucho menor que la de la roca natural.

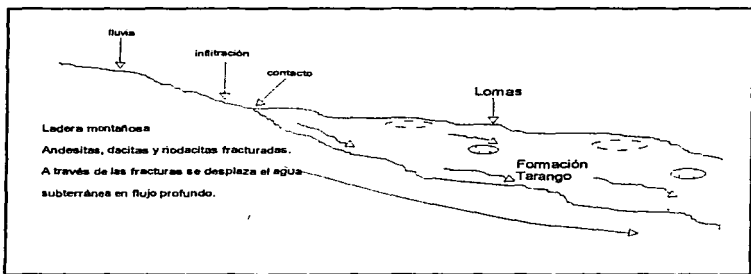


FIGURA 22 CORTE ESQUEMÁTICO DE LA LADERA MONTAÑOSA Y LOS PIEDEMONTES DE LA FORMACIÓN TARANGO.

Del agua que precipita y que escurre en las lomas, una fracción minoritaria se infiltra en las escasas superficies no cubiertas aún por la carpeta urbana, en donde las arenas y las tobos limo-arenosas expuestas funcionan como auténticas esponjas dada la alta porosidad de estos materiales. En este mismo sentido, en las lomas se encuentran también numerosas minas antiguas a cielo abierto rellenas actualmente por basura y escombros; en estas zonas de permeabilidad elevada, el agua también se infiltra. Bajo estas premisas, el agua infiltrada en las áreas de arena y tobos limo-arenosas aún no cubiertas y en las zonas de minas antiguas, se trasmite hasta las minas sepultadas por la amplia red de túneles y de estratos arenosos. El "graneo" y la migración de bóvedas se acelera y sobrevienen los colapsos.

V.2. Impacto en las zonas minadas

En 1990, se calculaba que el 70% de los 96 Km² que conforman la Delegación son zonas minadas y de sus 270 colonias reconocidas, 122 se encuentran en suelo de alto riesgo, particularmente Olivar del Conde, Golondrinas, Barrio Norte, Jajalpan, Arturo Martínez y en general toda la zona de Santa Fé, se han localizado en los últimos seis años cerca de 200 minas subterráneas, en una área urbana de aproximada de 25 Km², además del incalculable peligro que representan las

edificadas alrededor de 300 casas en las que viven unas mil 500 personas, que en cualquier momento podrían venirse abajo. La mina Tiacuitlapa, la más grande localizada, podría abarcar una área de tres hectáreas, y afectar a por lo menos cuatro colonias. Está mina cruza lo mismo zonas marginales que residenciales.

Es de todos conocido que al inicio de las lluvias en algunas localidades los hundimientos y colapsos se suceden de manera súbita durante una tormenta de alta intensidad. En otros sitios los hundimientos son paulatinos y crecen en cada época de lluvias, a pesar de las obras comunitarias de protección contra el socavamiento del terreno por el rápido escurrimiento del agua hacia las barrancas. En Arturo Martínez, después de un aguacero, apareció una caverna en medio de la calle y la entrada a una mina, era la tercera que aparecía en esa zona. La **Figura 23** se trata de ilustrar en forma esquemática la dinámica en la migración de bóvedas y reblandecimiento de pisos y pilares. Pero la lluvia no es el único enemigo de las construcciones sobre bóvedas de poco espesor. A ella se ha, agregado conforme crecen y se expanden los asentamientos irregulares el efecto de los vertidos de drenaje de esos asentamientos al subsuelo.

