

209.22



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTRATIGRAFIA RELATIVA A DETALLE DE LA FORMACION
TARANGO, AL PONIENTE DE LA CIUDAD DE MEXICO

Tesis Profesional

Que para obtener el Título de
INGENIERO GEOLOGO
p r e s e n t a

LUIS EDMUNDO SANCHEZ ROJAS

Asesor: Ingeniero Carlos Rivera Villasana



México, D. F.

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

I N D I C E.

- 1.- INTRODUCCION.
 - 1.1.- Antecedentes.
 - 1.2.-Objetivo.
- 2.- RECONOCIMIENTO DEL AREA DE ESTUDIO.
 - 2.1.- Geografía.
 - 2.1.1.- Localización.
 - 2.1.1.1.- Delimitación del área de estudio.
 - 2.1.1.1.1.- Características básicas.
 - 2.1.1.1.2.- Identificación en campo de estas características - para limitar el área.
 - 2.1.2.- Clima y Vegetación.
 - 2.1.3.- Urbanización.
 - 2.2.- Geología.
 - 2.2.1.- Marco Fisiográfico.
 - 2.2.2.- Marco Tectónico y Estructural.
 - 2.2.3.- Geomorfología.
 - 2.2.4.- Columna Estratigráfica Regional.
 - 2.2.5.- Geología Histórica General.
- 3.- ESTRATIGRAFIA EN TIEMPO RELATIVO A DETALLE DE LA-PARTE SUPERIOR DE LA FORMACION TARANGCO EN EL— AREA DE ESTUDIO.
 - 3.1.- Fronteras Estratigráficas.
 - 3.2.- Descripción Estratigrafica.
- 4.- OCURRENCIA DE LA COLUMNA ESTRATIGRAFICA TIPO EN-EL AREA DE ESTUDIO.
- 5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- 6.- BIBLIOGRAFIA.

INDICE O CONTENIDO.

1.-	Introducción.....	1
1.1.-	Antecedentes.	3
1.2.-	Objetivo.	4
2.-	Reconocimiento del Area de Estudio.	
2.1.-	Geografía.	4
2.1.1.-	Localización.	4
2.1.1.1.-	Delimitación del Area de Estudio.	7
2.1.1.1.1.-	Características Básicas.	7
2.1.1.1.2.-	Identificación en campo de estas características para limitar el área.	8
2.1.2.-	Clima y Vegetación.	9
2.1.3.-	Urbanización.	12
2.2.-	Geología.	13
2.2.1.-	Marco Fisiográfico.	13
2.2.2.-	Marco Tectónico y Estructural.	16
2.2.3.-	Geomorfología.	21
2.2.4.-	Columna Estratigráfica Regional.	22
2.2.5.-	Geología Histórica General.	25
3.-	Estratigrafía en tiempo relativo a detalle de la parte superior de la Formación Tarango en el área de Estudio.	
3.1.-	Fronteras Estratigráficas.	35
3.2.-	Descripción Estratigráfica.	50
4.-	Ocurrencia de la columna estratigráfica tipo en el área de Estudio.	48
5.-	Conclusiones y Recomendaciones.	52
6.-	Bibliografía.	56
7.-	Notas.	62
8.-	Abreviaturas.	63

1.- INTRODUCCION.

Como es sabido en ingeniería de cimentaciones, el área de las lomas de la ciudad de México, es catalogada como la mejor de las tres zonas -- (zona del lago, zona de transición y zona de las lomas) en que se ha dividido el subsuelo del valle de México, dada la ausencia de depósitos lacustres arcillosos de alta compresibilidad y de baja resistencia al corte; sin embargo, este panorama no es real en ciertas áreas de la zona, debido a la presencia de minas subterráneas que en forma de galerías y salones se desarrollan al azar y a veces en varios niveles que no obedecen a parámetros lógicos, sino que por el contrario, solo a la facilidad y modo de explotar los mayores volúmenes posibles de materiales granulares para la --- construcción.

La razón por la que estas explotaciones no se desarrollaron a cielo - abierto, fue por la imposibilidad en ese tiempo (finales del siglo pasado)- de auxiliarse de equipo pesado y eficiente como el actual, para remover - grandes volúmenes de manera más organizada, por lo contrario, se utili zaban herramientas manuales en la mayoría de los casos, para la extrac-- ción con métodos rudimentarios y bajo ningún tipo de restricción.

Una característica de estas minas subterráneas es que se desarro -- llan en dirección sensiblemente horizontal y en general, sus accesos o bocaminas son laterales, partiendo de laderas en las barrancas que dividen - las lomas, a la altura donde los horizontes explotables podrían descubrirse o afloraban naturalmente. Estas características están directamente relacio nadas con la geología estructural, estratigrafía y topografía del área de - estudio.

La explotación tuvo lugar cuando los límites de la ciudad se encon-- traban retirados aún, sin pensarse en que un día, no muy lejano por cierto, serían habitadas e incluso rebasadas estas áreas. Su urbanización, des de fraccionamientos residenciales hasta asentamientos humanos irregulares- y provisionales, subestimó o pasó inadvertida, por ignorancia o intencional mente, la presencia de cavidades en el subsuelo.

Estas cavidades o minas subterráneas han provocado graves problemas que tienden a acentuarse con el tiempo, dada la influencia de factores naturales como el intemperismo, y como consecuencia de éste, la migración (*1). Así mismo, factores humanos, entre los que se pueden contar el aumento desproporcionado de peso sobre las bóvedas debido a edificaciones sobre éstas, así como la reducción del espesor de bóveda por la excavación necesaria para su cimentación, y por último, la descarga de drenaje en el interior de la cavidad, acelerando el intemperismo, disolución y aumentando el peso del material por saturación. Esto se manifiesta por el gran número de fallas en las bóvedas de las minas, causando daños materiales y a veces pérdidas humanas, con incidencia comparable o mayor que las producidas por otros fenómenos, como el hundimiento diferencial y generalizado de la ciudad de México, o sismos e inundaciones sufridos en esta zona del país.

Lo expuesto es más que suficiente para advertir la importancia del problema y justificar su estudio a la luz del conocimiento actual, con objeto de contribuir a su mejor entendimiento y solución.

* 1.- Proceso mediante el cual el material de la bóveda al intemperizarse o sufrir algún cambio en las condiciones que mantengan su adherencia al depósito, tiende a caer, provocando con esto un ascenso de la cavidad hacia arriba, al migrar material del techo al piso.

1.1.- ANTECEDENTES.

La extracción de materiales granulares para la construcción en el siglo pasado, por medio de túneles sin ningún control, se llevó a cabo en los depósitos de la Formación Tarango, en el poniente del valle de México, donde principalmente se extraía arena pumítica que en aquel tiempo se denominaba "alegría" o "tepetate ligero".

A la fecha y desde 1968, ya no se permite en el Distrito Federal la explotación a base de túneles debido a la constante ocurrencia de derrumbes, por esto, a partir de 1974 en que las autoridades del Departamento del Distrito Federal tuvieron a bien formar la Comisión de Zonas Minadas, con el propósito de efectuar las investigaciones necesarias examinadas a determinar en forma precisa, las consecuencias de estas minas subterráneas, con el objeto de tomar las precauciones necesarias para salvaguardar la vida y seguridad de los habitantes de construcciones afectadas por este problema. Nota 1.

Durante su ejercicio se han realizado dictámenes sobre las condiciones de 86 colonias afectadas en las Delegaciones Alvaro Obregón, Miguel Hidalgo, Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Coyoacán, Tláhuac e Iztapalapa, siendo de estas colonias 77 las relacionadas con el problema expuesto, de las que el 72% se localiza en la Delegación Alvaro Obregón.

Con respecto a estudios realizados para este problema, se cuentan varias decenas de estudios de mecánica de suelos realizados por compañías particulares. También se contó con la Memoria del Simposium sobre Cimentaciones en zonas minadas de la ciudad de México, así como algunas tesis para Ingeniería Civil y una para Ingeniero Geofísico, mencionadas en la Bibliografía. Sin embargo, todos estos trabajos tienen un enfoque hacia la mecánica de suelos, Ingeniería de Cimentaciones o Exploración e Identificación de cavidades por métodos geofísicos, tocando solo como apoyo la geología de la zona minada.

No obstante, se tienen más trabajos de geología sobre la Formación Tarango y algunos de ellos como el de Federico Mooser, que toman en -- cuenta el problema de zonas minadas sin profundizar demasiado en el tema sino como un enfoque más regional.

1.2.- OBJETIVO.

Plantear una estratigrafía en tiempo relativo a detalle de la parte superior de la Formación Tarango, con miras a la exploración de zo nas minadas en la parte poniente del valle de México.

2.- RECONOCIMIENTO DEL AREA DE ESTUDIO.

2.1.- Geografía.

2.1.1.- Localización.

Regionalmente, el área en estudio se encuentra situada en el borde oriental de la mesa central dentro del altiplano -- mexicano, el cual alberga en su extremo sur al valle (*2) o cuenca de México, ubicada a unos 2,240 metros sobre el -- nivel del mar, la cual es una cuenca cerrada o endorréica, cuya forma es semejante a una elipse cuyo eje mayor de -- NE a SW, mide cerca de 110 km y el menor de W a E, -- de 80 km.

Esta cuenca es cerrada por una cadena de altas montañas, -- que constituyen un ciclópeo muro que la rodea. Al SE se -- encuentra la Sierra Nevada, la cual se liga hacia el sur -- con la del Chichinautzin y la del Ajusco se proyecta al SW con las Sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo y sigue al NW con la Sierra de Tepetzotlán, cerrando al norte con las Sierras de Tezontlan y Tizayuca, así como la Sierra de Pachuca. (Figura 1).

El área de estudio se ubica precisamente al pie de una de estas prominencias orográficas que rodea la cuenca hacia -- el SW, comúnmente llamada Sierra de las Cruces, la cual -- se encuentra situada aproximadamente entre las latitudes --

N $19^{\circ}19'00''$ y $19^{\circ}24'30''$ y las longitudes $99^{\circ}12'20''$ y $99^{\circ}15'30''$ al W del meridiano de Greenwich.

- * 2.- La mención del "valle de México" es solo por razones de orden histórico y uso popular, ya que "valle" es definido como un área de la superficie terrestre, trabajada o erosionada por una corriente fluvial o glacial; así, si no existe una línea de drenaje general que esté modelando la superficie, ésta no se considera valle.

2.1.1.1.- Delimitación del área de estudio.

2.1.1.1.1.- Características Básicas.

Para poder definir y delimitar claramente el área de estudio, es necesario plantear las condiciones o características generales que se reúnen en ésta, para cumplir satisfactoriamente con el objetivo planteado.

Estas características serían entonces que se trata de un área en la cual ocurren y afloran las rocas en estudio, pertenecientes en este caso a la parte superior de la Formación Tarango, conformada por los depósitos piroclásticos acumulados a los pies de las Sierras Mayores (Sierra de las Cruces, Nevada y Río Frío) que se extienden en ambos lados de la extensa planicie lacustre de la cuenca de México.

Otra característica necesaria y definida en el objetivo, es que esta área de estudio se ubica dentro de la zona afectada directamente por el problema de cavidades subterráneas, planteado en el capítulo anterior, y conocida como "zona minada".

De esta manera, el área de estudio quedará definida como la parte poniente del valle de México, tendiente generalmente hacia el sur donde es

tas dos características se superponen y que es llamada comúnmente como "las lomas de la ciudad de México" y que geomórficamente se localiza al pie de la Sierra de las Cruces.

2.1.1.1.2.- Identificación en campo de estas características que limitan el área.

Para delimitar el área se utilizaron estas mismas características, determinando en base a un plano general y con reconocimiento de toda esta zona poniente, las localidades donde por motivos geológicos o urbanos, estas características no eran encontradas satisfactoriamente.

De esta manera, el límite oriente es propuesto basándose principalmente porque al oriente del Anillo Periférico o Boulevard Adolfo López Mateos, los afloramientos de roca y datos del subsuelo son muy escasos y poco confiables, ya que son cubiertos en su totalidad por las estructuras urbanas actuales; esto desde luego, no implica que no se registren problemas debidos a cavidades al oriente de esta frontera, la cual parte de las lomas de San Angel Inn. hacia el sur-oriente, hasta la colonia Daniel Garza hacia el nor-oriente, siguiendo precisamente el eje del Anillo Periférico. (Ver plano P-1).