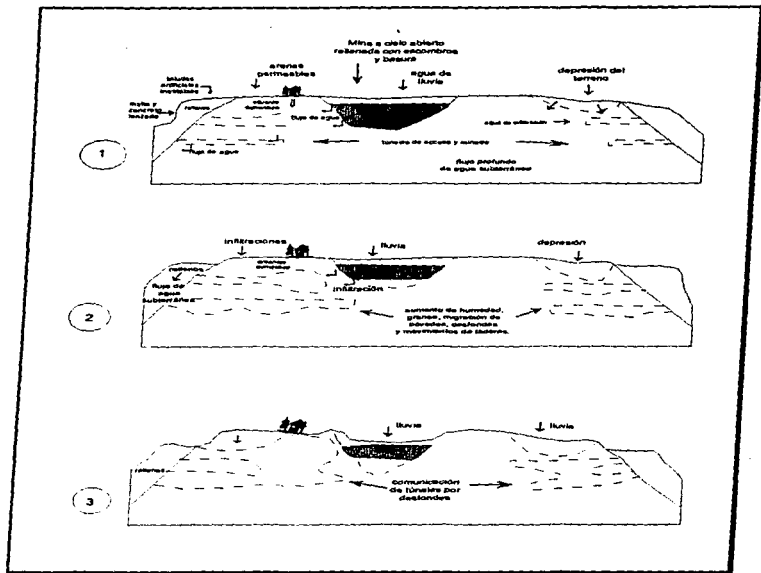


FIGURA 23. LA ACCION DE LA INFILTRACION DEL AGUA DE LLUVIA Y DE LOS EFLUENTES EN LAS ZONAS MINADAS.

En la segunda sección de la colonia Golondrinas por ejemplo, se observó, que a pesar de la instalación de un drenaje exterior, de algunas casas se vierte directamente al subsuelo el agua de desecho. En estas condiciones el agua de desechos domésticos va acumulando en el mejor de los casos, humedad en los estratos arenosos y de lahares y en el peor, inundando túneles y salones. Es claro que este efecto se amplifica en las zonas sin drenaje; algunas arcillas al saturarse aumentan el volumen y aceleran el proceso de "graneación" y migración.

En el hundimiento ocurrido en Abril de 1993 en la casa de la calle de San José Capula en la colonia Golondrinas, pudieron haber ocurrido efectos como los apuntados en los párrafos precedentes. El agua de lluvia escurió por la calle Diego Cao que tiene una fuerte pendiente hacia el sureste; parte de élla se infiltró en lo que antiguamente fue una mina a cielo abierto y que actualmente se encuentra rellena por basura, en la intersección de Diego Cao y Andador Quetzal; en esta última calle, se apreciaban hundimientos y colapsos de la banqueteta en octubre de 1993. El agua canalizada hacia la depresión, rellena de escombros y basura, de alta permeabilidad, más la infiltrada en las grietas y sumideros del Andador Quetzal, más la absorbida por los asentamientos y hoyos del predio que se encuentra encima de la mina de Gaviotas y Pinguinos, se acumuló rápidamente en esta mina y de allí se desplazó hacia el predio N° 14, de la manzana 30 donde se ubica otra bocamina del laborio antiguo sobre el que se encontraba la casa que se hundió.

Vesiones recogidas de testigos presenciales del colapso de la casa, coincidieron en señalar que tanto el agua como los materiales de la casa hundida se desplazaron en dirección de la barranca. Esto último podría confirmar la ocurrencia de un tunel antiguo de acceso y minado con entrada en la margen izquierda del Río San Borja. Por este túnel circuló el agua y el material. La evidencia de esa descarga de agua en la ladera de la barranca situada a unos 50 m. del punto de colapso no fue apreciada visualmente, dada la costra de escombros cubierta con concreto lanzado que cubre la ladera.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1. Conclusiones

- El principal agente desestabilizador de minas y túneles sepultados, así como de rellenos superficiales y taludes inestables, es el agua de lluvia y de desechos domésticos que se infiltra en las capas permeables de la superficie.
- Las aguas de lluvia y drenaje absorbidas por las arenas permeables, humedecen y reblandecen encapes de poco espesor e inician la percolación o goteo hacia las cavidades sepultadas.
- Otras vías de infiltración de agua al subsuelo son las minas a cielo abierto actualmente rellenas con basura y/o escombros. En estas discontinuidades del subsuelo, la permeabilidad vertical es más grande que la del terreno natural, por lo que el agua, infiltrada en ellas se almacena y drena rápidamente hacia las cavidades o túneles de niveles inferiores. Durante su desplazamiento como en su almacenamiento temporal, el agua reblandece pilares y hace migrar las bóvedas adelgazando los entapes.
- Otros caminos de desplazamiento del agua subterránea son los estratos arenosos inclinados hacia las laderas de las barrancas. Cuando el agua en algunas de estas capas alcanza un túnel minado, su velocidad aumenta en cuatro órdenes de magnitud y en una proporción equivalente la erosión de pisos y pilares.
- La infiltración del agua de lluvia en la ladera montañosa se realiza preferentemente a través de fracturas profundas y en su tránsito hacia la planicie no constituye ningún riesgo en las zonas minadas.
- Aunque el nivel al que se encuentra totalmente saturadas (nivel del espejo del agua), las arenas y los lahares de la Formación Tarango se encuentra muy profundo por debajo del piso de las minas sepultadas de las lomas, el desplazamiento del agua infiltrada en superficie hacia el nivel de saturación representa en algunas localidades un riesgo latente.

IV.2 . RECOMENDACION

PRIMERA

- Se propone cubrir con asfalto ligero todos los suelos arenosos en las zonas de alto riego con el fin de evitar la infiltración en esas zonas del agua de lluvia.

SEGUNDA

- Tapar con material más resistente las bocaminas conocidas y en forma colateral, construir una red de canales y cunetas revestidas con el fin de encauzar el agua escurrida al drenaje municipal.

TERCERA

- Impulsar la construcción de "drenajes exteriores" para el agua de desechos domésticos. Estas obras tendrían la cualidad de observar directamente en ellas roturas y fugas.

CUARTA

- Se propone seguir utilizando la nomenclatura de Formación Tarango en la zona de estudio, ya que esta unidad fue definida acorde a la nomenclatura estratigráfica por Byran (1948). La zona tiene demasiadas descripciones y ninguna concuerda en su origen ni en como dividir los depósitos que la constituyen, además sería recomendable en correlacionar todos los estudios hechos hasta la fecha para homogeneizar las descripciones y sus nombres, ya que ultimamente se ha propuesto llamarle Formación las Cruces.