Por el contrario, el límite poniente de la zona de estudio, es trazado por causas esencialmente geológicas, ya que a partir de éste, no abruptamente, sino por medio de interdigitaciones o acuñaientos, la estratigrafía propuesta en este trabajo, característica de la Formación Tarango, formada por depósitos piroclásticos al-

pie de las Sierras Mayores, cambia gradualmente a las lavas y tobas porfidíticas (andesíticas y dacíticas) de la Sierra de las Cruces. Aquí se localizan frecuentemente afloramientos rocosos, siendo rara vez cubiertos por estructuras o rellenos urbanos; el trazo de esta frontera parte de la colonia San Jerónimo Lídice al sur hasta Lomas del Chamizal al norte. (Ver plano P-1).

El límite al sur, está determinado geológicamente también, ya que hacia el SW de la Calz. - Olivar de los Padres, los depósitos estudiados en este trabajo se interdigitan y truncan contra las lavas y tobas recientes del grupo Chichinautzin, de composición fenobasáltica, que varían de andesitas, dacitas, riodacitas y los basaltos recientes del Pedregal de San Angel, - también son afectadas por las vulcanitas no diferenciadas del Mioceno en el Cerro del Judío y principalmente por las mismas lavas porfidíticas (andesíticas y dacíticas) de las Sierras Mayores.

El que se tome la Calz. de Olivar de los Padres como límite, no indica que la interdigitación ígnea corresponda a esta calzada, pero debido a la cercanía de este límite geológico con el urbano y a un cierto paralelismo entre ambos, el área de estudio se reconoció hasta ahí. (Ver plano P-1).

2.1.2.- Clima y Vegetación.

El clima de región necesariamente habrá de definirse en base a una generalización, ya que hay que tener presente la -

diferencia de alturas, de humedad, de vegetación y de muchos otros factores que coadyuvan a integrar el clima.

De esta manera, en el eje neovolcánico se observan climas muy variados debido también a lo complejo de los rasgos fisiográficos; sin embargo, se podría anotar que en general — el clima es sub-húmedo y varía de templado a semifrío y -- frío.

El clima del valle de México se clasifica como sub-tropical-de altura, templado, semiseco y sin estación invernal bien - definida. La temperatura media anual es de 15° C., la pre cipitación pluvial ocurre de mayo a octubre y el resto del - año es época de secas; la precipitación media anual es de 700 mm, con un volumen anual de lluvia de 6,717 millones- de metros cúbicos.

Es importante recordar que, aún en la cuenca de México, - las características climatológicas varían mucho de zona a zo na, según las diferencias topográficas, siendo así que en la- zona de estudio se presenten temperaturas menores que en - la cuenca, pudiendo llegar a ser negativas.

La flora del valle de México se reconoce solo parcialmente y de algunos grupos se conoce solo un poco. Tomando en -- cuenta esto, se estiman aproximadamente 5600 especies co- nocidas, de las cuales cerca del 70% son plantas vasculares- herbáceas y se registran solo 90 (45%) especies de árboles. El hábito caducifolio es frecuente en las formas leñosas, so- bre todo, entre árboles como el aile, fresno, huizache, en- cino, etc., también son numerosas las plantas de hoja pere- nne como el pino, madroño, cuauchichic, tepozán y otras - más.

Entre las epifitas predominan los musgos y líquenes y las -- plantas superiores son representadas por algunas especies de helechos y tillandsia; existen además numerosas trepadoras

herbáceas de las familias cucurbitáceas, con volvolaceae, - leguminosae y asclepidaceae, así como cuando menos 9 --- miembros de la familia loranthaceae son hemiparásitos de -- las partes altas de diversos árboles y arbustos.

También existen varias familias de hongos hospedados en árboles, raíces y suelos de la región, así como a la gran di versidad de ambientes acuáticos y subacuáticos; en el valle - de México corresponde una abundancia de formas vegetales - adaptadas a este medio.

En específico, en la zona de estudio, la vegetación presenta adaptaciones morfológicas a la aridez, como es el caso de muchas plantas suculentas, de otras con la hoja muy pequeña como el mezquite y la uña de gato, de plantas con tallo leñoso grueso y las hojas lineares densamente agrupadas sobre él como la yucca, sotol palmita, etc.

La presencia de espinas es un fenómeno frecuente en éstas - y en algunas otras especies, como en *Adolphia infesta*, arbusto desprovisto de hojas, formado por una maraña de tamosos espinudos.

En los taludes de cañadas, barrancas y afloramientos rocosos verticales, existen condiciones muy peculiares, en las que pocas plantas pueden vivir, además de algunos líquenes y musgos; son característicos de estas zonas los representantes de las crasiláceas, en su mayoría de hojas carnosas como la con chita.

Sin embargo, en el fondo o eje de las barrancas, crecen comúnmente gran variedad de especies vegetales entre las que se pueden contar árboles y arbustos.

2.1.3.- Urbanización.

Como ya es conocido, la zona de estudio ha sido ocupada por el hombre desde hace mucho tiempo, debido principalmente a los depósitos acuosos que existían en la cuenca de México y que como consecuencia, atraían una gran variedad de flora y fauna, que significaba una garantía en la alimentación de los grupos humanos que decidieron residir en este lugar.

De esta manera desde épocas precoloniales, el valle de México albergó asentamientos humanos muy importantes, llegando a formar ciudades como Copilco, Teotihuacan y Tlatelolco y, posteriormente, después de la conquista española, la "Ciudad de México", que como es sabido ocupa actualmente uno de los primeros lugares en tamaño y población, a nivel mundial y que por lo mismo, ha cubierto y urbanizado todo el territorio ocupado por la extensa planicie lacustre y se ha extendido hacia las sierras que la rodean.

Esto último es el caso del área estudiada en este trabajo, la cual se localiza en las inmediaciones y parte de la Sierra de las Cruces, sobre las lomas que descienden de ella y que han sido urbanizadas de varias maneras diferentes, pero que tienden a hacerlo principalmente por medio de invasiones imprevistas de terrenos, en los que los colonos construyen casas habitación provisionales y posteriormente se desarrolla la construcción de servicios como vialidad, drenaje, luz, suministro de agua potable y demás, que por las características provisionales en que se hacen y bajo ninguna planeación, --- tienden a generar frecuentemente problemas que afectan y agravan considerablemente la estabilidad, tanto de taludes como de rellenos urbanos mal compactados y, por último, de las cavidades o minas subterráneas aquí mencionadas.

De esta manera, el área en estudio se encuentra urbanizada en más de un 90% y cuenta generalmente, con todos los servicios urbanos necesarios. Este grado de urbanización es además del motivo principal, por lo que es importante solucionar el problema que nos ocupa, una de las principales causas que provocan su rápido desarrollo y complejidad.

2.2.- Geología.

2.2.1.- Marco fisiográfico.

La cuenca de México debe su formación a procesos volcánicos y tectónicos que se han ido desarrollando, lenta o intermitentemente, a partir del Eoceno Superior, o sea en los últimos 50 millones de años.

Dichos procesos, que son de gran escala, han formado a su vez la "Faja o Eje Volcánico Transmexicano", provocando levantamientos prodigiosos y extraordinarios hundimientos como la cuenca de México, atravesando a su vez el país desde el Volcán de Ceboruco al poniente, hasta el Volcán de Citlaltepec al oriente a lo largo de 950 km., a la altura del paralelo 20° latitud norte y formando la región más elevada, fértil y pintoresca del país. El eje neovolcánico o "Faja Volcánica Transmexicana" colinda al norte con la Mesa Central, - el límite es el cambio brusco topográfico. Sus contactos --- occidental, meridional y oriental, son la franja en que los materiales volcánicos encuentran a los sedimentos de las --- provincias adyacentes como la Sierra Madre del Sur y las --- cuencas Morelos-Guerrero y Tlaxico. (Fig. 1').

Este eje constituye una provincia fisiográfica formada principalmente por aparatos volcánicos de grandes dimensiones como el Popocatepetl, compuestos a su vez por una gran variedad de rocas extrusivas y que albergan varias cuencas endorréicas, con el consecuente desarrollo de lagos. Existen - además, aparatos del tipo de conos cineréticos que son de



MARCO FISIOGRAFICO DE LA REPUBLICA MEXICANA

- 1 PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA
- 2 DESIERTO SONORENSE
- 3 SIERRA MADRE ORIENTAL
- 4 SIERRAS Y LLANOS DEL NORTE
- 5 SIERRA MADRE OCCIDENTAL
- 6 GRAN LLANURA NORTEAMERICANA
- 7 LLANURA COSTERA DEL PACIFICO
- 8 LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE
- 9 MESA DEL CENTRO
- 10 FAJA VOLCANICA TRANSMEXICANA
- 11 PENINSULA DE YUCATAN
- 12 SIERRA MADRE DEL SUR
- 13 LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR
- 14 SIERRAS DE CHIAPAS
- 15 CORDILLERA CENTROAMERICANA

menor tamaño como lo es el Paricutín en Michoacán y aparatos dómicos riolíticos como los ubicados al suroeste de — Guadalajara, además de evidencias de calderas y emisiones — fisurales.

Planteada la geología general de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), donde se encuentra incluida la cuenca de México, se procederá a resumir el contexto geológico de esta última, para así poder estudiar el marco geológico inmediato a la zona de estudio.

Esta cuenca endorréica está rodeada por una zona volcánica— formada por acumulaciones extraordinarias de lavas, tobas y brechías, la cual es posible dividir desde el punto de vista fisiográfico, en tres partes: La zona meridional, la septentrional y la nor-oriental. La primera es limitada al este por las Sierras Nevada y Río Frío, al oeste por la Sierra de las Cruces, al sur por la Sierra Chichinautzin, al norte parcialmente por la Sierra de Guadalupe y la de Patlachique, constituye la entidad con mayores elevaciones, así como con abundantes lluvias y vegetación. Sus numerosos arroyos descienden del este y oeste hacia los lagos de la planicie central, solo interrumpida por algunas elevaciones volcánicas aisladas. (Ver figura 1).

La zona septentrional se liga a la anterior por el estrecho — de San Cristóbal, situado entre el Cerro de Chiconautla y — la Sierra de Guadalupe; es la continuación de la planicie — meridional y se extiende hacia el norte hasta las estribaciones de la Sierra de Pachuca y hacia el oeste las Sierras de Monte Alto y Tepetzotlán, mientras que al nor-poniente es — limitado por la Sierra de Tezontlalpan (ver figura 1); en este lugar las lluvias son escasas, la vegetación precaria y el desague tiende hacia el sur a la Laguna de Zumpango. Por último, la zona nor-poniente de la cuenca, es de menor —

tamaño y se extiende en una franja ancha hacia el este, entre las Sierras de Pachuca y Río Frío. No presenta drenaje ni morfología definidos y su clima es semidesértico (ver figura 1). El área en estudio se localiza dentro de la zona meridional en la que la topografía es generalmente más abrupta y elevada.

2.2.2.- Marco Tectónico y Estructural.

Todo intento de comprender la historia geológica de la cuenca de México, debe partir de una comprensión general, primero de los procesos que afectaron al sur de México durante el Cenozoico Superior y, segundo, de los procesos que formaron la Faja o Eje Neovolcánico Transmexicano (FVT).

La presencia de centenares de volcanes comprueba que la corteza continental se encuentra quebrada, a tal grado que varios puntos de la FVT han surgido, especialmente en el Cuaternario, ciertos volúmenes de basalto originados probablemente en el Manto Superior; sin embargo, la composición petrográfica de las rocas que la conforman es muy variable, ya que son abundantes los derrames y productos piroclásticos de composición andesítica, aunque existen numerosas unidades dacíticas y aún riódacíticas, así como manifestaciones aisladas de vulcanismo rielítico reciente, como lo son los domos en la caldera de La Primavera, Jalisco. Nota 2. Este grado intermedio (andesítico) en composición general, a la luz de la teoría de tectónica de placas, es un indicio de que este vulcanismo es derivado de la desintegración termal de la corteza marina (placa de cocos), la cual se encuentra en constante proceso de hundimiento y disolución debajo del continente, penetrando bajo él o subduciéndose en la fosa o trinchera de Acapulco, como queda atestiguado por los frecuentes movimientos telúricos aquí generados.

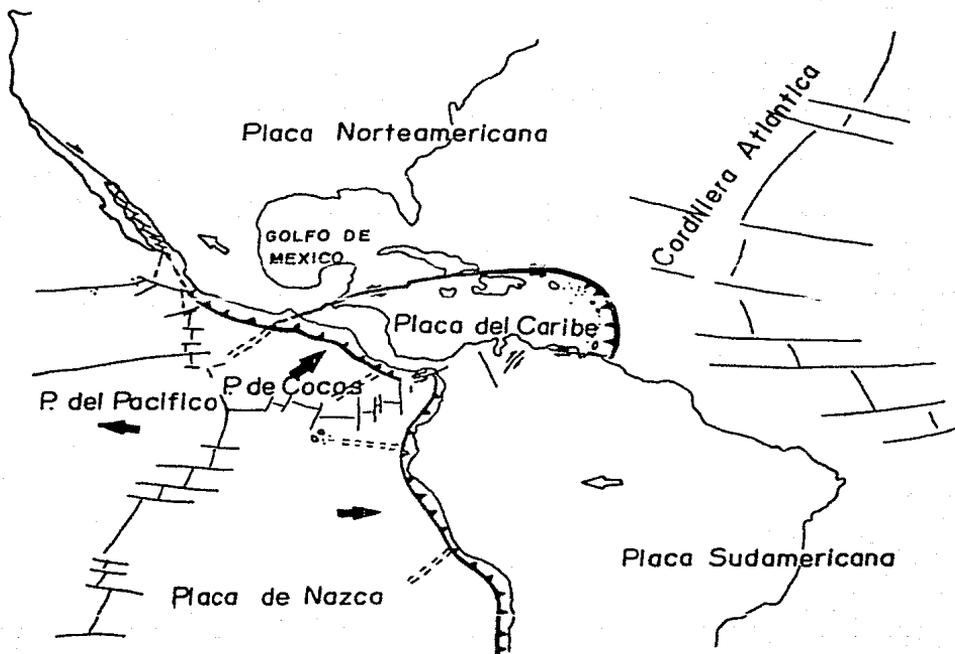
Así, la FVT es simplemente una proyección a la superficie, desde el Manto Superior a unos 200 km de profundidad del frente complejo de la placa de cocos, donde se desintegra parcialmente por calor en burbujas magmáticas, creando el vulcanismo que nos ocupa, esto es apoyado por Mooser --- (1975). Urrutia y del Castillo (1977) y Demant (1978).

Figura 2.

El empuje necesario para la subducción proviene desde el Pacífico Oriental y es la zona de creación y expansión de la corteza marina que se introducía durante el Terciario -- Medio debajo del continente en la región de Puerto Vallarta, reduciendo así la antigua trinchera a su tramo meridional en la moderna trinchera mesoamericana, también llamada "Trinchera de Acapulco".

Desde un punto de vista geoquímico, la FVT es considerada por muchos autores como una provincia calco-alkalina, caracterizada por su abundancia de andesitas y dacitas, además de la relación que guardan sus contenidos de SiO_2 y $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$. Este carácter calco-alkalino apoya la hipótesis genética planteada, aunque la posición oblicua del eje con respecto a la Trinchera de Acapulco, no es un rasgo común en estos fenómenos.

Por último, Urrutia y Del Castillo, lo explican con un modelo en el que se muestra que la dirección de movimiento de las placas de cocos y americana, no es perpendicular a la trinchera de Acapulco y que en los extremos NW y SE de la trinchera, la placa de cocos es más densa, menos joven y menos caliente, así como que aumentó su espesor y rigidez, lo cual disminuye sensiblemente el ángulo de subducción en el SE de la trinchera, llegando a un ángulo horizontal de 20° entre la trinchera y la faja volcánica.



MARCO TECTONICO

FIGURA 2

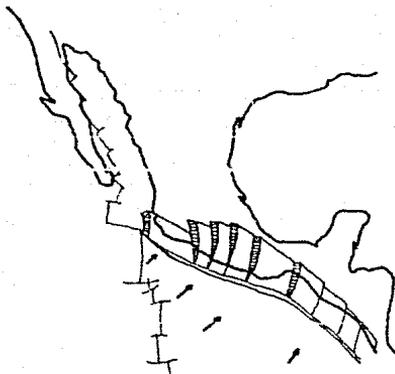
(DEMANT 1970)

Por otro lado, Negendak (1972) propone que el carácter calco-alcalino de este vulcanismo, se relaciona a la fusión parcial de la corteza inferior en vez de la fusión de la placa de cocos al nivel de la astenósfera.

Gastil y Jensky (1973), argumentan una coincidencia de la FVT con una zona de corrimiento lateral activa en el Cretácico Tardío y Terciario Temprano, en la que ocurrieron importantes desplazamientos laterales derechos e izquierdos según Urrutia, basado en datos paleomagnéticos. Esto causa una zona de debilidad por donde se facilitó el ascenso de los magmas producto de la fusión parcial de la placa de cocos. Esta última, según Demant (1978), comenzó a subducirse en esta zona de desplazamiento lateral izquierdo, entre la placa Americana y la del Caribe durante el Oligoceno y aún actúa a lo largo del sistema de fallas Polich-Motagua-Fosa Caimán. El movimiento lateral en este sistema refleja la rotación de Norteamérica hacia el oeste con respecto a la placa del Caribe, que pertenece a la porción continental de Centroamérica. Así surge el vulcanismo oligocénico de la Faja Temascaltepec-Taxco-Oaxaca y más tarde en el Mioceno, el de la FVT.

Otra teoría sobre el origen de la FVT es la propuesta por Mosser (1975), en la que considera que esta estructura volcánica coincide con una geosutura entre masas cratónicas antiguas y que su arreglo zigzagueante refleja una subdivisión en fragmentos ligeramente traslapados y también zigzagueantes de la placa de cocos después de subducirse en la trinchera de Acapulco. (Figura 3).

El arreglo zigzagueante de esta gran estructura volcánica coincide con el sistema básicamente ortogonal de fracturas que controlan el ascenso de los magmas y la formación de fosas.



DESINTEGRACION HIPOTETICA DE LA
PLACA DE COCOS EN FRAGMENTOS

FIGURA 3

(MOSSER, 1975)

Este sistema tiene elementos dirigidos al SW y otros al SE, los cuales se observan en casi toda su extensión, ya que sobre este fracturamiento principal se observan algunos secundarios como el localizado en el Arco Tarasco, al norponiente de la cuenca de México o el dirigido de poniente a oriente y que controla parte de las chimeneas de los grandes volcanes, como el Nevado de Toluca, Popocatepetl y otros.

Varias transurrencias son relacionadas al fracturamiento principal a partir del Mioceno medio o antes, como es el caso del sur y este de La Malinche. Precisamente una de estas transurrencias entre el Nevado de Toluca y el Ajusco, es la que originó la Sierra de las Cruces, alineada NNW a SSE, sin corresponder al fracturamiento fundamental.

De manera general, es posible definir dentro de este fracturamiento, los tramos dirigidos al NW como zonas de transurrencias y al NE como fracturamientos simples.

2.2.3.- Geomorfología.

La geomorfología del área de estudio en específico, se encuentra influenciada directamente por la geología, ya que se conforma de un conjunto de lomas subparalelas que descienden de la Sierra de las Cruces hacia el valle de México, separadas entre sí por valles profundamente excavados por escurrecimientos cuya orientación preferencial corresponde a la que presenta el fracturamiento principal del eje neovolcánico, por lo que se considera que tanto el patrón de drenaje como la formación geomórfica en lomas del área de estudio, se relacionan directamente al patrón estructural de esta misma zona, en la que a su vez, debido a la poca compacidad de los materiales granulares de origen piroclástico ahí depositados, la erosión ha podido excavar paisajes geomórficos muy abruptos.

2.2.4.- Columna Estratigráfica Regional.

Como se ha mencionado anteriormente, la Era de importancia en este estudio es el Cenozoico, ya que en él no solo se originó la Formación Tarango, sino la Formación de la Faja Volcánica Transmexicana.

Grupo Balsas.- La columna estratigráfica en el valle de México se plantea desde las calizas marinas infrayacentes a todos los depósitos volcánicos de la FVT, los cuales se consideran desde el Oligoceno con las series volcánicas andesíticas y riolíticas, con abundancia de ignimbritas y depósitos fluviales al sur de la cuenca de México, llamándose serie Huehuetoca y comprendidos dentro del Grupo Balsas. (Ver fig. 4').

Formación Xochintepec.- Sobre la serie Huehuetoca, en el Mioceno Inferior se tiene la Formación Xochintepec (Fries, 1956), formada por series volcánicas, andesíticas y riolíticas aflorantes en El Mirador, Púlpito del Diablo, Sierra de Xochintepec y Sierra de Apan. (Fig. 1).

Andesitas de Contreras.- Posteriores a la Formación Xochintepec se localizan las andesitas porfídicas del Cañón de Contreras, aflorantes también en Yoloxóchitl y Venacho y que forman la base en sí de las Sierras Mayores y que a su vez, son correlacionables con los lahares del Tepozteco. (Fig. 1).

Vulcanitas Miocénicas.- Después de las andesitas de Contreras se encuentran las vulcanitas, no diferenciadas del Mioceno, posiblemente contemporáneas a la secuencia Santa Isabel, en la base de la Sierra de Guadalupe a la secuencia Humaredas, conformante de los aparatos andesíticos en el norte de la cuenca de México.

Grupo Pachuca y Sierras Menores.- A finales del Mioceno se forman las lavas andesíticas, dacíticas y latíticas de las Sierras Menores como la de Guadalupe, Tepoztlán y Tepozán, así como el Grupo Pachuca, en el que se forman mayores estructuras volcánicas. (Fig. 1).

Grupo de las Sierras Mayores.- Ya en el Plioceno se depositan las lavas andesíticas y dacíticas de las Sierras Mayores (K. Bryan y A. R. Arellano) como es la Sierra Nevada y Río Frío en el oriente y de la Sierra de las Cruces y Zempoala en el poniente de la cuenca; al mismo tiempo y al oriente de éstas, se depositan los abanicos volcánicos compuestos por pseudoestratos de lahares, ignimbritas, arenas pumíticas, tobas, suelos y algunos depósitos aluviales de la Formación Tarango, las cuales son las rocas de interés en este estudio y que son correlacionables a la secuencia Nochistongo, compuesta por suelos tobáceos y pumíticos, así como tobas bentoníticas en la región de Tequisquiác, Nochistongo y Tula. (Fig. 1).

Secuencias Lávicas de las Sierras Mayores.- Posteriormente a la secuencia Nochistongo, a finales del Plioceno, se forman los conos volcánicos mayores de andesitas y riodacitas, que llegan hasta el Cuaternario Inferior, en el que ya se localizan las primeras lavas del Iztaccihuatl y las lavas y tobas del norte y oriente de la cuenca compuestos por basaltos, andesitas y latitas que anteceden al Grupo Chichinautzin, formados por lavas y tobas, que en su mayoría son andesitas, dacitas y riodacitas de forma estructural dómica y cónica, ya en el Cuaternario Superior o reciente se identifican lavas del Pedregal de San Ángel, así como algunas lavas y tobas jóvenes de composición intermedia y vítrea al norte de la cuenca; las andesitas y dacitas del Iztaccihuatl, la secuencia Teyotl, las riodacitas del Popocatepetl, las lavas y tobas de Río Frío y, por último, los depósitos aluviales y lacustres al centro de la cuenca de México. - (Fig. 4').

Tiempo M.A.	ERA	EDAD	PERI- ODO	TECTO- NISMO	VOLCA- NISMO	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS								
						SUELOS RECIENTES		RIODACITAS DEL POPOCATEPETL	GRUPO CHICHINAUTZIN	LAVAS DEL PEDREGAL DE SAN ANIBEL				
1	CENOZOICO	CUATERNARIO	PLEISTOCENO RECIENTE	FRAGMENTOS AL NE Y AL NNE	7- FASE	DEPOSITOS LA CUSTRES	DEPOSITOS ALUVIALES	ANDESITAS DEL IZTACCIHUATL		VULCANITAS DEL NORTE DE LA CUENCA				
6						LAVAS Y TORAS DE LAS SIERRAS DE RIO FRIO	FORMACION TARANGO		SECUENCIAS LAVICAS DE LAS SIERRAS MAYORES					
10						GRUPO DE LAS SIERRAS MAYORES		GRUPO DE LAS SIERRAS MENORES			GRUPO PACHUCA			
12						4- FASE	GRUPO DEL TERCIARIO MEDIO		VULCANITAS DEL MIOCENO			SECUENCIA STA. ISABEL	SECUENCIA HUMAREDES	
17						3- FASE		ANDESITAS PORFIDICAS DE CONTRE- RAS	FORMACION XOCHINTEPEC		LAHARES DEL TEPOSTECO			
21						EOCENO OLIOCENO	TERCIARIO	MIOCENO	FRAGMENTOS AL NE Y AL NNE		2- FASE	GRUPO BALSAS		
22.6												(SECUENCIA HUEHUETOCA)		
32												HACIA EL SUR.		
37											1- FASE			
50														

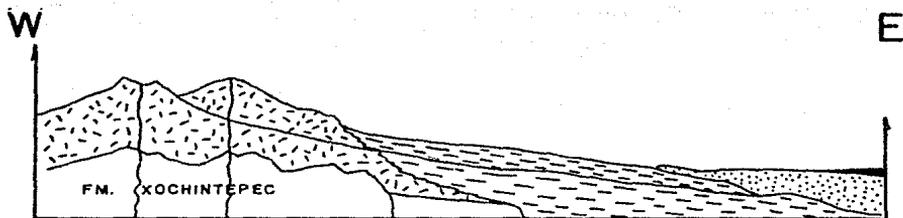
SECUENCIA DE GRUPOS VOLCANICOS Y EPISODIOS
TECTONICOS DE LA CUENCA DE MEXICO.