Bibliografía

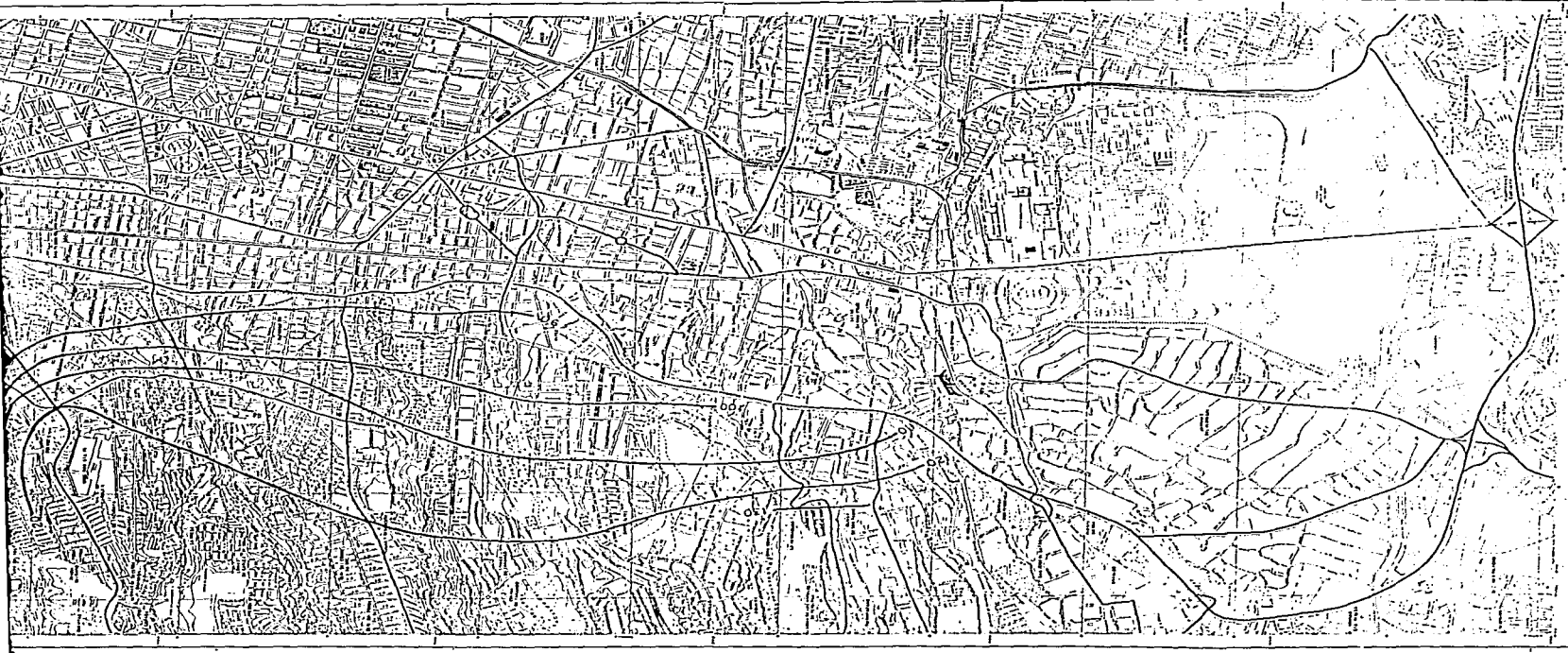
- Aguilar y Vargas. V.H., Verma S.P., 1987. Composición química (elementos mayores) de los magmas en el Cinturón Volcánico Mexicano. *Geofis. Int.*, 26-2 pp. 195-272.
- Allan, J. F., 1984. Geological studies in the Colima Graben, SW México. Ph. D. thesis, Univ. of Calif., Berkeley, pp. 136.
- Arellano, A.R.V., 1951 (1953), Estratigrafía de la Cuenca de México: México, D.F., Univ. Nal. Autón. México, Cong. Cient. Mexicano, Mem., V.3. pp. 172-186.
- Birkle Peter, Torres Rodríguez Vicente, González Partida Eduardo., 1996. Effects of evapotraspiration on the water balace of the Valley of México., México. *Geofis. Int.* :35-1 pp.63.72.
- Bryan, Kirk., 1948. Los suelos complejos y fósiles de la Altiplanicie de México, en relación a los cambios climáticos: *Bol. Soc. Geol. Mexicana.*, V.B, pp. 1-20.
- Campos-Madrigal E, y Silva-Romo G., 1994. Caracterización geológica de las zonas minadas de alto riesgo. El fantasma de la Delegación Alvaro Obregon. D.D.F. Facultad de Ingeniería. UNAM.
- Cebull, S. E. y d. H. Shurbell, 1986. Mexican Volcanic Belt: An intraplate transform? *Geofis. Int.*, Special Volumen on Mexican Volcanic Belt-Part 3A (De. S. P. Verma), 26, en prensa.
- Comisión Nacional del agua, 1990. Mecánica de Suelos Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. pp 69-131.
- Cordero-Estrada M.F., 1992. El origen y evolución del relieve en la Delegación Alvaro Obregón. Tesis profesional. Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Cortez A., Arizabalo R.D., y Rocha R., 1989. Estudio hidrogeoquímico isotópico de manantiales en la Cuenca de México. *Geofis. Int.* 28-2. pp. 265-282.
- Cserna De Z., Fuente de la Duch M., Palacios-Nieto, R., 1988. Estructura geológica, gravimétrica, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México. *Boletín 104.* Instituto de Geología., UNAM.