Formación Tarango.- La Formación Tarango está interestratificada con las series lávicas de las Sierras Mayores (Sierra de las Cruces) donde se originó; sobreyacen los abanicos --- volcánicos Tarango a los depósitos volcánicos del Terciario-Medio (Formación Xochintepec) y del Mioceno Superior (Grupo de las Sierras Menores: Sierra de Guadalupe y Tepoz---tlán). Sin embargo, subyace a los depósitos clásticos aluviales y lacustres del Cuaternario. (Figura 4).

2.2.5.- Geología Histórica General.

La historia geológica del valle de México está estrechamente ligada a la del vulcanismo y tectonismo Cenozoico sufrido -- en toda la faja volcánica transmexicana y por esto mismo es muy reciente, por lo que generalmente se habla de su historia a partir del Eoceno, ya que solo hasta rocas de esta edad se puede inferir la columna estratigráfica en este lugar.

Basamento.- En el lugar donde actualmente se localiza la -- cuenca de México, se encontraban mares tropicales eocénicos, que solo hasta principios del Terciario sufrieron regresiones sucesivas, debido al plegamiento de los sedimentos calizos y levantamiento paulatino del continente; así mismo se inicia el vulcanismo cenozoico que actualmente forma espesores de 2 kilómetros de materiales ígneos, como lo indica-- el Pozo Texcoco I, perforado en 1963 en el centro de la -- cuenca de México al perforar 2,265 metros de series cuaternarias y terciarias, sin alcanzar las calizas eocénicas mencionadas como base de la cuenca y las cuales son inferidas-- por depósitos aflorantes en el norte, cerca de Tula, a unos 2,000 m.s.n.m. y en el sur, entre Cuernavaca y Cuautla a 1,500 m.s.n.m.



Sección geológica demostrativa con dirección de W-E mostrando la posición de la Formación Tarango respecto a las formaciones anteriores y posteriores.

FORMACION TARANGO	
GPO. SIERRAS MENORES	
DEPOSITOS LACUSTRES	

FIGURA 4

La existencia de estas calizas fue ratificada por los recientes estudios realizados conjuntamente por Petróleos Mexicanos, la Comisión Federal de Electricidad y el Departamento del Distrito Federal en el año de 1986, con motivo de la necesidad de conocer a mayor detalle el subsuelo de la cuenca de México, debido a los sismos ocurridos en septiembre de 1985 y que afectaron considerablemente a la ciudad de México.

Según los resultados de dichos estudios, apoyados con perforaciones de pozos exploratorios mucho más profundos que el -- Texcoco I, con obtención de muestras y con prospección sísmica, dicha región fue primero parte de una zona marítima durante el periodo cretácico del Mesozoico y continuó siendo terrestre durante los periodos paleoceno y eoceno, durante los cuales se detectaron facies transicionales a depósitos continentales influenciados por una primera fase de vulcanismo.

La división de la intensa actividad volcánica del valle de México en fases de vulcanismo (Mosser, 1957) es utilizada para el desarrollo de la geología histórica de éste en el presente estudio, en el que se pueden apreciar claramente todas las siguientes fases de vulcanismo a partir de la segunda carnentales.

1ª Fase de Vulcanismo.- Después de este plegamiento mencionado y emersión de las formaciones marinas, cantos rodados de calizas aparecen formando rellenos en sinclinales y fosas tectónicas. Estos rellenos están intercalados con los depósitos de yeso, que indican la evaporación de lagunas en un clima árido; éstas también contienen tobas volcánicas alteradas provenientes de la primera fase de vulcanismo, cuya composición fue intermedia a ácida y definida como la del Terciario Inferior y cuyas rocas cortó el Pozo Texcoco, a los 2,265 metros de profundidad.

2ª Fase de Vulcanismo.- Posteriormente a la primera fase se encuentran ya solo fases de vulcanismo continental, sin clastos de calizas, aunque asociados a arcillas lacustres, travertinos y rellenos fluviales. Así, la segunda fase del vulcanismo es representada por series lávicas de composición intermedia a ácida, con abundantes ignimbritas, tobas y algunos depósitos fluviales. Se encuentran en complejos intensamente fracturados, distribuidos en fosas y pilares dirigidos al NE, aflorantes en Tepetzotlán; dentro de esta fase también son incluidas las lavas basálticas de la Presa de Cuevecillas, que arrojaron una fecha absoluta de 32 millones de años, perteneciendo así al Oligoceno Medio. Esta actividad volcánica obedece a las intersecciones y alineamientos del arreglo ortogonal del fractamiento fundamental de la Faja Volcánica Transmexicana.(Fig.1).

3ª Fase de Vulcanismo.- Al Oligoceno Superior pertenece la tercera fase en la que se formaron las bases de las Sierras Mayores al este y oeste (Formación Xochintepec), así como las elevaciones andesíticas del Cerro del Peñón de los Baños, Cerro del Tigre, Sierra de Tezontlalpan, Cerro de Santa Isabel (16 millones de años), los islotes de Cuatepeque y Tepetzingo (21 millones de años) y los relictos del Cerro de Tlapacoya, Zacatepec y Chapultepec. Al mismo tiempo se desarro-

llan fosas dirigidas al NE, formándose así la estructura básica-profunda de la cuenca; una fosa mayor con los escalonamientos-hacia el centro, entre las fallas profundas de Tláloc-Apan y — Nevado Pachuca. El hundimiento máximo, dirigido de Xochimilco a Tecomulco, constituye la fosa central. (Fig. 5).

Posteriormente a éstos y aún dentro de la tercera fase, se tienen lavas andesíticas oscuras de la secuencia Humaredas (17 millones de años), así como la secuencia Santa Isabel (arcillas — Requeña), que son tobas lacustres pliocénicas superpuestas.

La suma de los desplazamientos en los distintos escalonamientos integra un hundimiento total de más de un kilómetro para la fosa central.

4ª Fase de Vulcanismo.— Posteriormente se inicia la cuarta fase de vulcanismo caracterizada por lavas intermedias y ácidas— que forma el complejo principal de la Sierra de Guadalupe, así como las Sierras de Tepetzotlán, Las Pitayas, El Patlachique y El Tepozán, llamadas frecuentemente como Sierras Menores y — que obstruyeron parcialmente el drenaje al NE y SW. (Fig. 6).

Estos edificios volcánicos formados hace 12 o 14 m.a., a diferencia de los formados en la fase anterior, aún conservan sus formas cónicas originales, aunque erosionadas, y otras estructuras ígneas como los domos dacíticos de los Cerros Tenayo y — Chiquihuite al sur de la Sierra de Guadalupe.

En el Mioceno Superior, como se mencionó, la cuenca de México sufrió un tectonismo en bloques a lo largo de fracturas dirigidas al NE. Este fue sustituido por otro que se desarrolló a lo largo de fracturas dirigidas al NW, creando un conjunto de fosas y pilares que rigieron la actividad volcánica de la quinta fase de vulcanismo.

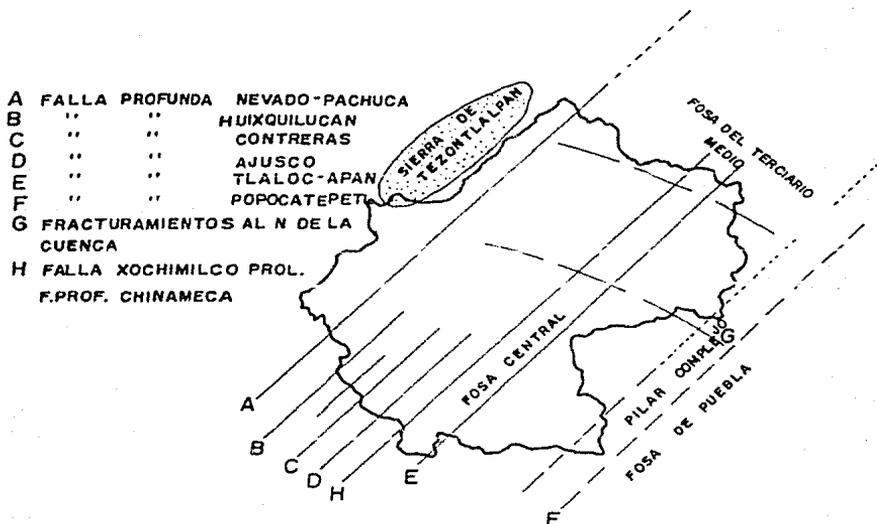


FIGURA 5 LA CUENCA DE MEXICO EN EL MIOCENO INF (MOSSER,1975)

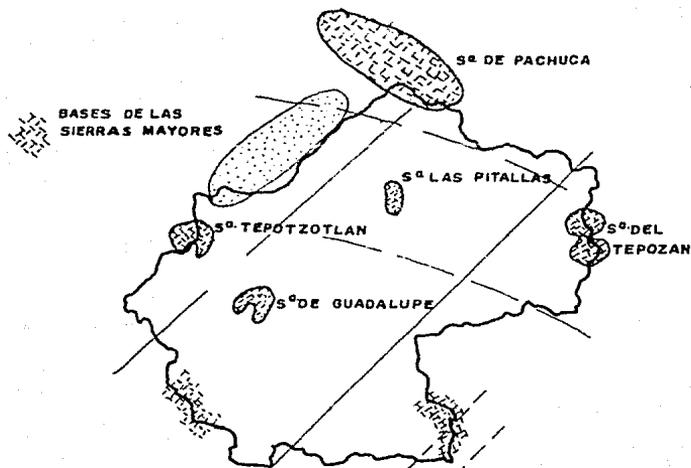


FIGURA 6 LA CUENCA DE MEXICO EN EL MIOCENO SUP (MOSSER,1975)

5ª Fase de Vulcanismo.- Esta quinta fase de vulcanismo formó 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), son producto de efusiones sucesivas de andesitas y dacitas a través de estrato-volcanes, que crearon también extensos abanicos volcánicos formados en este mismo tiempo, o sea a fines del Mioceno hasta aproximadamente mediados del Plioceno, midiendo en escala absoluta entre 10 y 5 millones de años antes del presente. Así, de esta manera se formaron principalmente en el Plioceno Inferior las lomas al pie de estas sierras, las cuales constituyen la Formación Tarango, representada por los depósitos piroclásticos contemporáneos a las erupciones de los distintos elementos de estas sierras.

Las lavas de estos volcanes son característicamente porfídíticas, pero además, eran emitidos grandes volúmenes de piroclastos tras de violentas emisiones que se depositaban horizontalmente en grandes extensiones, por ejemplo, la Sierra de Guadalupe contiene sobre sus flancos, en forma de abanicos pequeños, numerosos horizontes de tobas y capas de pómez, provenientes de la Sierra de las Cruces. También lahares e ignimbritas, que no tuvieron tanto alcance, pero 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 anteriormente mencionado, con dirección preferencial hacia el NE. Por esta razón, la mayoría de las barrancas que surcan las lomas, mantienen esta dirección dictada por el tectonismo, al actuar la erosión. (Figura 7).

Interesa hacer notar con respecto a la Sierra de las Cruces, que ésta, aunque dirigida como unidad mayor al SSE, tiene sus centros volcánicos individuales dispuestos a lo largo de fracturamientos dirigidos al SE. Esto es posible debido a antiguas

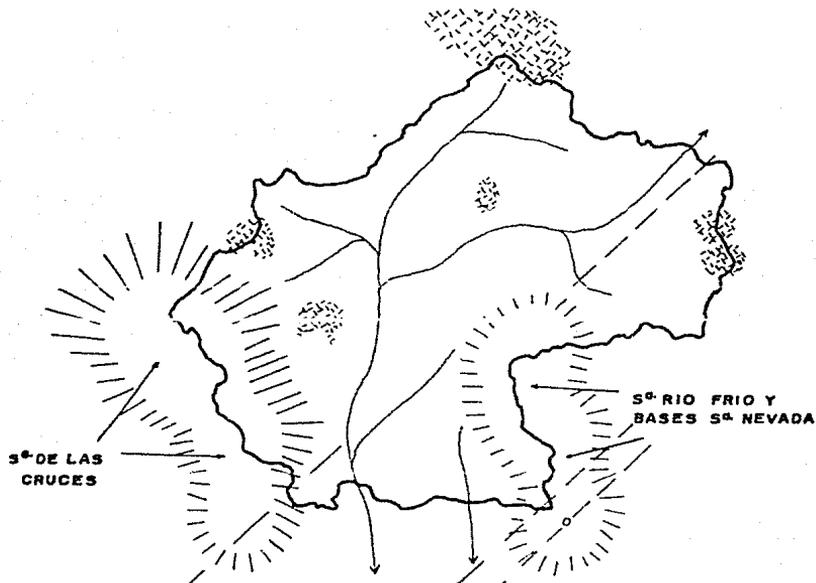


FIGURA 8 LA CUENCA DE MEXICO EN EL PLIO-PLAISTOCENO (MOSSER, 1976)

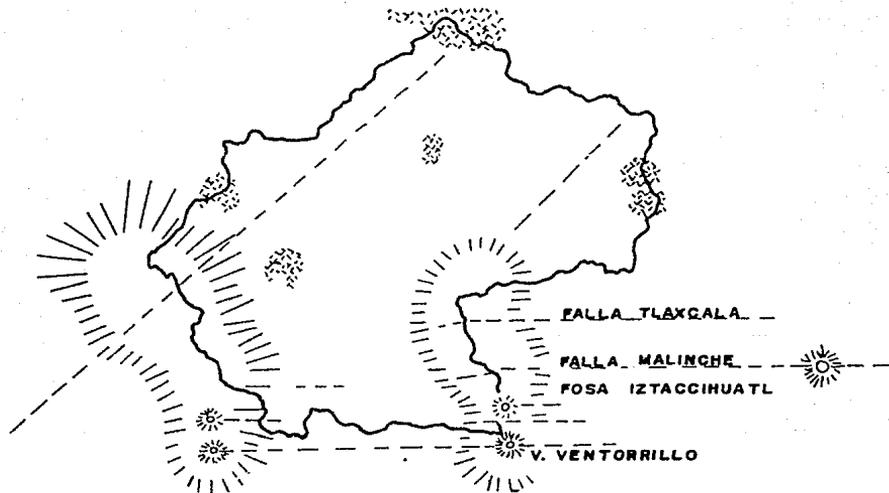


FIGURA 7 LA CUENCA DE MEXICO EN EL PLOCIENO (MOSSER, 1976)

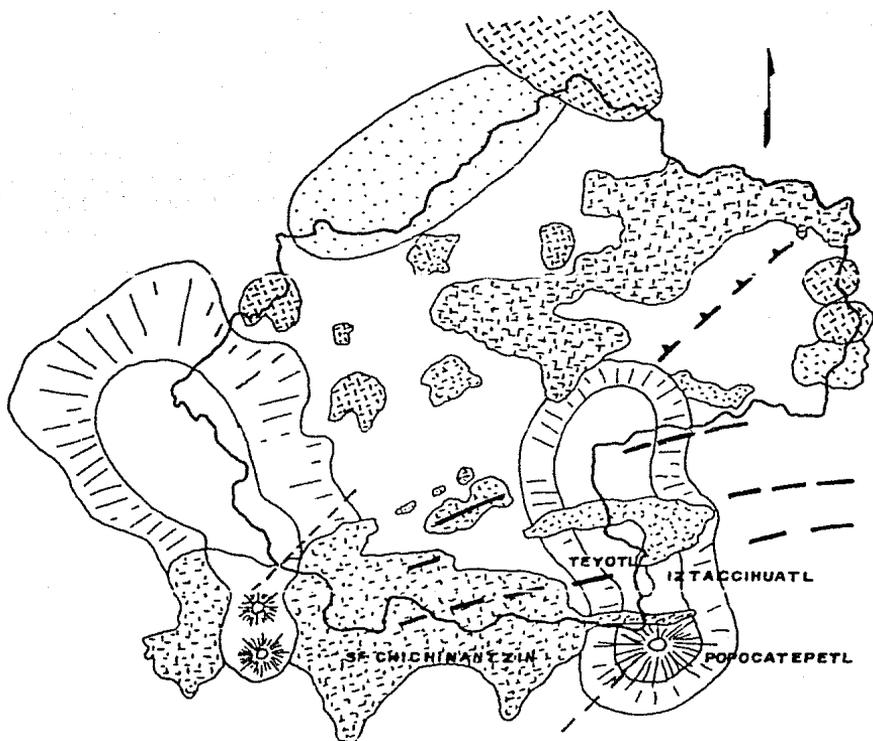
transcurrencias a la derecha las que hacen que la sierra aparente obedezca a un fracturamiento (no existente) al SSE. Lo mismo ocurre con las Sierras de Río Frío y Nevada, que mantienen en conjunto una dirección anómala al SSE, aunque aquí sí hay fracturas que corren N-S, sobre todo en el Iztaccihuatl. La Formación Tarango, al sur de Tlalnepantla, fue afectada por la formación de las Sierras Mayores, que formaron los límites modernos oriente y poniente de la cuenca. (Figura 8).

6ª Fase de Vulcanismo.- El vulcanismo de la quinta fase domina en el Terciario Superior y perdura hasta el Cuaternario, en donde en parte es el mismo, como sucede en la Sierra Nevada y en otras partes es distinto, por lo que se toma como la sexta fase a las andesitas basálticas, en las que se incluyen los Cerros de la Estrella, Chimalhuacán, Los Pinos, del Peñón, del Marqués, y hacia el norte, los Cerros de Chiconautla. (Fig. 1).

7ª Fase de Vulcanismo.- Por último, la séptima fase culminó en la formación de la gran Sierra Chichinautzin en el Cuaternario Superior, que obstruyó el antiguo y último drenaje de la cuenca hacia el sur, creando así una cuenca cerrada, que es la actual cuenca lacustre de México, a su vez superpuesta a la Sierra Nevada se desarrollaron los glaciares del Iztaccihuatl y por fin, el gran cono actual del Popocatepetl. (Figura 9).

También en el nor y nororiente de la cuenca, hubo actividad representada por basaltos, andesitas y hasta riolitas en conos y domos volcánicos, aún bien conservados, como son el Cerro del Tecajete y los conos pumíticos del paredón, al este de la Laguna de Tecomulco. (Fig. 1).

Se resume la historia geológica de la cuenca como un proceso volcánico que se extiende a través de 50 millones de años, abarcando dos etapas tectónicas: La primera duró 45 millones de años y formó estructuras dirigidas de SW a NE, desarrollando un antiguo sistema de bloques y fosas; la segunda perdura ya unos 5 millones de años hasta la actualidad y ha formado -



LA CUENCA DE MEXICO EN EL CUATERNARIO SUP.

estructuras dirigidas generalmente de W a E, desarrollando un moderno sistema de bloques con fosas (Mosser, 1975), provocado por un hinchamiento cortical alargado, que se desintegró en escalones hacia el centro.

3.- ESTRATIGRAFIA EN TIEMPO RELATIVO A DETALLE DE LA PARTE SUPERIOR DE LA FORMACION TARANGO EN EL AREA DE ESTUDIO.

3.1.- Fronteras Estratigráficas.

Estratigráficamente, la Formación Tarango es correlacionable a la serie Nochistongo y a su vez a las series lávicas de las Sierras Mayores, con las que está interestratificada y donde se originó.

Sobreyacen los abanicos volcánicos Tarango a los depósitos volcánicos del Terciario Medio (Formación Xochintepec) y del Mioceno Superior (Sierras Menores, Sierra de Guadalupe y Tepetzotlán).

La Formación Tarango es sobreyacida hacia la cuenca de México -- por los depósitos lacustres y aluviales de la Edad Cuaternaria, que la sobreyacen discordantemente. como se aprecia en la figura 4, 4'.

V. Arellano y Kirk Bryan denominaron en 1948 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 el valle de México al oriente y poniente y que son comúnmente llamadas como Sierras Mayores, que son: Sierra Nevada y Río Frío en el oriente y las Sierras de las Cruces y de Zempoala en el poniente de la cuenca.

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, que ofrecían buenos cortes.

Aquí fue descrito el afloramiento típico (figura 9), en el que se hace una división en tres formaciones o unidades estratigráficas, las cuales se modificaron en años subsiguientes para simplificarla. El conjunto del afloramiento se interpretó subsiguientemente como parte de la Formación Tarango "sensu lato", la cual representa la suma de los productos piroclásticos de las Sierras Mayores, depositados a los pies de ellas.

Por consiguiente, se eliminaron las "Formaciones" Tacubaya y Becerra, interpretándolas como horizontes tobáceos en la cima de la Formación Tarango, que fueron erosionados, redepositados en hondonadas y sometidos a distintos grados de meteorización, consecuencia de las condiciones climáticas del Cuaternario. Así, el color gris o café oscuro de un horizonte de suelo fósil tobáceo --conteniendo capas de caliche, se interpreta en la actualidad como consecuencia de un clima tendiente a ácido (meteorización --Becerra). El color amarillo de otro horizonte tobáceo alterado en general, sobreyacente al anterior, y también con bandas de caliche que se interpreta como consecuencia de un clima más húmedo que el Becerra, es lo que es conocido como meteorización Tacubaya.

La Formación Tarango representa un conjunto pseudoestratificado a veces irregular (principalmente hacia su base), ligeramente inclinado 4° , que alcanza espesores de 300 a 400 metros aproximadamente, el cual se compone de distintos elementos litológicos, --que a excepción de los suelos, son producto de erupciones por lo general violentas, emitidas por las chimeneas de grandes volcanes andesíticos estratificados. Según la actividad del aparato individual y según el magma contenido en él, las erupciones producen cenizas, pómez, brechas, avalanchas, o bien, lavas. Estas últimas --descienden fluyendo lentamente por los flancos del cono; en forma eventual pueden avanzar por las barrancas algunos centenares de metros a partir del cráter. Por lo contrario, las brechas y cenizas

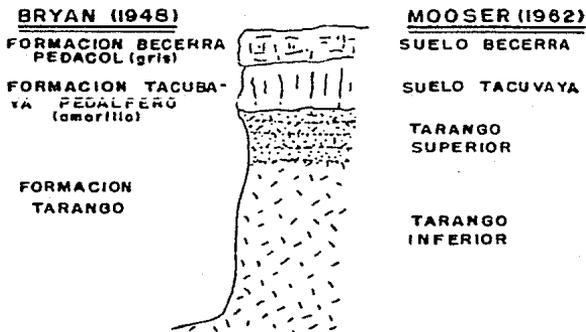


FIG.9 CORTE ESQUEMATICO DE LA FM.
TARANGO.

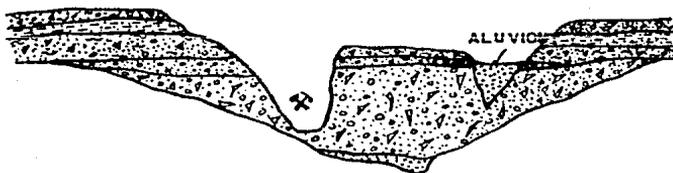


FIG.10 BARRANCA RELLENA POR AGLOMERADOS
VOLCANICOS EN LA BASE DE LA FM. TARAN-
GO (la simbología corresponde a la propuesta en la
columna tipo) MOOSER 1975

producidas por explosiones más violentas, se dispersan a mayores distancias del cráter, siendo a veces hasta arrastradas por los vientos a decenas de kilómetros de distancia, al igual que las lluvias de piedra pómez que conformaron capas de gran uniformidad como las estudiadas en este trabajo.

A su vez, los lahares son acumulaciones caóticas de material piroclástico arrastrado en corrientes lubricadas por agua. Estos se originaron después de grandes erupciones al formarse importantes acumulaciones de material fragmentado al pie de un cono volcánico, a las que mueve una lluvia torrencial que impregna su masa con agua, induciendo y provocando así su movimiento lento como "corriente de lodo": tales lahares rellenan a menudo las barrancas erosionadas en los abanicos volcánicos y forman los depósitos de arenas y gravas azules, tan conocidas en las lomas. (Figura 10).

Las avalanchas ardientes, aunque no tan comunes como los lahares, son impulsadas y lubricadas por fases calientes, originados de erupciones paroxísmicas de extraordinaria violencia. Se generan y descienden con velocidad de decenas de kilómetros por hora, cuando se desintegra un tapón volcánico caliente y hasta irrumpen parte de la cámara magmática superior del volcán. Estos depósitos se encuentran solo en el Santuario de Los Remedios y en la zona ocupada por la Delegación Cuajimalpa y son del tipo sillar, o sea, son tobas ligeramente soldadas y pseudoestratificadas, que no llegan a formar ignimbritas.