- Costel J., Sanglerat G, 1975. Curso práctico de mecánica de suelos, Editorial Omega pp.13-80
- Crespo Villalaz C. 1993. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa. pp. 46-58.
- De la Fuente G.J., Verma S. P., 1993. Catálogo de aparatos volcánicos de la parte centro-occidental del Cinturón Volcánico Mexicano. Geofis. Int. 32-2. pp.351-386.
- Demant, A., 1978. Características del eje neovolcánico transmexicano y sus problemas de interpretación. UNAM, Inst. Geol. Revista , 2, 172-187.
- Demant, A., 1981. L'axe néo-volcanique transmexican- étude volcanologique et pétrographique - signification géodynamique. Ph. D. thesis, 159 p. y apéndice, 106 p., Univ. de Droit, d'Economie et des Sciences d' Aix-Marseille.
- Demant, A. y C. Robin, 1975. Las fases del vulcanismo en México: Una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. UNAM, Inst. Geolo. Revista, 75, pp. 813-860.
- García de Miranda, E., 1989. Apuntes de Climatología. México D.F.
- Garduño-Monroy V.H., Gutiérrez Negrín L, C.A., 1992. Magmatismo, hiatus y tectonismo de la Sierra Madre Occidental y el cinturón Volcánico Mexicano. Geofis. Int 31-4. pp. 417-429.
- Gastil, R. G. y W. Jensky, 1973. Evidence for strike-slip displacement beneath the trans-Mexican volcanic belt. Stanford Univ. Publ. Geol. Sci., 13, pp. 171-180.
- Hanus, V. y J. Vanek, 1978. Subduction of the Cocos plate and deep activit fracture zones of Mexico. Geofis. Int., 17, pp. 14-53.
- D.D.F.,1986. Manual técnico de diseño, construcción, operación y mantenimiento de pozos en las cuencas de México y del alto Lerma. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Secretaría General de Obras.
- Delgado Granado H., 1994. Comparative, studies on the tectonics and volcanis of Circum-Pacific Areas. Geofis. Int. 31 pp.5-19.
- INEGI 1993. Alvaro Obregón, DDF. Cuaderno Estadístico Delegacional. pp 3-11.
- Karl Terzaghi., 1980. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica, Editorial El Ateneo, España. pp. 18-55.

- López-Ramos, E. y S. H. Sanchez-Mejorada, 1976. Carta Geológica de la República Mexicana. Comité Carta Geol. México, Scale 1:2 000 000.
- Lozano-García S., 1989. Palinología y paleoambientes pleistocénicos de la Cuenca de México. Geofis. Int. 28-2, pp.338-341.
- Lugo Hubp J., 1989. Diccionario Geomorfológico. Instituto de Geografía. UNAM.
- Lugo Hubp J., 1984. Geomorfología del sur de la Cuenca de México. Serie Varia, T.1, No 8, Instituto de Geografía. UNAM.
- Lugo hubp J., 1990. Mapa geomorfológico del occidente de la Cuenca de México. Boletín Núm. 21. Instituto de Geografía. UNAM.
- Luhk, J. F., S. A. Nelson, J. F. Allan, e Y. S. E. Carmichael, 1985. Active rifting in southwestern Mexico: Manifestations of an incipient east ward spreadingridge jump. Geology, 13, pp. 54-57.
- Marín, C. S. y Aguayo C., Evolución Geológica de la Cuenca de México e importancia de sus rasgos estructurales, Ecología Urbana, vol. esp., Sociedad Mexicana de Historia Natural, México 1989, pp. 61-65.
- Menard, H. W., 1955. Deformation of the northeastern Pacific basin and the west coast of North America. Geol. Soc. Am. Bull., 86, pp. 99-110.
- Molnar, P. y L. R. Sykes, 1969 Tectonics of the Caribbean and Middle American region from focal mechanisms and seismicity. Geol Soc. am Bull., 80, pp 1639-1684.
- Mooser F., M. Maldonado-Koerdell, 1961 Penecontemporaneous tectonic along the volcanics. N. Jb. miner. Anh., 116, pp 308-320.
- Mooser F., 1969 The Mexican volcanic belt Structure and developmet. Formation of fractures by differential crustal heanting Pan-Am. Symp .Upper Mantle, Méxic, 2, pp. 15- 22.
- Mooser F., 1972. The Mexican Volcanic Belt: structure and tectonics. Geofis. Int. 12, pp. 55-70.
- Mooser F., 1975. Historia Geológica de la Cuenca de México: in Memoria de las obras del Ciudad de México., usando modelo matemático. Geofis. Int. 28-2. pp. 283-296.