Por otra parte, Federico Mosser dividió en inferior y superior a la Formación Tarango, la cual se extiende desde San Angel al sur, hasta la barranca del Río Hondo hacia el norte. La base para dividir esta Formación es la discordancia de las capas entre una y otra, definida en el abanico volcánico originado por el volcán complejo del Cerro de San Miguel.

Formación "Tarango Inferior".- La Tarango Inferior representa la acumulación de piroclásticos esencialmente cineréticos y pumítics, aunque contiene también avalanchas ardientes y lahares con fragmentos andesíticos principalmente. Todo esto forma un abanico pliocénico potente, que sufrió durante un periodo prolongado - tectonismo y erosión, cortándose por consiguiente, barrancas profundas dirigidas al NE en su cuerpo.

Las avalanchas o nubes ardientes originaron el material poroso y rojizo encontrado en la base de la Formación Tarango, donde se localizan algunas minas de arena (mina Palo Alto). Según Mosser, 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 grandes y chicos de andesitas y pómez; se encuentran ligeramente cementadas en una matriz de vidrio volcánico color rosa, a menudo algo 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.

Formación "Tarango Superior".- Susecuentemente en un periodo final de actividad volcánica renovada originada en el periodo pleistoceno de la era cenozoica, 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 Fe, con potentes lahares y aglomerados ígneos que hoy constituyen las minas de arena azules. Estos depósitos finales se definieron como Tarango Superior.

Esta división anterior en dos, no es fácilmente identificable en -- otros abanicos volcánicos de la Formación Tarango en la cuenca - de México.

3.2.- Descripción Estratigráfica.

Como ya se ha mencionado anteriormente, los depósitos ígneo sedimentarios de la Formación Tarango, observan una pseudoestratigrafía, que a pesar de su origen, presenta una continuidad y homogeneidad notables que permiten proponer una columna tipo, - la cual, solo en algunos casos, no corresponde exactamente con los afloramientos litológicos por causas principalmente supergénicas como la erosión, o por causas paleogeomórficas, que de alguna manera redujeron u omitieron ciertos depósitos; sin embargo, - sí es representativa y muy útil para poder identificar estratos altamente explotados por las minas subterráneas antes descritas, o para determinar el tipo de material aflorante en un área determinada y en base a éste, la probabilidad de la existencia o no de una zona minada. (Para un mayor entendimiento de esta columna tipo, se recomienda revisar ésta al final del capítulo).

Suelos Totolsingo (S-TO).- Esta columna tipo se encuentra coronada por los Suelos Totolsingo, característicos por el gran contenido de materia orgánica que poseen y que le dan un color oscuro; - su formación aún continúa y son muy recientes, presentan mayores espesores en áreas con poca erosión o con mucha vegetación; el origen de estos suelos es ajeno a los procesos que originaron - la Formación Tarango.

Suelos Tacubaya y Becerra (S-Ta).- Subyaciendo a éstos, se encuentran los suelos Tacubaya y Becerra, poco distinguidos entre sí en el área de estudio y los cuales son interpretados como horizontes tobáceos en la cima de la Formación Tarango, que fueron erosionados, redepositados en hondonadas y sometidos a distintos grados de meteorización a consecuencia de las condiciones climáticas del Cuaternario. El color de éstos es amarillo pardo, conteniendo capas de caliche; también estos suelos se formaron "sensu lato", como lo corrobora la presencia entre ellos, de una capa de arena pumítica de grano grueso (Ap-G-Ar) disgregable y poco -

clasificada, que presenta un alto grado de intemperismo, así como alto contenido de arcilla como matriz, que representa la meteorización de los materiales que componían el protodepósito que dio origen a estos suelos y que ya no conservan la apariencia original debido a que sus componentes eran más finos que la capa de arena pumítica mencionada, que se omite con frecuencia, ya sea por haber sido erosionada o porque su grado de meteorización la confunde con los suelos descritos.

Las bandas de caliche afectan también al depósito de arena pumítica, siendo principalmente originadas como rellenos supergénicos bajo un clima tendiente a árido; también se observan algunos clastos dacíticos y andesíticos intemperizados y subangulosos.

El espesor de estos suelos es particularmente variable, debido a -- que su exposición a los agentes atmosféricos ha sido mucho mayor que la de los otros depósitos aquí referidos y es precisamente debido a esta prolongada exposición, que estos suelos se originaron a partir de los últimos depósitos tobáceos de la Formación Tarango, cuyas características y composición eran muy parecidas a otras tobas areno-limosas y arenas pumíticas subyacentes.

Debido a esto, los afloramientos de esta unidad litológica, se localizan en las partes altas de las lomas, disminuyendo notablemente su potencia hacia las barrancas y cortes verticales que los limitan, donde han sido demovidos por la erosión o simplemente no se desarrollaron por las pronunciadas pendientes en las que el agua tiende a erosionar la roca en lugar de intemperizarla y favorecer la formación de suelos.

Lahares (Lh).- Infrayaciendo a éstos en contacto concordante y algunas veces discordantemente, se localizan aglomerados ígneo-sedimentarios bien compactados, conformados por clastos de composición principalmente andesítica, aunque también se presentan -----

clastos dacíticos, emplazados en una matriz areno-arcillosa de grano fino y cuyo grado de angulosidad varía desde clastos redondeados, subredondeados y subangulosos. El depósito es un lahar color gris oscuro mal clasificado, variando su granulometría desde la arena gruesa hasta boleos y bloques.

Es importante hacer notar que en estos depósitos se registran anomalías en su potencia y contenido de matriz, que generalmente tienden hacia la parte alta de la Sierra de las Cruces, donde se originaron; en estas zonas se observa hacia la parte superior del depósito, un aumento en el contenido de matriz areno-arcillosa, así como espesores mayores a los 10 metros. Estos depósitos, hacia su base, son más compactos y observan una disminución notable de matriz; los depósitos son mucho más continuos, aflorando en toda el área de estudio, con una potencia promedio de 2.5 metros y que debido a su escasa matriz, grado de redondeamiento e intemperismo en los clastos, se considera sufrió transporte por agua y por distancias considerables como se mencionó, abarcando toda el área de estudio en forma de lahares.

Este horizonte ha sido explotado en minas a cielo abierto actualmente para la obtención de gravas y arenas azules (andesíticas) y en la antigüedad subterráneamente; sin embargo, las minas subterráneas localizadas en este depósito son de menor desarrollo que las excavadas en arena pumítica, debido a la mayor compactidad y dureza de las rocas conformantes, así como su escasa clasificación que implica mayores gastos de cribado y explotación que las arenas pumíticas; sin embargo, han provocado frecuentes problemas de asentamientos, debido a su mayor cercanía con la superficie actual con respecto a otros estratos subyacentes que observan un espesor de bóveda mayor que los lahares.

Aglomerados Dacíticos (Ag-D).- Estos depósitos anteriores, laháricos o híbridos sobreyacen concordantemente a otros - aglomerados ígneos con clastos de composición general--- mente dacítica a diferencia de los arriba mencionados, em plazados en una matriz areno-arcillosa, que al igual que - los depósitos anteriores, disminuye hasta desaparecer ha-- cia su base; sin embargo, la potencia de este depósito es-- muy variable, tendiendo a disminuir al alejarse de las par-- tes altas de la sierra donde fue originado, de manera que-- en algunos afloramientos lejanos a la sierra no aparece es-- te depósito; esto, aunado a la menor redondez en sus clas-- tos, así como un apreciable intemperismo en sus caras, es interpretado como una menor contribución de mecanismos - sedimentarios o de transporte por agua en este depósito, - por lo que no se considera como un lahar propiamente di-- cho como el arriba analizado, sino como un aglomerado -- volcánico aluvial o poco transportado de su lugar de origen en el que intervino mayormente la gravedad que el trans-- porte por agua.

Toba Arcillosa con Clastos Dacíticos (Ar-D).- Bajo estos-- depósitos y en contacto concordante abrupto y bien defini-- do, se localiza una toba arcillo-limosa compacta color cafe-- oscuro que presenta escasos clastos de rocas caóticamente - distribuidos y con poco grado de redondeamiento; este hori-- zonte es muy delgado, presentando un espesor promedio de - 0.70 metros, el cual puede llegar a desaparecer o interdigi-- tarse principalmente por razones paleogeomórficas, que pro-- vocaron el no depósito de este horizonte tobáceo. Los clas-- tos dacíticos que contiene seguramente están relacionados al evento que conformó los depósitos sobreyacentes antes men-- cionados.

Arena Pumítica de Grano Grueso (Ap-G).- Subyaciendo concor-- dantemente a este depósito, se localizan arenas pumíticas de-- grano grueso que frecuentemente alcanzan el tamaño de la - grava gruesa; los clastos son subredondeados al parecer por trans

porte aéreo, más que acuático, debido al poco intemperismo presentado por los clastos en afloramientos recientes, donde presentan un color blanco y al intemperismo crema o café claro; el depósito es muy disgregable debido a la nula cementación o presencia de matriz en el depósito; la escasa compactación que observa es solo debido a la compactación del depósito ejercida por la columna litológica que lo sobreyace.

Sin embargo, en algunos afloramientos se ha detectado una matriz arcillosa de origen supergénico en la base del depósito, que en ocasiones provocó la suspensión de su explotación en minas subterráneas, ya que este horizonte fue frecuentemente explotado en la zona de estudio; otra característica que provocó el poco desarrollo de las cavidades excavadas en este depósito, fue su reducida potencia, cuyo promedio es de 1.50 metros y que en algunas veces se reduce a menos de 1 metro, lo cual provocaba que la altura de cavidades fuera incómoda o tuviera que excavarse en las tobas areno-arcillosas sub y sobreyacentes, limitando con esto la rentabilidad de la explotación. Este depósito es regularmente clasificado, ya que varía el tamaño de sus clastos desde la arena gruesa hasta grava gruesa, lo cual tampoco era una característica idónea para los mineros que la explotaron.

Toba Arcillosa con Clastos Pumíticos.- Subyaciendo en contacto concordante y bien definido a esta arena pumita, se registra otro horizonte tobáceo de arcilla-limosa bien compacta color café oscuro, cuya potencia es de 1.50 metros en promedio, la cual no varía más allá de 50 cm, en el área de estudio este horizonte es muy constante y presenta clastos de pumitas a diferencia del antes descrito, además, se han detectado en él impresiones fósiles de troncos algunas veces carbonizados, quizá debido al calor generado por los depósitos tobáceos al caer. En afloramientos cercanos a las partes altas de la Sierra de las Cruces, donde se originaron todos estos depósitos, se han detect

tado paleocanales que depositaron arenas de grano fino bien clasificadas y de composición andesítico-dacítica, por lo que se deduce fueron depositadas en un lapso de no depósito, mientras empezaba a actuar la erosión y transporte fluvial en las partes altas de la Sierra de las Cruces. También se han detectado intrusiones arcillosas generadas por la misma arcilla en su límite plástico al buscar zonas de menor presión litostática.

Arena Pumítica de Grano Medio (Ap-M).- Esta toba arcillosa sobreyace en contacto concordante bien definido y abrupto a un horizonte de arena pumítica de grano medio, muy bien clasificada y muy disgregable debido a la ausencia de matriz, que a diferencia de la arena antes mencionada, presenta arcilla solo en lineaciones hacia su base que sí "ensucian" el depósito, pero no lo suficiente como para suspender su explotación, ya que debido a su poca cementación y buena clasificación, que rara vez varía de la arena de grano medio a grueso, así como un espesor muy constante en toda el área de estudio, de 2.50 a 2.0 metros, permitía la explotación únicamente del horizonte de interés bajo una altura cómoda de la mina subterránea. Estos factores fueron los que provocaron que este horizonte pumítico fuera el mayormente explotado en el área en estudio o zona minada, conteniendo arriba del 70% de las minas subterráneas y un porcentaje mayor del volumen explotado por este método, ya que en este horizonte se localizan las cavidades de mayor desarrollo que algunas veces atraviezan el horizonte de toba arcillo-limosa que lo separa del otro horizonte de arena pumítica antes descrita y se desarrolla en dos niveles diferentes, explotando a la vez a ambos pseudoestratos pumíticos.

El origen de las lineaciones arcillosas que presenta este horizonte es posible debido al depósito de esta lluvia de clastos pumíticos en un medio acuoso con partículas arcillosas en suspensión o más probablemente por inicio de intemperismo y contaminación de ar-

cillas en la superficie reciente de arenas pumíticas durante un lapso de no depósito, ya que estas lineaciones son concordantes al pseudoestrato. Generalmente la altura estratigráfica de este horizonte ha sido sobrepasada por el nivel actual de profundización de las barrancas de la zona, por lo que todos sus afloramientos se localizan en las laderas de éstas y generalmente en su parte más baja, donde se localizan las bocaminas de las cavidades excavadas en este horizonte. Esto último también pudiera ser tomado como una facilidad más para su explotación y exploración en esos tiempos.