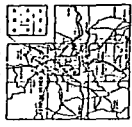
- Mooser F., Tamez E., Santoyo E., Holgín E., Gutiérrez C., 1986. Características Geológicas y Geotécticas del Valle de México. Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR) DDF.
- Ortiz Pérez , M. A. y G. Bocco V., 1989. Análisis morfotectónico de las depresiones de Ixtlahuaca y Toluca, México. Geofis. Int. 28-3 pp. 507-530.
- Pal, S. J: Urrutia-Fucugauchi, 1977. Paleomagnetism, geochronology and geochemistry of some igneous rocks from México and their tectonic implications. Proc. IV Int Gondwana Symp., Calcutta, Part II, pp 814-831.
- Pichler, H. y R. Weyl, 1976 Quaternary alkaline volcanic rocks in eastern México and Central America Munster. Forsch Geol. Palaont, 38/39, pp 159-178
- Robin, C. 1976a. Las series volcánicas de la Sierra Madre Oriental (basaltos e ignimbritas), descripción y caracteres químicos UNAM, Inst Geol. Revista, 2 pp13-42
- Robin, C., 1976b. Présence simultanée de magmatismes de significations tectoniques opposées dans l'est du Mexique. Bull. Soc. Geol. France, 18, pp. 1637-1645.
- Robin, C., 1982a Relaciones volcanologie-magmatologie-géodynamique: Application au passage entre volcanismes alcalin et andésitique dans le sud Mexican (Axe Trans-mexicain et Province Alcaline Orientale). Annal. Sci. l'Univ. Clermont-ferrand II, 30, pp.503.
- Robin, C., 1982b. Mexico. En (De. R. S: Thorpe) Andesites, 137-147, John Wiley
- Robin C., 1982. Relations volcanologic-magmatologie-géodynamique: aplicacion au passage entre volcanismes alcalin et andésitique dans le sud Mexican (Axe transmexican et Province Alcaline Orientale). Annal. Sei. 1° Univ. Vermot-Ferrand II, pp. 30, 503.
- Rodriguez Castillo R., González Morán T. 1989. Comportamiento hidrodinámico del sistema acuífero de la subcuenca de Chalco, México. Geofis. Int. 28-2. pp.207-217.
- Rudolph D.L., Herrera Y. y Yates R., 1994. Groundwater flow and solute transport in the industrial well fields of the Texcoco saline aquifer system near México City. Geof. Int

- Sánchez Gómez M. de L., 1992. Deterioro ambiental y regeneración urbana en la Ciudad de México. Tesis profesional. Colegio de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras.
- Sánchez-Rojas L, E., 1987. Estratigrafía a detalle de la Formación Tarango, al poniente de la Ciudad de México, Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería. UNAM.
- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos., 1978. Simposium, El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del valle de México.
- Shurbet, D H y S. E. Cebull, 1984. Tectonic interpretation of the Trans-Mexican Volcanic Belt Tectonophysics, 101, pp. 159-165.
- Urrutia, F., J. H. y G. L. Del Castillo, 1977. Un modelo del Eje Volcánico Mexicano. Bol. Soc. Geol. Mexicana, 38, pp. 18-28.
- Vázquez-Sánchez, E., Jaimes-Palomera R., 1989. Geología de la Cuenca de México. Geofis. Int. 28-2 pp. 133-190.
- Verma, S. P., 1985. Mexican Volcanic Belt. Geofis. Int. Special Volemen on Mexican Volcanic Belt -Part 1, 24 pp. 7-18.
- Verma, S. P., M. Lopez M. y D. J. Terrell, 1985. Geochemistry of Tertiary igneous rocks from Arandas-Atotonilco area, northeast Jalisco, Mexico. Geoffs. Int., Special Volume on Mexican Volcanic Belt-Part 1 (De. S. P. Verma), 24, 31-45.
- Verma, S. P., 1987. Mexican Volcanic Belt: Present state of Knowledge and solved problems Geofis. Int. Special Volemen on Mexican Volcanic Belt -Part 3, 26 pp. 309-340.

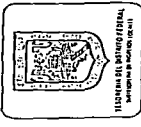


DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
 TESORERIA DEL DISTRITO FEDERAL

ESTADO DE MEXICO
 GOBIERNO FEDERAL
 SECRETARIA DE ECONOMIA
 DIRECCION GENERAL DE REGISTRO Y CATASTRO

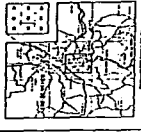


ESTADO DE MEXICO
 GOBIERNO FEDERAL
 SECRETARIA DE ECONOMIA
 DIRECCION GENERAL DE REGISTRO Y CATASTRO



MEXICO
 ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

ESTADO DE MEXICO
 GOBIERNO FEDERAL
 SECRETARIA DE ECONOMIA
 DIRECCION GENERAL DE REGISTRO Y CATASTRO

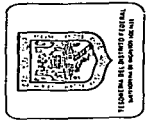


ESTADO DE MEXICO
 GOBIERNO FEDERAL
 SECRETARIA DE ECONOMIA
 DIRECCION GENERAL DE REGISTRO Y CATASTRO

ESTADO DE MEXICO
GOBIERNO FEDERAL
SECRETARIA DE ECONOMIA
DIRECCION GENERAL DE REGISTRO Y CATASTRO
ESTADO DE MEXICO
GOBIERNO FEDERAL
SECRETARIA DE ECONOMIA
DIRECCION GENERAL DE REGISTRO Y CATASTRO