Estructuralmente representa, al igual que sus estratos sub y sobre yacentes, cuerpos tabulares o lenticulares de gran extensión y posición sensiblemente horizontal, la cual aparentemente asciende o --desciende por la comparación con respecto a la topografía actual de la zona y por causas paleogeomórficas; sin embargo, sí presenta una inclinación general tendiente hacia el NE, debido a que su lugar de origen son las sierras altas ubicadas al NW del área en estudio.

Toba Areno-Limosa (TO).- Bajo este horizonte se localiza una toba areno-limosa muy mal clasificada color café pardo, con clastos de distintas rocas ígneas como pumitas, dacitas y andesitas heterogéneamente distribuidas en una matriz areno-limosa de origen tobáceo regularmente compactada y poco cementada, cuyo espesor, aunque variable, presenta de 1.50 a 2.0 metros; su contacto superiores abrupto y bien definido; sin embargo, el inferior es gradual, en el que se aprecia un aumento gradual de los clastos pumíticos en el depósito hasta cambiar al subyacente (Ap-Ar), que es solo un estrato de espesor variable entre 1 y 2 metros, en el que se identifican arenas pumíticas regularmente clasificadas, de grano medio y grueso ligeramente compactadas por una matriz arcillo-limosa, seguramente interrelacionada con la toba antes mencionada, este contenido de matriz en muchas ocasiones provoca la no explotación de este estrato, aunque también lo fue que no aflora con tanta facilidad como el arriba mencionado, ya que en algunas barrancas su profundidad de erosión no alcanza aún a este horizonte.

Este estrato pumítico también se encuentra incluido dentro de las tobas antes mencionadas, ya que éstas afloran nuevamente bajo este horizonte y con las mismas características descritas, de la misma manera en que el primer horizonte pumítico mencionado al principio de este capítulo, se encuentra incluido dentro de los Suecos Tacubaya como antes se dijo y que seguramente eran de composición similar a las tobas en cuestión. Estas tobas, sin embargo, sí empiezan a observar algunas diferencias hacia su base, presentando una mayor cantidad de clastos andesíticos y dacíticos, comparando con los pumíticos mayormente abundantes en la toba sobreyacente al estrato pumítico anteriormente referido.

Otra característica notable es que su composición general es más ácida, dándole al depósito una coloración rosácea y con mucho menos cantidad de arcilla, siendo frecuentemente identificada como arenas rosas, mencionadas por Mösser, que les da un origen ignimbrito tipo sillar y que caracterizan a la Formación Tarango Inferior.

Este depósito se desarrolla por 15 metros más aproximadamente y en algunas ocasiones sobreyace a un último estrato (Ap-Inf) de arena pumítica mal clasificada y sucia o contaminada por arcilla y que presenta muy poca continuidad, ya que frecuentemente es interdigitado o acuñaado por estas mismas tobas rosadas; presenta una estructura lenticular con espesores promedio de 1 metro y solo unos cuantos cientos de metros de largo.

Estos depósitos son sub'yacidos finalmente por aglomerados ígneos bien compactos y mal clasificados, compuestos por clastos subangulosos a subredondeados de rocas ígneas extrusivas, como andesitas, dacitas y rhyodacitas; el tamaño varía desde la grava hasta boleos y bloques de tamaño considerable, emplazados en una matriz arenolimososa, que por el grado de compactación y redondeamiento de algunos clastos, se considera una importante intervención del agua en el transporte de este depósito, por lo que se consideran también

lahares. Estos depósitos están íntimamente relacionados a la paleogeomorfología de la zona, por lo que se les considera uno de los primeros depósitos de la Formación Tarango, ya que tendieron a rellenar las partes negativas o barrancas, como lo explica la figura 10.

Esta litología es la última aparecida en la zona de estudio, ya que el nivel de erosión de las barrancas y otros cortes, como en las minas de arena, no ha superado los 20 o más metros que presenta este depósito aglomerático; sin embargo, para los objetivos de este estudio, es más que suficiente el presentarlo sin importar estratos o litologías subyacentes que no afloran y que, por su puesto, no se relacionan con el problema aquí desarrollado.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la Formación Tarango se divide en Superior e Inferior y tomando las descripciones que las diferencian como el grado de homogeneidad de la parte Superior y de heterogeneidad de la Inferior, se tomó como división entre estas dos a la toba areno-limosa mal clasificada como primer estrato o estrato superior de la parte inferior de la Formación Tarango, ya que a partir de éste, se pierde continuidad en los depósitos, así como la apreciación de una heterogeneidad y mal clasificación de los estratos subyacentes a este límite imaginario.

4.- OCURRENCIA DE LA COLUMNA ESTRATIGRAFICA TIPO EN EL AREA DE ESTUDIO.

La columna estratigráfica propuesta como tipo del área en estudio en el capítulo anterior, representa la forma más común en la superposición de los depósitos piro-sedimentarios que conforman la Formación Tarango, de tal manera que se puede utilizar esta columna en cualquier parte del área en estudio, como un instrumento útil para la exploración, estudio y solución de problemas provocados por cavidades o minas subterráneas.

Para apreciar en un solo afloramiento la totalidad de esta columna estratigráfica, es necesario buscar cortes verticales de dimensiones considerables, ubicados generalmente en minas o taludes de caminos recientes, - que también están sujetos a no presentar los horizontes superiores o inferiores por causas topográficas, urbanas o erosionales. Uno de estos afloramientos que sí muestra todos los horizontes propuestos como Tarango Superior v una buena parte de la Tarango Inferior, es el afloramiento típico localizado en la mina Tepeaca, el cual se ubica claramente en el plano P-2 y que abarca desde los suelos tipo Tacubaya, que coronan la columna hasta las arenas rosas (actualmente ahí explotadas), pertenecientes a la base del estrato de toba areno-limosa mal clasificada y perteneciente ya a la Tarango Inferior.

Como se mencionó anteriormente, son frecuentes los afloramientos que presentan solo una parte de la columna debido a muy distintas causas, - esto podría ser la causa de confusiones estratigráficas si no se está --- bien familiarizado con la apariencia y litología de este tipo de depósitos, por esta razón se procuró realizar lo más detallada posible, la descripción de cada uno de los horizontes, nombrándolos y simbolizándolos en base a sus diferencias con otros horizontes parecidos, pero que se ubican en diferente posición estratigráfica; esto, con el fin de evitar confusiones, que en un momento dado, llevarán a concluir fallas o irregularidades estratigráficas no existentes.

No obstante, sí es importante señalar que, como es de esperarse en depósitos de origen volcánico, estos pseudoestratos llegan a presentar irregularidades causadas principalmente por la paleogeomorfología del lugar, que llegan a modificar localmente el rumbo y echado general de los estratos, así como su espesor, características granulométricas y contenido de matriz. Sin embargo, estos fenómenos son solamente locales y aunque en algunas partes se pueden observar afloramientos donde aparezcan discrepancias con respecto a la descripción estratigráfica hecha en el capítulo anterior, se puede decir que esta columna es la más apegada - posible a la forma general que observan los depósitos aquí estudiados.

Esto último puede apreciarse claramente en la continuidad de los estratos, en toda el área de estudio, como puede observarse en el plano P-1, donde se marca una línea punteada a la altura donde se ubicaron los estratos pumíticos mencionados con anterioridad como los mayormente explotados. Esta ubicación se realizó utilizando información directa o indirecta, ya sea por medio de afloramientos, proyecciones, inferencias geofísicas o perforaciones, que de una manera u otra pudieran garantizar una continuidad en la estratigrafía referida en este estudio.

Esto es observado con mayor claridad en el plano P-2, donde se realizó un levantamiento a mayor detalle de una zona específica del área en estudio.

En éste se cartografió la litología aflorante relacionándola a la columna estratigráfica planteada, mostrando la continuidad de los estratos y sus características geométricas, como lo son los cambios de espesor y relaciones con respecto a la topografía, de tal manera que se puede apreciar claramente la persistencia de los estratos más importantes y principalmente de los que conforman la parte superior de la Formación Tarango, así como su apreciable echado general hacia el oriente, tendiendo éste hacia el valle de México; también es notable la mayor densidad de cavidades o bocaninas excavadas o localizadas en los estratos pumíticos y más aún, en el estrato de arena pumítica de grano medio Ap-M, representado en este plano.

COLUMNA TIPO

ESPESOR PROMEDIO (m)	SIMBOLOGIA		DESCRIPCION
VARIABLE	S-Te		SUELOS TOTALSINGO COLOR OSCURO CON ALTO CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA
VARIABLE	S-Te		SUELOS TACUBAYA, COLOR CAFE CLARO CON BANDAS DE CALICHE.
0.5	Ap-G-Ar		ARENA PUMITICA DE GRANO GRUESO MUY ARCILLOSA E INTEMPERIZADA.
VARIABLE	S-Ta		ESTOS SUELOS SON RESIDUALES DE TOBAS ARENOARCILLOSAS.
2.5 - 10.0	Lh		LAHARES COMPUESTOS POR AGLOMERADOS BIEN COMPACTADOS DE CLASTOS ANDESITICOS PRINCIPALMENTE Y SUBREDONDEADOS A SUBANGULOSOS EMPLAZADOS EN UNA MATRIZ MUY ESCASA, SIN EMBARRA EN LAS INMEDIACIONES DE LOS APARATOS VOLCANICOS ESTOS DEPOSITOS PRESENTAN UNA MATRIZ ARENOSA
10.00	Ag-D		AGLOMERADOS DE CLASTOS GENERALMENTE SUBANGULOSOS DE COMPOSICION DACITICA, EMPLAZADOS EN UNA MATRIZ ARENO-LIMOSA DE LA MISMA COMPOSICION.
0.70	Ar-D		TOBA ARCILLO-LIMOSA CON CLASTOS DACITICOS.
1.50	Ap-g		ARENA PUMITICA DE GRANO GRUESO COLOR CREMA Y SOLO EN SU BASE PRESENTA MATRIZ ARCILLOSA.
1.00	Ar-P		TOBA ARCILLO-LIMOSA CON CLASTOS PUMITICOS Y FOSILES.
2.50	Ap-M		ARENA PUMITICA DE GRANO MEDIO BIEN CLASIFICADA CON LINEACIONES DE ARCILLA, SIN MATRIZ Y ESPESOR MUY CONSTANTE.
1.50	Te		TOBA ARENO-LIMOSA MAL CLASIFICADA CON CLASTOS DE PUMITAS.
1.30	Ap-Ar		ARENA PUMITICA CON MATRIZ ARCILLOSA Y REGULARMENTE CLASIFICADA.
15.00	To		TOBA ARENO-LIMOSA MAL CLASIFICADA CON CLASTOS DE ANDESITAS, PUMITAS, DACITAS Y LA COMPOSICION DE LA MATRIZ ES ACIDA, COLOR ROSACEO (ARENAS ROSAS).
1.00	Ap-Inf		ARENA PUMITICA MAL CLASIFICADA, ACURABLE E INTERDITABLE FRECUENTEMENTE.
20.00	Ag-V		AGLOMERADOS VOLCANICOS MAL CLASIFICADOS CON CLASTOS SUBANGULOS Y SUBREDONDEADOS DE COMPOSICION VOLCANICA VARIABLE Y BIEN COMPACTADOS.

3.- Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones.

- 1.- Se consiguió el objetivo planteado al inicio del presente estudio, definiendo una estratigrafía que sin plantearse en edades absolutas, pudiera definir a detalle las rocas conformantes principalmente de la parte superior de la Formación Tarango al poniente de la cuenca de México.
- 2.- Esta estratigrafía fue planteada de tal manera que pudiera dar el mayor grado de información y de interrelación con el problema de las zonas minadas definido en el presente estudio.
- 3.- Debido a las características geométricas, estructurales, litológicas, de compactación y relación topográfica actual, se determinaron claramente las razones por las que se explotaron con mayor abundancia ciertos estratos, que, como se determinó, fueron tres en orden de importancia:
 - a) Horizonte de arena pumítica de grano medio.
 - b) Horizonte de arena pumítica de grano grueso.
 - c) Depósitos laháricos de composición andesítica y bien compactos.

Es necesario agregar que existen algunos otros horizontes explotados, pero debido a la escasa frecuencia con que se encuentran cavidades en ellos y al poco desarrollo que éstas presentan, no se toman como estratos comúnmente explotados.

- 4.- Tomando en cuenta la cantidad de afloramientos rocosos en los que se cotejó la presente columna tipo, se puede concluir la utilidad de ésta para muchas posibles aplicaciones como lo pueden ser:

- a) En la prospección de cavidades aún no localizadas y que han sido obturadas sus bocaminas deliberadamente con estructuras urbanas o por vegetación o rellenos urbanos depositados a volteo.

Esta estratigrafía puede, partiendo de estratos aflorantes, localizar los estratos explotables en la zona y definir la localización donde debieron aflorar reduciendo así el área por explorar.

- b) En la ubicación estratigráfica de pozos o perforaciones hechas en un terreno que requiera de un estudio de mecánica de suelos como requisito para construir en la zona minada.

Esta ubicación puede, en un momento dado, decidir si la profundidad de exploración del estudio llegó o no aún a los estratos mayormente explotados y definir así si debe aumentarse ésta o si estos horizontes ya han sido superados, dando una mayor confiabilidad y veracidad al estudio.

Otro caso podría ser, que en base a la litología encontrada en una perforación, se pudiera cotejar con la estratigrafía propuesta aquí, que los estratos explotables ya han sido erosionados en esa zona, y, por lo tanto, la probabilidad de una cavidad en el subsuelo es remota.

- c) Para determinar y explicar el porqué ciertas zonas de toda el área en estudio presentan una densidad mucho menor de cavidades, y si las hay, son de poco desarrollo, determinando las causas por las que no afloran o lo hacen con poca frecuencia los estratos explotables sea estructurales, erosionales o topográficas.

- d) En caso de rehabilitaciones de las cavidades, la estratigrafía propuesta puede auxiliar grandemente, para el conocimiento de dureza y espesores de la roca que se está cortando al perforar en el desarrollo de una lumbrera de acceso o un barreno exploratorio al inicio de una rehabilitación.
- e) Es indispensable, para tener un conocimiento bastante — aproximado del grado de migración que ha sufrido una cavidad, ya que conforme ésta migra hacia arriba, va abarcando estratos sobreyacentes al estrato explotado inicialmente.
- f) En el estudio de mecánica de suelos, esta estratigrafía — puede auxiliar para el conocimiento más detallado de las rocas que se prospectaron con estudios geofísicos y para determinar la resistencia al corte, grado de compacidad y otros datos importantes en este tipo de estudios.

Estas son algunas de las posibles aplicaciones del presente estudio en el problema de las zonas minadas, además de — las inherentes ventajas de cualquier estudio geológico de — una zona escasamente estudiada a detalle.

- 5.- Las principales anomalías estratigráficas son detectadas hacia — las inmediaciones de la Sierra de las Cruces, o sea en las — partes más altas localizadas al SW de la zona de estudio. Es— tas anomalías, como se mencionó, son cambios significati— vos en el espesor o potencia, granulometría y contenido de ma— triz principalmente.

Recomendaciones.

- 1.- Es recomendable que se desarrollen en otros estudios algunas otras posibles diferencias entre un estrato y otro a nivel petrográfico o granulométrico, las cuales no se determinaron a detalle debido principalmente a que se procuró apoyarse en diferencias palpables en campo, que auxiliaran ahí mismo a una persona a distinguir entre dos o más estratos parecidos o de características semejantes, para que se tuviera una mejor ubicación estratigráfica en campo de esta columna. Este sería el caso entre las tobas limo-arcillosas que se distinguen generalmente no por los fósiles que hay solo en una, ni por sus espesores muy parecidos, sino por los clastos embebidos en ellas que se relacionan directamente con el evento que provocó la formación del estrato sobreyacente; así, mientras la toba limo-arcillosa inferior tiene clastos pumíticos y es sobreyacida por una arena pumítica, la toba limo-arcillosa superior, tiene clastos dacíticos y es sobreyacida por depósitos dacíticos mal clasificados.
- 2.- También se propone realizar estudios semejantes o complementarios al presente, ya que existen algunas otras zonas en los estados de México e Hidalgo, en donde también se presentan cavidades de este tipo y al parecer excavadas en depósitos de la Formación Tarango, muy parecidos a los aquí descritos; se recomienda analizar si la columna tipo propuesta en este trabajo, funciona o no en estos terrenos y cuáles serían sus variaciones, para así poder aumentar el área de influencia o aplicación de esta columna.
- 3.- El formato y metodología propuesto o usado para el desarrollo del presente estudio, es una forma lógica y ordenada, en la que se realizaron los estudios necesarios para obtener con un buen nivel de confiabilidad, los objetivos planteados al inicio, por esto se recomienda en un dado caso, el uso de esta metodología para estudios parecidos.

6.- BIBLIOGRAFIA.

- Abascal Cortés, Juan Manuel.
Problemas y Soluciones en las Zonas Minadas del Distrito Federal.
Tesis Profesional para obtener el título de Ingeniero Civil. I.P.N.
México, Septiembre 1977.

- Alvarez Manuel.
Fisiografía de la Cuenca de México. F. I. U.N.A.M.
México, 1972.

- Arellano R. V.
Estratigrafía de la Cuenca del Valle de México.
Memoria del Congreso Científico Mexicano. Tomo III.
México, 1953.

- Arroyo de Anda, Luis Aveleyra.
Prehistoria de México.
México, 1950.

- Caballero Julio y Sánchez Edmundo.
Consideraciones Geológicas del Parque Ecológico "Alvaro Obregón";
Expediente 27 del predio Av. las Aguilas; D. D. F.
México, enero 1985.

- Cascada Reyes C. M.
El Eje Neovolcánico Transmexicano; Instituto de Geología de la --
U.N.A.M. III Congreso Latinoamericano.
México, 1977.

- Departamento del Distrito Federal.
Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del
Distrito Federal.
México, 1975.

- Figueroa A. Jesús.
Carta Sísmica de la República Mexicana. Instituto de Geofísica
de la U. N. A. M.
México, 1959.

- Fries Jr. Carl.
Bosquejo Geológico de la región entre México, D. F. y Taxco
Guerrero, de las partes Central y Occidental del Estado de Mo
relos y áreas contiguas de los Estados de Guerrero y México. -
XX Congreso Geológico Internacional.
México, 1956.

- Helmut de la Terra.
Historia del Valle de México en las postrimerías del Cuaterna--
rio, en relación con el Hombre Prehistórico.
México, 1948.

- Jorges Pantoja.
Trabajo de las estribaciones de la Sierra de las Cruces para el-
Gobierno del Estado de México.

- Kirk Bryan.
Los Suelos Complejos y Fósiles de la Altiplanicie de México en
relación con los Cambios Climáticos.
Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XIII.
México, 1948.

- Lubek.
Geomorfología.

- López Ramos.
Geología de México, Tomo III.

- Mosser, Federico.
Libreto-Aula de la Erosión C-9. Congreso Geológico
Internacional.
México, 1956.

- Mosser, Federico.
Los Ciclos del Vulcanismo que formaron la Cuenca del Valle
de México; Instituto de Geología.
México, 1957.

- Mosser, Federico.
Informe sobre la Geología de la Cuenca de México y Zonas -
Colindantes. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de
México. Secretaría de Recursos Hidráulicos.
México, 1961.

- Mosser, Federico.
Descripción Física del Valle de México.
México, 1964.

- Nelson Piñón Martínez.
Estudio Geotécnico para la construcción de un túnel en el --
Estado de México.
México, 1980.

- Ordóñez Ezequiel.
Las Rocas Eruptivas del Suroeste de la Cuenca de México, --
Volumen 14.
México, 1985.

 - Reglamento de Exploración y Explotación de Arena, Cantera -
de Tepetate y Piedra en el Distrito Federal.
México, 1932.

 - Schlaepfer C.
Hoja de México 14-Q-h 151 Esc. 1:100,000
México, 1968.

 - Sociedad Mexicana de Mecánica de suelos y Autoridades del
Departamento del Distrito Federal.
Simposio sobre Cimentaciones en Zonas Minadas de la Ciudad
de México.
México, 1976.

 - Waitz, Paul.
Excursión Geológica a la Sierra de Santa Catarina.
México, 1910.
- Por último, se hace un listado de los estudios especiales sobre colonias afectadas por este problema y que se consultaron para constatar la veracidad de la columna tipo propuesta en este estudio.
- Estudio de Mecánica de Suelos y Geoelectrónico del Fraccionamiento "Bosques de las Lomas", Solum y Tlalli.

 - Estudio Geofísico del Parque Ecológico "Alvaro Obregón", Consultores y Proyectos, S. A.

- Estudio Geoelectrico de la colonia Las Butacas, Geofimex.
- Estudio Geoelectrico del Fraccionamiento "Colinas de Tarango", Aerofoto, Solum y Tlalli.
- Estudio de Mecánica de Suelos del predio Conatrut. Solum.
- Estudio de Mecánica de Suelos y Geoelectrico del Fraccionamiento "Colinas del Sur". Dirac, Aerofoto y Solum.
- Estudio de Mecánica de Suelos del predio El Heraldo. Arquitectos Asociados.
- Estudio de Mecánica de Suelos de la Escuela "Leopoldo García, Col. J. M^a Pino Suárez.- Soiltec.
- Estudio de Mecánica de Suelos y Geoelectrico de la colonia - Ampliación La Mexicana.- Dirac.
- Estudio de Mecánica de Suelos de la colonia La Cañada.- Dirac.
- Estudio de Mecánica de Suelos y Geoelectrico del Fraccionamiento "Lomas de las Aguilas". Solum, Liac, Iam.
- Estudio de Mecánica de Suelos del Fraccionamiento "Lomas de Axomiatla".- Corr, Geosol.
- Estudio de Mecánica de Suelos de la colonia Lomas de Becerra. Soiltec.
- Estudio de Mecánica de Suelos de la colonia Lomas de Capula y Golondrinas.- Geotec.
- Estudio de Mecánica de Suelos de la colonia Lomas de Jalalpa.- Geotec.
- Estudio geoelectrico del Fraccionamiento "Lomas de Guadalupe".- Exp. Subs.

- Estudio geoelectrico y geotecnico de la colonia Molino de Santo Domingo.- Dirac.
- Estudio geoelectrico y geotecnico de las colonias Olivar del Conde 1ª Sección y Preconcreto.- Dirac.
- Estudio geoelectrico y geotecnico de la colonia Ampliación Olivar del Conde.- Dirac.
- Estudio geoelectrico y geotecnico de la colonia Palmas.- Dirac.
- Estudio de mecánica de suelos de la colonia Real del Monte.- Soiltec.
- Estudio de mecánica de suelos de la colonia San Miguel Chapultepec.- Soiltec.
- Estudio de mecánica de suelos de la colonia Valle de Luces.- Sepafin.
- Estudio de mecánica de suelos de la Escuela "El Pípila".- Soiltec.
- Estudio de mecánica de suelos del Centro Cultural "Chapultepec". G. H. I.
- Estudio de mecánica de suelos y geoelectrico de la colonia Presidentes.- Geofimex.
- Estudio de mecánica de suelos de la colonia Ampliación Alpes.- G. H. I.
- Estudio geoelectrico de la colonia Sotoltila.- Ing. Geofísica.
- Estudio de mecánica de suelos del predio Héroe de Padierna.- Soiltec.

NOTA 1.- Es importante recalcar que el Reglamento que rige actualmente con respecto a explotaciones subterráneas en el Distrito Federal, no ha sido actualizado con respecto a esta prohibición, siendo el mismo desde 1932 y por lo tanto, no inhabilita estas explotaciones, sino por el contrario, las reglamenta.

NOTA 2.- Algunas unidades conocidas tradicionalmente como basálticas, como el Grupo Chichimutzin, han sido recientemente consideradas como andesíticas a la luz del análisis químico de muestras de roca (Mosser et. al 1974).

A B R E V I A T U R A S.

LIASA	=	Laboratorio de Ingeniería y Arquitectura.
D. D. F.	=	Departamento del Distrito Federal.
DIRAC	=	Diseño Racional.
SOILTEC	=	Soil Tecnic.
GEOTEC	=	Geotecnia.
G. H. I.	=	Geotecnia e Hidráulica.
GEOFIMEX	=	Geofísica Mexicana.
LIAC	=	Lab. en Ingeniería y Arquitectura Constructiva.
I. A. M.	=	Ingeniería y Arquitectura de México.
Agr.	=	Agregado.
Ang.	=	Angular.
Ctc.	=	Contacto.
Aflor.	=	Afloramiento.
Fm.	=	Formación.
Ign.	=	Igneo.
Mbr.	=	Miembro.
Volc.	=	Volcánico.
Prof.	=	Profundidad.
F.V.T.	=	Faja Volcánica Transmexicana.
Fig.	=	Figura.