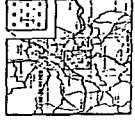


1. Escala: 1:50,000
 2. Proyección: UTM
 3. Datum: WGS 84
 4. Fuente: Aerofotogrametría
 5. Fecha: 1985
 6. Autor: INEGI



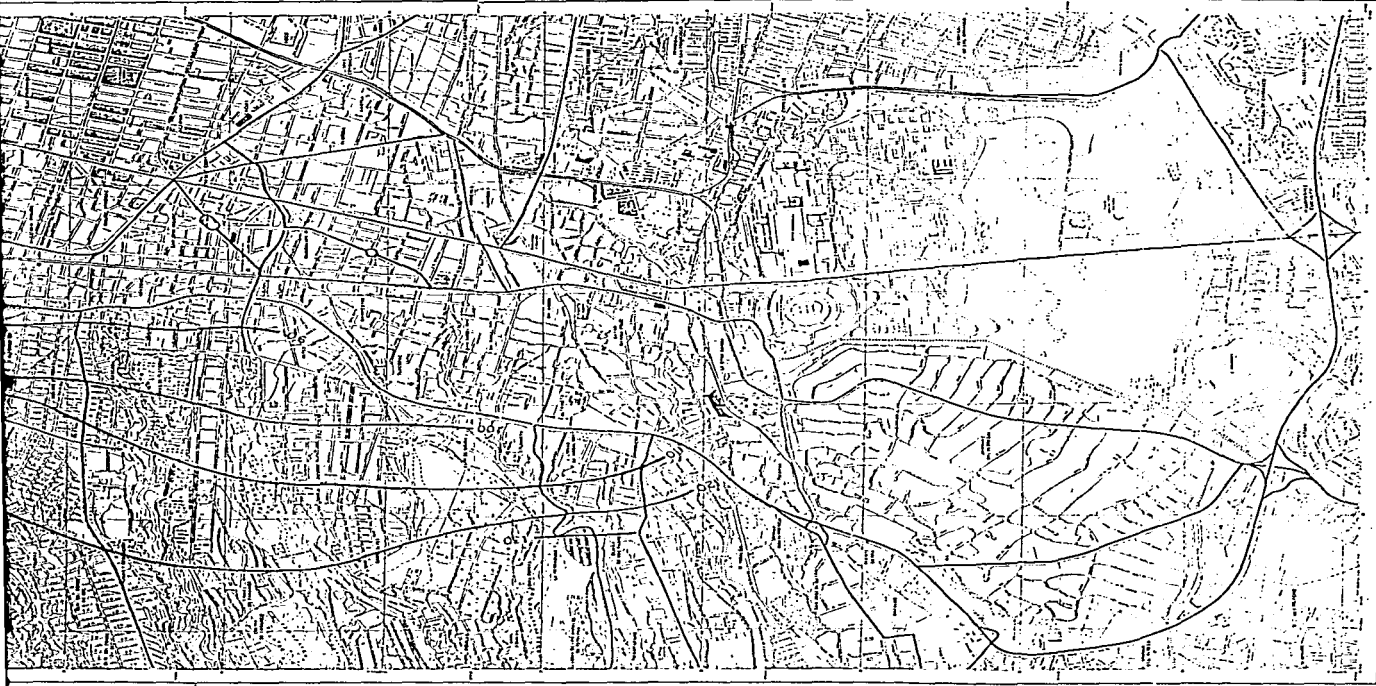
INEGI
EMAS 33

1. Línea gruesa: Carretera federal 2. Línea mediana: Carretera estatal 3. Línea delgada: Carretera municipal 4. Línea punteada: Carretera de terraceros 5. Línea de puntos: Camino de herradura 6. Línea de guiones: Camino de herradura	1. Línea gruesa: Ferrocarril de pasajeros 2. Línea mediana: Ferrocarril de mercancías 3. Línea delgada: Ferrocarril de mercancías	1. Línea gruesa: Canal 2. Línea mediana: Canal 3. Línea delgada: Canal 4. Línea punteada: Canal 5. Línea de puntos: Canal 6. Línea de guiones: Canal	1. Línea gruesa: Río principal 2. Línea mediana: Río principal 3. Línea delgada: Río principal 4. Línea punteada: Río principal 5. Línea de puntos: Río principal 6. Línea de guiones: Río principal
---	---	---	---



1. Línea gruesa: Zona urbana
 2. Línea mediana: Zona urbana
 3. Línea delgada: Zona urbana
 4. Línea punteada: Zona urbana
 5. Línea de puntos: Zona urbana
 6. Línea de guiones: Zona urbana

1. Línea gruesa: Zona urbana 2. Línea mediana: Zona urbana 3. Línea delgada: Zona urbana 4. Línea punteada: Zona urbana 5. Línea de puntos: Zona urbana 6. Línea de guiones: Zona urbana	1. Línea gruesa: Zona urbana 2. Línea mediana: Zona urbana 3. Línea delgada: Zona urbana 4. Línea punteada: Zona urbana 5. Línea de puntos: Zona urbana 6. Línea de guiones: Zona urbana	1. Línea gruesa: Zona urbana 2. Línea mediana: Zona urbana 3. Línea delgada: Zona urbana 4. Línea punteada: Zona urbana 5. Línea de puntos: Zona urbana 6. Línea de guiones: Zona urbana	1. Línea gruesa: Zona urbana 2. Línea mediana: Zona urbana 3. Línea delgada: Zona urbana 4. Línea punteada: Zona urbana 5. Línea de puntos: Zona urbana 6. Línea de guiones: Zona urbana
---	---	---	---



DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
 SECRETARÍA DEL DISTRITO FEDERAL